



unl

Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
“EFECTO DE LOS DIFERENTES NIVELES DE
NITRÓGENO EN EL CRECIMIENTO DEL
CAFÉ EN EL CANTÓN LOJA”

*Tesis de grado previa a
la obtención del título de
Ingeniero Agrícola*

Kevin Israel Macas Medina

AUTOR

Ing. M.Sc. Miguel Ángel Villamagua

DIRECTOR

Loja – Ecuador

2021

CERTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TESIS

M.Sc. Miguel Ángel Villamagua.

DIRECTOR DE TESIS**CERTIFICA:**

Que el presente trabajo de investigación titulado “**EFECTO DE LOS DIFERENTES NIVELES DE NITRÓGENO EN EL CRECIMIENTO DEL CAFÉ EN EL CANTÓN LOJA**”; de la autoría del señor egresado Kevin Israel Macas Medina, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola, ha sido revisado desde su inicio hasta su culminación dentro del cronograma aprobado; por lo tanto, autorizo su presentación, para su correspondiente calificación.

Loja, 10 de septiembre del 2020



Firmado electrónicamente por:

**MIGUEL
ANGEL**

.....
M.Sc. Miguel Ángel Villamagua

DIRECTOR

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

M. Sc. Pedro Manuel Guaya Pauta

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL CALIFICADOR DE LA TESIS

En calidad de presidente del Tribunal de Calificación de la Tesis titulada: “EFECTO DE LOS DIFERENTES NIVELES DE NITRÓGENO EN EL CRECIMIENTO DEL CAFÉ EN EL CANTÓN LOJA”, de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola Kevin Israel Macas Medina, con cédula de identidad 1150019709, se informa que la misma ha sido revisada e incorporadas todas las observaciones realizadas por el Tribunal Calificador, y luego de su revisión se ha procedido a la respectiva calificación. Por lo tanto, autorizo la versión final de la tesis y la entrega oficial para la sustentación pública.

Loja, 19 de octubre del 2021

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:

**PEDRO MANUEL
MESIAS GUAYA
PAUTA**

M. Sc. Pedro Manuel Guaya Pauta
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firmado electrónicamente por:

**NARCISA DE
JESUS URGILES
GOMEZ**

Ph.D. Narcisa de Jesús Urgilés Gómez
VOCAL DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firmado electrónicamente por:

**WILMAN EDUARDO
ALDEAN GUAMAN**

M. Sc. Wilman Eduardo Aldeán Guamán
VOCAL DEL TRIBUNAL DE GRADO

AUTORÍA

Yo, **Kevin Israel Macas Medina**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

**KEVIN
ISRAEL
MACAS
MEDINA** Digitally signed
by KEVIN
ISRAEL MACAS
MEDINA
Date:
2021.10.20
14:07:31 -05'00'

Autor: Kevin Israel Macas Medina.

Cédula: 1150019709

Fecha: Loja, 20 de octubre del 2021

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos al M.Sc. Miguel Ángel Villamagua, director de la presente Investigación, por brindarme la oportunidad de participar en un proyecto vinculado a la Universidad Nacional de Loja, así mismo por su confianza, su ayuda, su orientación y en especial por sus conocimientos que me ha compartido durante la etapa de estudiante de igual manera en esta etapa final de tesista. Al M.Sc. Omar Ojeda, director del Laboratorio de Suelos, Agua y Bromatología, al personal que se encuentra bajo su dirección por su apoyo en los análisis del laboratorio, al Laboratorio de Topografía por su colaboración que fue de vital importancia para el desarrollo del proyecto de investigación. Al Ing. Franco Guillén, encargado de la Quinta Experimental La Argelia por su predisposición y colaboración en el desarrollo de la presente investigación. De igual manera agradezco a la Universidad Nacional de Loja, a la Carrera de Ingeniería Agrícola, al personal Docente y Administrativo, por haber brindado la formación educativa, moral, ética y profesional.

Kevin Macas Medina

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar a este momento tan especial en mi vida, por ser él que me ha iluminado dándome la fortaleza, los ánimos e inteligencia, por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más para luchar ante los problemas y dificultades que se me han presentado en el diario vivir. A mis Padres: Naime Macas y Judith Medina, quienes me han acompañado durante toda mi trayectoria como estudiante, por ser fuente inagotable de lucha, perseverancia, honradez y amor, que, sin importar las circunstancias, me brindaron su apoyo, confianza, cariño, consejos y orientación, que día a día ayudaron a fortalecer mi fe y esperanza para el logro de mi meta, que Dios los Bendiga por todo el amor que me han dado. A mis hermanos Santiago, Andrea y Luis, a mis tíos en especial Gilbert Medina que de una u otra manera me apoyo para culminar esta etapa de vida universitaria. A mi esposa Andrea Gaona por su apoyo, dedicación y entrega, por haberme dado a una hermosa princesa mi hija Allison Macas quien fue el mayor motivo para culminar esta etapa, a todos ellos gracias por estar siempre a mi lado, por brindarme ese apoyo incondicional, cariño y paciencia. A todos mis amigos y compañeros de clase con quienes compartí muchas experiencias en mi vida estudiantil y por el apoyo desinteresado que me brindaron en el desarrollo del presente trabajo.

Kevin Macas Medina

ÍNDICE GENERAL

	Página
PORTADA	I
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS	II
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	III
AUTORÍA	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
TÍTULO DE LA TESIS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRAC.....	XV
1 Introducción	1
2 Marco Teórico	4
2.1 Origen del café.....	4
2.2 Clasificación botánica y características morfológicas del café	4
2.2.1 Clasificación botánica.....	4
2.2.2 Morfología del cultivo	5
2.3 Condiciones Edafoclimáticas del cultivo de Café	7
2.3.1 Temperatura.....	7
2.3.2 Precipitación.....	7
2.3.3 Humedad relativa.....	8
2.3.4 Vientos.....	8
2.3.5 Brillo solar y nubosidad.....	8
2.4 Especies importantes del café.....	9
2.4.1 Café arábico (Coffea arábica).....	9
2.4.2 Café Robusta (Coffea canephora).....	9
2.5 Importancia del Café a Nivel Mundial	10
2.6 Importancia del Café en Ecuador	11

2.6.1	Sector económico.....	13
2.6.2	Sector social.....	13
2.6.3	Sector ambiental.....	13
2.7	El café en la provincia de Loja.....	13
2.8	Condiciones edáficas para el cultivo de café.....	14
2.8.1	Propiedades físicas.....	15
2.8.2	Propiedades químicas.....	17
2.9	Curva de retención de humedad del suelo.....	19
2.9.1	Saturación.....	20
2.9.2	Capacidad de campo (CC).....	21
2.9.3	Punto de marchitez permanente.....	21
2.9.4	Agua útil para las plantas.....	21
2.10	Fertilidad del suelo para el café.....	22
2.10.1	Materia orgánica.....	23
2.10.2	pH:.....	23
2.10.3	Encalado.....	24
2.10.4	Relación de cationes.....	24
2.11	Nutrición del café en las diferentes etapas de desarrollo.....	25
2.11.1	Nutrición en la etapa de germinación.....	25
2.11.2	Nutrición en la etapa de almácigo.....	26
2.11.3	Nutrición en la etapa de crecimiento vegetativo o levante.....	26
2.11.3.1	Requerimientos nutricionales para el cultivo del café.....	27
2.11.3.1.2	Fósforo.....	28
2.12	Nitrógeno en las plantas.....	30
2.12.1	Ciclo del nitrógeno.....	30
2.12.2	Dinámica del nitrógeno en el suelo.....	31
2.12.3	Influencia del nitrógeno en el crecimiento y desarrollo de las plantas.....	32
2.12.3.1	Deficiencia.....	32
2.13	Importancia del nitrógeno en suelo para el cultivo del café.....	33
2.14	Investigaciones realizadas en el café respecto a la aplicación de nitrógeno y la acidez.....	34
3	Materiales y Métodos.....	36
3.1	Área de estudio.....	36

3.1.1	Ubicación geográfica.....	36
3.1.2	Ubicación ecológica.....	37
3.2	Materiales	38
3.3	Metodología.....	39
3.3.1	Diseño experimental.....	39
3.3.2	Metodología para el primer objetivo	39
3.3.3	Metodología para el segundo objetivo.....	40
4	Resultados y Discusión	42
4.1	Características generales, físicas químicas y de fertilidad del suelo en la Quinta Experimental La Argelia de la provincia de Loja.....	42
4.1.1	Descripción General de la Unidad Experimental de estudio.....	42
4.2	Evaluación de las propiedades químicas después del encalado	46
4.3	Capacidad de intercambiable catiónica Efectivo, bases intercambiables, porcentaje de Saturación de Bases, relación de cationes y disponibilidad de Ca y Mg.....	48
4.3.1	Variables Dasométricas	49
5	Conclusiones	53
6	Recomendaciones.....	55
7	Bibliografía.....	56
8	Anexos.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales países productores de café a nivel mundial.....	10
Tabla 2. Distribución del café a nivel provincial en Ecuador.....	12
Tabla 3. Relación de la textura del suelo y la capacidad de intercambio catiónico.....	18
Tabla 4. Puntos más importantes de los valores de pF con sus equivalentes en atmósferas. ...	20
Tabla 5. Escalas de pH, tomado del laboratorio de suelo del INIAP.....	24
Tabla 6. Relación de cationes intercambiables adecuadas para el café arábigo	25
Tabla 7. Dosificación del Nitrógeno en los diferentes tratamientos para su estudio.....	39
Tabla 8. Dosis de elementos aplicados por planta y fuentes utilizadas	41
Tabla 9. Propiedades físicas del suelo en el sistema agroforestal en la Quinta Experimental “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, sector Moraspamba, parroquia Sucre.	44
Tabla 10. Propiedades químicas del suelo en el sistema agroforestal en la Quinta Experimental “la Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, sector Moraspamba, parroquia Sucre.	45
Tabla 11. Respuesta del pH al encalado del suelo con una sola dosis de 0.7 T ha ⁻¹ de cal	46
Tabla 12. Respuesta del Aluminio intercambiable (Al ⁺³ cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹), frente al encalado del suelo.....	47
Tabla 13. Capacidad de intercambio catiónico, bases de cambio efectiva, Bases de intercambiables y el % de la saturación de las bases	48
Tabla 14. Relación de cationes antes y después de realizar las enmiendas	49
Tabla 15. Resultados de la Altura y Diámetro de la planta en cm, frente a la aplicación de las diferentes dosis de aplicación de Nitrógeno (0; 150; 200 y 250 kg ha ⁻¹)	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Triángulo textural de suelo caracterizado por las proporciones de cada elemento arenosos, limosos, arcillosos arenosos, etc.	16
Figura 2. Curva de retención de agua en el suelo	20
Figura 3. Ciclo del nitrógeno.	31
Figura 4. Mapa de ubicación del campo experimental, provincia de Loja, Sector la Argelia, los Molinos (UNL).	36
Figura 5. Ubicación del experimento, sector Los Molinos de la Estación Experimental La Argelia.....	37
Figura 6. Perfil 1 En la Quinta Experimental “la Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, sector Moraspamba, a 6 Km al sur de la ciudad de Loja, parroquia Sucre.....	43
Figura 7. Promedio de la biomasa seca de la planta indicadora (g) y prueba de Tukey al 5 % para el factor solución.....	70

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Distribución de los tratamientos en la Quinta Experimental La Argelia perteneciente a la Universidad Nacional de Loja	66
Anexo 2. Diagrama triangular para evaluar las condiciones físicas del suelo.....	67
Anexo 3. Resultados del Análisis Químico y Biológico del suelo de la Quinta Experimental La Argelia.....	68
Anexo 4. Respuesta del pH al encalado del suelo una sola dosis de 0.7 T ha ⁻¹ de cal	68
Anexo 5. Respuesta del Aluminio intercambiable (Al ⁺³) cmol (+)/Kg durante la evaluación	69
Anexo 6. Biomasa seca de la planta indicadora del suelo de la Quinta Experimental “La Argelia” perteneciente a la Universidad Nacional de Loja, sector Moraspamba, parroquia Sucre	69
Anexo 7. Croquis de acceso al sitio de la investigación en La Quinta Experimental La Argelia.	74
Anexo 8. Descripción de perfil de la unidad de suelo en la Estación Experimental La Argelia, Moraspamba (Perfil 1C)	75
Anexo 9. Fertilización del café en la fase de desarrollo vegetativo (14-18 m.d.s) para el periodo de un año (2020-2021), para una densidad de 4000 plantas ha ⁻¹	78
Anexo 10. Composición química de los fertilizantes usados en la fertilización del cultivo de café.....	80
Anexo 11. Aplicación e incorporación de la cal al suelo de manera uniforme.	80
Anexo 12. Siembra de planta de aliso que servirá de sombra para el cultivo de café.	81
Anexo 13. Aplicación de fertilizantes hasta la cuarta aplicación (julio 2020- enero 2021)	81
Anexo 14. Control de plagas y enfermedades en el cultivo de café	82
Anexo 15. Control de malezas para evitar la propagación de futuras plagas.	82
Anexo 16. Monitoreo de las variables Dasométricas.....	82
Anexo 17. Evolución de los tratamientos a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno para el café para los diferentes meses.....	83
Anexo 18. Cálculos para el encalado del suelo.....	87
Anexo 19. Mapa geológico de la provincia de Loja.....	88

**“EFECTO DE LOS DIFERENTES NIVELES DE NITRÓGENO EN EL
CRECIMIENTO DEL CAFÉ EN EL CANTÓN LOJA”**

Resumen

El nitrógeno con frecuencia es el elemento más limitante para la producción cafetalera, esto por ser requerido en grandes cantidades por las plantas y al encontrarse en baja disponibilidad en la mayoría de los suelos agrícolas, existe deficiencias afectando drásticamente la formación de la clorofila, por ello se manifiesta como una clorosis en las hojas, una fertilización nitrogenada permite la renovación adecuada de la madera por medio de la emisión de brotes vigorosos y la formación de abundante follaje que aseguran un crecimiento normal de los frutos y una buena floración. La presente investigación se realizó en la Estación experimental de La Argelia; perteneciente a la Universidad Nacional de Loja, durante el periodo julio del 2020 a enero 2021, en un suelo de textura franco (Ultifluvents) a una altitud de 2 134 m s.n.m. con temperatura media mensual de 17 °C, precipitación promedio anual de 1 084 mm año⁻¹ y evapotranspiración promedio mensual de 2,4 mm mes⁻¹. Donde se estudió la evolución de la acidez del suelo, en especial el crecimiento del cultivo por efecto de la aplicación de diferentes dosis de Nitrógeno (0; 150; 200 y 250 kg ha⁻¹ año N), en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro réplicas. Al inicio del experimento todas las plantas de café recibieron 1 960 kg ha⁻¹ de cal dolomina y P; K; Mg; Zn; B y S, (8.4; 5.3; 18.9; 0.8; 1.3 y 6.3 g planta⁻¹, respectivamente). A los 210 días después de instalado el ensayo, el pH del suelo pasó de 4.5 a 5.8 (ácido a medianamente ácido); el Al⁺³ disminuyó de muy tóxico a bajo (0.52 a 0.40 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) pasó del rango bajo a medio y el porcentaje de saturación de bases se incrementó de medio a muy alto. Se concluye que, a los 210 días de instalado el experimento en campo, existió un incremento primario longitudinal en las plantas de café debido a la fertilización nitrogenada, el tratamiento de 250 kg ha⁻¹ de N frente al testigo tiene una diferencia de altura de la planta (9 cm), mostrando diferencias significativas para la altura, en la misma para el diámetro basal no se presentó diferencias estadísticas significativas.

Palabras clave: Nitrógeno, cal dolomina, CIC, variables dasométricas.

Abstract

Nitrogen is often the most limiting element for coffee production, this being required in large quantities by plants and being in low availability in most agricultural soils, there are deficiencies drastically affecting the formation of chlorophyll, therefore It manifests as a chlorosis in the leaves, a nitrogen fertilization allows the adequate renewal of the wood by means of the emission of vigorous shoots and the formation of abundant foliage that ensure a normal growth of the fruits and a good flowering. The present investigation was carried out at the La Argelia Experimental Station; from the National University of Loja, during the period July 2020 to January 2021, in a loamy textured soil (Ultifluvents) at an altitude of 2 134 m a.s.l. with average monthly temperature of 17 °C, annual average precipitation of 1 084 mm year⁻¹ and average monthly evapotranspiration of 2.4 mm month⁻¹. Where the evolution of the acidity of the soil was studied, especially the growth of the crop due to the application of different doses of Nitrogen (0; 150; 200 and 250 kg ha⁻¹ year N), in an experimental design of blocks at the random with four replicas. At the beginning of the experiment, all the coffee plants received 1 960 kg ha⁻¹ of dolomite lime and P; K; Mg; Zn; B and S, (8.4; 5.3; 18.9; 0.8; 1.3 and 6.3 g plant⁻¹, respectively). 210 days after the test was installed, the soil pH went from 4.5 to 5.8 (acidic to moderately acidic); Al⁺³ decreased from very toxic to low (0.52 to 0.40 cmol (+) kg⁻¹), the cation exchange capacity (CEC) went from the low to medium range and the percentage of base saturation increased from medium to very high. It is concluded that, 210 days after the field experiment was installed, there was a longitudinal primary increase in coffee plants due to nitrogen fertilization, the treatment of 250 kg ha⁻¹ of N compared to the control has a height difference of the plant (9 cm), showing significant differences for the height, in the same for the basal diameter there were no significant statistical differences.

Keywords: Nitrogen, dolomite lime, CEC, dasometric variables.

1 Introducción

El café es considerado como producto básico que tiene una gran importancia para la economía de numerosos países. Las privilegiadas aptitudes agroecológicas del Ecuador han facilitado el cultivo de café, siendo actualmente uno de los pocos países del mundo donde es posible cultivar este producto en prácticamente toda su geografía. Tungurahua es oficialmente el único territorio donde no se cultiva café, aunque se reportan algunas pequeñas cosechas en el cantón Baños (Forumcafe, 2019).

En el Ecuador existe alrededor de 76 783 ha de café, dentro de las cuales la provincia con mayor extensión es Manabí equivalente al 64.94% del total, Loja con 9.71% y la provincia de Orellana con 9.08%, donde el rendimiento promedio nacional de café Arábigo para el año 2019 fue de 0.30 t ha⁻¹. La provincia de Morona Santiago fue destacada como la provincia de mayor rendimiento con 1.22 t ha⁻¹, seguida de Galápagos Pichincha y Zamora Chinchipe con 0.98; 0.66; 0.57 t ha⁻¹, respectivamente mientras que las provincias de Napo, Cotopaxi y Pastaza reportan los rendimientos más bajos con 0,11; 0,11 y 0,07 t ha⁻¹ (Lema , 2019).

Según Guerrero (2017), la especie de café Arábigo representa el 63% de la producción nacional, el 37 % restante pertenece al café Robusta, las provincias de Manabí, El Oro, Loja, Guayas y Zamora representan el 85% de café Arábigo, mientras que, el 15% produce café Robusta cultivadas en las provincias de Sucumbíos, Orellana, Pichincha y Napo, dentro de la especie Arábigo las variedades más utilizadas por los agricultores son Sarchimor (18% de superficie), Caturra (17% de superficie), Catuai (14% de superficie) y Acawa (11% de superficie), esta especie es exigente en elemento puro de 45 kg ha⁻¹ de Nitrógeno, 75 kg ha⁻¹ Fósforo y 26 kg ha⁻¹ de Potasio, así mismo los productores declararon a la roya como la plaga que afectó de mayor manera su rendimiento, el café arábigo (*Coffea arábica L.*), es una especie que se cultiva en lugares con una precipitación que varía desde los 750 a 3 000 mm anuales, el mejor café se produce en aquellas áreas que se encuentran en altitudes de 1 200 a 2 000 m s.n.m, donde la precipitación pluvial anual es de 2000 a 3000 mm y la temperatura media anual es de 16 °C a 22 °C. Pero aún más importante es la distribución de esta precipitación en función del ciclo de la planta.

El cantón de Loja se encuentra a una altitud de 2 000 a 3 500 m s.n.m, por lo que presenta un clima cálido y templado siendo considerada dentro de los cantones con una precipitación significativa, inclusive el mes más seco hay mucha lluvia (CLIMATE-DATE.ORG, s.f.), según Holdridge (1967) la clasificación de la zona de vida esta como bosque seco montano bajo, con la ayuda de la estación meteorología de “La Argelia”, que influye en la zona de estudio permitió obtener la información meteorológica en un período de 29 años

(1990 - 2019), con una precipitación anual de 1 084 mm año⁻¹, siendo los meses de menor precipitación julio-agosto-septiembre (53-43-39 mm mes⁻¹), temperatura media anual de 17°C, temperatura máxima de 29°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⁻¹ (INAMHI, 2019).

En la provincia de Loja existen alrededor de 7 457 ha de café, de las cuales los cantones con mayor extensión son Puyango 2 259 ha (30.3%), Paltas 1 560 ha (20.9%), Olmedo 1 167 (15.6%), Espíndola 910 ha (12.2%), los cantones de Pindal, Quilanga, Loja, Chaguarpamba, Celica, Gonzanamá y Catamayo se encuentran por debajo del 10% del área total cultivada de café (MAG, 2018), dentro de la provincia de Loja el panorama de la mayor producción de café se encuentra en los cantones de Puyango con el 39 %, Chaguarpamba 15%, Olmedo 15%, Quilanga 7%, Espíndola 7% y Loja 5 %, mientras que el 12 % restante de la producción de café son del resto de cantones en la provincia de Loja (BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, 2020), estos sectores presentan condiciones edafoclimáticas favorables para la producción de café. Sin embargo, la baja productividad siempre ha sido un problema en la provincia de Loja con un rendimiento de café Arábico de 0.24 t ha⁻¹ y en el cantón Loja con un rendimiento de 0.17 t ha⁻¹, (Lema , 2019).

El nitrógeno es un elemento de mayor importancia para el desarrollo de la planta y el fruto, dándole una condición de vigor y "frescura" a los cafetos; es el componente de las proteínas, aminoácidos, amidas, alcaloides y coenzimas, forma parte además de la clorofila y citocromos, así mismo es el elemento que más rápidamente da una mayor y más constante respuesta en la producción de café, a la vez que el nitrógeno es requerido por la planta en una alta cantidad por lo que es necesario devolverlo al suelo por medio del fertilizante; de una manera oportuna y considerable, para lograr un buen desarrollo y producción., de igual manera el contenido de materia orgánica, son factores que condicionan el desarrollo del café también la deficiencia de los nutrientes, por tanto, es necesario controlar la acidez para incrementar y sostener buenos rendimientos agrícolas (Ortega, 2014).

Las deficiencias del nitrógeno se manifiestan como una clorosis (amarillamiento) uniforme en la lámina foliar, del ápice y vena central hacia los bordes en hojas adultas, una deficiencia severa también se presenta en hojas jóvenes, los síntomas de deficiencia de nitrógeno aparezcan primero en las partes viejas de las plantas y no precisamente en los sitios de crecimiento, sino alrededor de las yemas terminales esto se debe a la movilidad y nueva utilización del nitrógeno, que sé trasloca de los tejidos más viejos a las regiones de desarrollo más jóvenes (Lemu, 2006).

El principal factor limitante en este sistema de producción del café es causado por la baja fertilidad de los suelos según los resultados de la evaluación biológica (Anexo 6), los contenidos de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, son los que se encuentran en un rango bajo, elementos esenciales durante la fase de desarrollo vegetativo (Sadeghian *et al.*, 2012), el contenido del pH de 4.5, considerado como muy ácido para el cultivo de café (Enríquez *et al.*, 2014).

Por tal motivo se realizó, el proyecto de investigación en la Quinta Experimental la Argelia perteneciente a la Universidad Nacional de Loja, estableciendo como cultivo de sombra plantas de alisos que en su posterior desarrollo aportarán con el 40 % de sombra al café, el encalado es una práctica que más se utiliza para neutralizar la acidez y corregir los problemas que esta ocasiona. La aplicación de las diferentes dosis de nitrógeno (0;150;200 y 250 kg ha⁻¹), que ayudarán a establecer cuál es la más recomendable para el cultivo en la fase de desarrollo vegetativo, posteriores resultados obtenidos servirán a los productores de café que se encuentran dentro de las diferentes organizaciones de la provincia de Loja, PROCAFEQ (Asociación Agro artesanal de Productores de Café de Altura de Espíndola y Quilanga), APECAP (Asociación de Productores Ecológicos de Altura de Palanda), PROCAP (Asociación Agro artesanal de Productores de Café de Altura Puyango), APECAM (Asociación de Pequeños Exportadores de Café Especial de Marcabelí)

Objetivo General

- ✓ Contribuir con la información sobre la gestión de la fertilidad de los suelos en el sistema agroforestal del café en la estación experimental La Argelia de la provincia de Loja, que permitan obtener los mejores resultados en rendimientos y calidad, con miras a potenciar la economía, el desarrollo social y la sostenibilidad ambiental.

Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar las propiedades físicas, químicas y de fertilidad del suelo, y evaluar la aptitud de la tierra para el cultivo del café en sistemas agroforestales del piso altitudinal de 2 173 m s.n.m. en el área representativa de la Argelia.
- ✓ Evaluar la respuesta de la aplicación al control de la acidez y de las diferentes dosis de nitrógeno en la etapa inicial del cultivo del café.

2 Marco Teórico

2.1 Origen del café

El café es originario de la remota Abisinia (en el entorno geográfico actual de Etiopía), que crece en la naturaleza en el noreste de África, los tipos de café Arábica y Robusta se distinguen en todo el mundo por su importancia comercial, debido a la adaptabilidad de las plantas al medio ambiente y su polimerización múltiple. La primera especie ocupa casi las tres cuartas partes de la producción mundial y se cultiva principalmente en América Central y América del Sur. La leyenda ampliamente comentada y difundida sobre el origen del café es la del pastor abisinio llamado Kaldi, quien observó el efecto tonificante de algunas bayas rojas en las cabras que lo habían consumido, verificado por él mismo durante la renovación de sus energías. Kaldi tomó muestras de hojas y de frutos de dicha planta y las llevó a un monasterio, donde los monjes las pusieron a cocinar, al probar la bebida no le hallaron un sabor agradable, arrojando el sobrante al fuego los granos a medida que se quemaban, desprendían un agradable aroma, despertando la curiosidad de uno de los monjes que se le ocurrió la idea de preparar la bebida a base de granos tostados (Galindo, 2011).

Parece que las tribus africanas, que conocían el café de antigüedad, aplastaron sus granos e hicieron una pasta para alimentar a los animales y aumentar la fuerza de los guerreros. La cultura se extendió por primera vez a la vecina Arabia, probablemente por prisioneros de guerra. Por sus antecedentes se llamó qahwa, que significa vigorizante. Los datos arqueológicos disponibles hoy sugieren que el café no era “domesticado” antes del siglo XV: el proceso de hacer bebida, larga y compleja, tal vez explica el descubrimiento tardío de las virtudes de las semillas de café, inicialmente poco atractivas. Descubrimientos recientes (1996) por un equipo arqueológico británico, aún por confirmar, insinúan la posibilidad de que el consumo comenzó a partir del siglo XII en Arabia. Pero los grandes propagadores del café fueron los holandeses, que grandes plantaciones explotadas en sus colonias de Ceilán e Indonesia, eran los importadores del cafeto y se acostumbraron. Los jardines botánicos de Ámsterdam, París y Londres, desde donde transmitido a la Guayana Holandesa, Brasil, América Central y otros muchos países. Gracias a esto, en tres siglos esta infusión de casi desconocido a una bebida Universal (Candelas, s.f.).

2.2 Clasificación botánica y características morfológicas del café

2.2.1 Clasificación botánica

La planta del café se denomina cafeto. Fue descrito por Carlos Linneo, científico y botánico sueco, como perteneciente al género *Coffea* y a la familia de las Rubiaceae (Café Siboney, s/f.)

2.2.2 *Morfología del cultivo*

El cafeto es un arbusto o árbol pequeño, perennifolio, de tronco recto que puede alcanzar los 10 metros en estado silvestre; en los cultivos se les mantiene normalmente en tamaño más reducido, que oscila a los 3 metros.

- La raíz según Duicela *et ál.* (2004), el sistema radicular es superficial estando el 60.0% en los primeros 30 centímetros. De profundidad y la raíz pivotante puede llegar a más de un metro de profundidad.
- Tallo principal (yemas cabeza de serie), la planta de café tiene por lo general un solo tallo con nudos y entrenudos. En los primeros 3 a 4 nudos de una planta joven sólo brotan hojas. En el ápice del tallo se forman los nudos, hojas y se produce el crecimiento vertical de la planta (crecimiento ortotrópico). Mientras que en el ápice de las ramas ocurre la formación de nudos, hojas y el crecimiento lateral de la planta (crecimiento plagiotrópico). En cada nudo formado en el tallo se desarrollan dos axilas foliares opuestas. En cada axila se producen de cuatro a cinco yemas seriadas, las cuales se denominan laterales o axilares. La primera yema produce los brotes que crecen horizontalmente (ramas primarias), y la segunda brotes verticales o chupones. Las otras yemas permanecen latentes y eventualmente pueden formar flores/frutos (Arcilla *el at.*, 2007).
- Ramas primarias. (yemas cabeza de serie). La formación de las ramas es el crecimiento inicial de una planta de café. En el quinto nudo del tallo, se observa la aparición de la primera rama lateral. Las ramas laterales primarias se originan de yemas en las axilas de las hojas del tallo principal. Estas ramas se alargan continuamente y se producen a medida que el eje central madura. Las ramas primarias plagiotrópicas, dan origen a otras ramas que se conocen como secundarias y terciarias, las cuales producen normalmente yemas vegetativas (Romero *et al.*, 2019).
- Yemas seriadas. Originan brotes ortotropicos solamente su número puede aumentar con la edad del cafeto (Celeriano , 2009).
- Yemas seriadas. Originan de 2 a 4 inflorescencias y cada inflorescencia tendrá 4-5 yemas florales. También pueden originar ramas plagiotropicas pero nunca darán origen naturalmente a ramas ortotropicos.
- Hojas. En las hojas se producen procesos que son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, como son la fotosíntesis, la respiración y la transpiración.

En las plantas de *Coffea arábica* L. las hojas son opuestas, elípticas, de color bronce o verde claro cuando son jóvenes y se tornan verde oscuro a medida que se desarrollan. El color de las hojas en los primeros estados de desarrollo es una característica que permite diferenciar las variedades de café. Las hojas son glabras (sin pelos) y cubiertas por una capa cerosa en el haz. El sistema de nervaduras es reticulado, con una nervadura central de 9 a 12 nervaduras secundarias en ambos lados, recurvadas y sobresalientes en el envés. Los bordes son enteros y levemente ondulados (Flores *et al.*, 2013).

- Flores. Se localizan en las axilas de las hojas de las ramas plagiotropicas. La corola es blanca y formada por 5 pétalos fusionados en su base, dando origen al tubo de la corola; el cual se encuentra inserto en la parte superior del ovario. El ovario, normalmente con dos lóculos, contiene un ovulo por lóculo tiene cinco estambres con antenas, de color blanco y bifurcado en el estigma (Figuerola *et al.*, 2014).
- Fruto. El fruto es una drupa de superficie lisa y brillante, de pulpa delgada fácilmente desprendible del pergamino, de forma ovalada o elipsoidal ligeramente aplanada. Contiene normalmente dos semillas planas convexas separadas por el tabique (surco) interno del ovario. Pueden presentarse tres semillas o más en casos de ovarios tricelulares o pluricelulares o por falsa poliembrionía (cuando ovarios bicelulares presentan más de un óvulo en cada célula). A causa del aborto de un óvulo se puede originar un fruto de una sola semilla (caracolillo). El fruto es de color verde al principio, luego se torna amarillo y finalmente rojo, aunque algunas variedades maduran color amarillo. La pulpa está formada por el pericarpio o cáscara o pellejo correspondiendo al 46% del fruto. El mesocarpio o mucílago miel corresponde al 17.18%. El café pergamino está constituido por el endocarpio o pajilla que representa el 18-20%. El espermodermo o película plateada representa el 0.2% y el café verde se encuentra en 17-18% del fruto (Monroig, s.f).
- Semilla. Son oblongas, plano convexas, representan del 35.0 al 38.0% del fruto del café, están constituidas por el endocarpio o pergamino, una película plateada o perisperma, endosperma cotiledón o embrión. El endospermo contiene muchos compuestos, entre los que destacan la cafeína, proteínas, aceites, azúcares, dextrina, celulosa, hemicelulosa, ácido clorogénico y minerales entre otros (Figuerola *et al.*, 2014).

2.3 Condiciones Edafoclimáticas del cultivo de Café

El crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo del café, están relacionados con factores medioambientales y edáficos de las zonas cafetaleras tales como: ubicación del predio (altitud, latitud), clima (temperatura, luz, humedad, precipitación) y tipo de suelos (características físicas y químicas) (Marín, 2012).

El café es un cultivo de regiones tropicales. Por tanto, las principales condiciones que se deben considerar al cultivar el café son:

2.3.1 Temperatura.

Es uno de los elementos climáticos que más afecta la fisiología del café. La tasa fotosintética, el desarrollo foliar y la formación de botones florales están influenciados en forma directa por la temperatura. El rango óptimo para el cultivo de café oscila entre 18°C a 22°C. Cuando se registran temperaturas por debajo de 18°C se promueve el crecimiento vegetativo y se reduce la tasa de diferenciación floral del café. Si la temperatura es mayor a 22°C se acelera el crecimiento vegetativo afectando la floración y fructificación (Romero *et al.*, 2019).

El rango de temperaturas a la que se recomienda la plantación del café está entre 17 a 26 °C. Estudios muestran que las hojas de café fotosintetizan mucho menos cuando están expuestas directamente al sol (Cañar, 2014). ICAFE (2011), manifiesta que la temperatura promedio anual favorable para el café se ubica entre los 17 a 23 °C. Temperaturas inferiores a 10 °C, provocan clorosis y paralización del crecimiento de las hojas jóvenes.

2.3.2 Precipitación.

El café se cultiva en lugares con una precipitación que varía desde los 750 mm anuales hasta 3 000 mm, si bien el mejor café se produce en aquellas áreas que se encuentran en altitudes de 1 200 a 2 000 m s.n.m, donde la precipitación pluvial anual es de 2 000 a 3 000 mm. Lo más importante es la distribución de esta precipitación en función del ciclo de la planta (Gómez, 2015), según Ponce (2012), considera apropiada para el cultivo una cantidad de lluvia comprendida entre los 1 800 y los 2 800 mm anuales, con una buena distribución en los diferentes meses del año. Se requieren por lo menos 120 mm al mes, los periodos de mucha lluvia favorecen la presencia de enfermedades como el mal rosado y la gotera, así mismo el exceso de lluvias también puede afectar la floración del cafetal, disminuyéndola o dañándose si se presentan sequías excesivas, las hojas del cafeto pueden caerse por falta de agua y se puede incrementar el ataque de plagas como la arañita roja, el minador y la broca.

Barva (2011), la cantidad y distribución de las lluvias durante el año son aspectos muy importantes para el buen desarrollo del cafeto. Con menos de 1 000 mm anuales, se limita el

crecimiento de la planta y por lo tanto la cosecha del año siguiente; además, un periodo de sequía muy prolongado propicia la defoliación y en última instancia la muerte de la planta. Con precipitaciones mayores a 3 000 mm, la calidad física del café oro y la calidad de taza pueden comenzar a verse afectada; además el control fitosanitario de la plantación resulta más difícil y costoso

2.3.3 Humedad relativa.

La evapotranspiración local es uno de los factores que más influencia tiene en la humedad relativa. Está a su vez depende de varios factores en los que se destacan la temperatura que influyen sobre la presión de vapor, aparentemente la humedad relativa ideal es variable para cada especie o variedad de café. Se dice que para “Arábico” varia del 70 al 90%, mientras que los “Robustas” de 80 al 90%. Por lo general para el cultivo del café se prefiere una humedad relativa baja para un mejor cultivo, puesto que juega un papel desfavorable por la proliferación de enfermedades fungosas y la proliferación de plagas (Sotomayor, 1993).

La humedad relativa óptima varía en función de la adaptación de las variedades. Normalmente, promedios de 70 a 95% de humedad relativa son apropiados para el café arábigo. Cabe indicar que, a nivel del microclima en el cafetal, la alta densidad de los árboles de sombra (Enriquez & Duicela, 2014).

2.3.4 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 (Ponce, 2012). Cañar (2014), dice que el viento tiende a secar a las plantas de café, por lo que se recomienda la utilización de barreras rompevientos para evitar el daño al cultivo, que puede darse en las hojas y en las ramas. El viento puede oscilar entre 20 y 30 km.h⁻¹, dado que si es mayor produce daño mecánico y fisiológico, caída de hojas, flores y frutos.

2.3.5 Brillo solar y nubosidad.

Se conoce que el cafeto es un cultivo de fotoperiodo corto, es decir que se requiere para florecer, menos de 13 horas de sol por día. Al no encontrar información de las necesidades de luminosidad para el Ecuador se tomaron datos de las zonas cafeteras en Colombia que están entre 1 600 y 2 000 horas sol por año (4.4-5.6 horas por día) (Aristizabal, 1999). 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.

2.4 Especies importantes del café

La familia de las rubiáceas a la que pertenece el café, tiene unos 500 géneros y más de 6 000 especies. No obstante, hay cuatro especies, que se cultivan ampliamente y constituyen los cafés del comercio: café arábigo (*C. arábica* L.), café robusto (*C. canephora* Pierre ex Froehner), café liberiano (*C. liberica* Mull ex Hiern), y café excelso (*C. excelsa* A. Chev.). Sin embargo, la especie económicamente más importante es *Coffea arábica*. Tanto el café arábigo (Centroamérica, Suramérica, Asia y Este de África) como el robusta (fundamentalmente África y también Brasil y Asia) suman aproximadamente el 99.0% de la producción mundial, y el libérica solo el 1.0%) (Bedri, s.f).

2.4.1 Café arábigo (*Coffea arábica*).

La Arábica fue descrita por Linneo en 1753. El café Arábica es nativo de las tierras altas de Etiopía, también es posiblemente nativo de otras partes de África y Arabia en Asia (Figueroa *et al.*, 2014).

Es la variedad más vieja y la más dispersa en el mundo. Representa el 70% del café comercializado en el mundo (FAO, 2012), se cultiva mejor en pendientes, entre 1 600 y 2 800 m s.n.m. El café arábigo es una variedad pequeña que requiere 1 900 mm de lluvia por año, preferiblemente con una temporada seca y con una temperatura entre 18 y 22° C, sin grandes fluctuaciones. El café producido de esta variedad tiene un sabor suave que gusta, sobre todo, a los europeos del Norte. El precio del café arábigo es más alto que el precio del café robusta y las plantas necesitan mucho cuidado y son muy sensibles a las enfermedades. El rendimiento del café es más bajo que el café robusto. Existen variedades que se derivan de esta y son: Typica, Bourbon, pero se han desarrollado algunas otras similares: Caturra, Mundo Novo, Tico, San Ramón y Jamaica Blue Mountain. La planta de arábica madura de tres a cuatro años para obtener su primera cosecha y continúa produciendo de 20 a 30 años (FNCC, 2010).

2.4.2 Café Robusta (*Coffea canephora*).

Esta variedad se cultiva principalmente en África. Esta planta es más resistente a los cambios de temperatura y a las enfermedades. Los resultados son mejores en un clima tropical, bajo los 1 600 m s.n.m., con una precipitación entre 1 000 y 1 800 mm y una temperatura entre 22 y 27°C. La planta necesita menos cuidado que el arábigo y el rendimiento es más alto, pero la calidad es peor: el sabor es amargo y hay 2 veces más cafeína que en el arábigo, el café robusto es más barato y es muy utilizado en la fabricación de café soluble o instantáneo. Representa el 30% del café comercializado en el mundo. La planta de robusta tiene un sistema poco profundo de raíz, toma un año para madurar sus frutos (Jiménez *et al.*, 2016).

En la actualidad se cultiva no sólo en África (Costa de Marfil, Angola y Zaire), sino también en India, Indonesia, Madagascar, Brasil, Filipinas y Ecuador (Pozo, 2014).

2.5 Importancia del Café a Nivel Mundial

El café es uno de los productos agrícolas más valiosos en el comercio mundial, ubicándose el segundo producto generador de divisas después del petróleo, siendo importante para los países en desarrollo. El cultivo, procesamiento, comercio, transporte y la comercialización del café crean empleos para millones de personas en todo el mundo, es de crucial importancia en la economía y política de muchos países en desarrollo. Para muchos de los países menos desarrollados las exportaciones de café representan una parte sustancial de sus ingresos en divisas, en algunos casos más del 80% (ICO, 2011).

Según Andrade (2019), la producción de café (Tabla 1), está principalmente concentrada en América Latina, siendo Brasil el principal productor a nivel mundial. Le siguen Vietnam y Colombia. En total, de los 20 principales productores de café 11 son latinoamericanos, 3 asiáticos y 6 africanos. Ecuador es el décimo noveno productor mundial de café y el décimo en América Latina.

Tabla 1.

Principales países productores de café a nivel mundial

Ranking	País	Año 2018	Participación
1	Brasil	52735	34,1
2	Vietnam	29500	19,1
3	Colombia	14000	9,0
4	Indonesia	10902	7,0
5	Honduras	7700	5,0
6	Etiopía	7650	4,9
7	India	5840	3,8
8	Uganda	4800	3,1
9	Perú	4280	2,8
10	México	4000	2,6
11	Guatemala	3700	2,4
12	Nicaragua	2500	1,6
13	Costa Rica	1560	1,0
14	Costa de Marfil	1300	0,8
15	Kenia	790	0,5
16	Tanzania	783	0,5
17	El Salvador	760	0,5
18	Papúa Nueva Guinea	734	0,5
19	Ecuador	624	0,4
20	Venezuela	550	0,4
	Total	154708	100

Nota: Datos en miles de sacos de 60 kg.

Fuente: Organización Internacional del café (2018)

2.6 Importancia del Café en Ecuador

El cultivo de café es una de las principales actividades agrícolas que se realizan en el Ecuador, pues se encuentra entre los diez cultivos con mayor superficie, según el MAG (2018), el cultivo de café ocupa 76 783 ha en todo el Ecuador, distribuyéndose en las diferentes provincias Manabí 64.94%, Loja 9.71%, Orellana 9.08%, además es un producto primordial para el sector agropecuario por la generación de divisas e ingresos que implica su exportación.

El cultivo de café se produce en las cuatro regiones del Ecuador: Amazonía, Costa Sierra y en las Islas Galápagos. La especie de café Arábigo representó el 63% de la producción nacional de café, por otro lado, el café Robusta constituyó el 37%. Además, se observó que el 85% de los agricultores cultivan café Arábigo, mientras que, el 15% produce café Robusta (Guerrero, 2017).

El café robusto se encuentra en Los ríos, Santo Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas, Sucumbíos, Napo y Orellana, siendo su desarrollo óptimo a las condiciones que se presentan en zonas bajas hasta de 600 m s.n.m.

La variedad arábigo se adapta mucho mejor al medio y se puede producir desde el nivel del mar hasta una altitud de 2 000 m s.n.m. Esta variedad alcanza precios más altos en los mercados y se denomina café de especialidad, los tipos de café arábigo usados en la producción ecuatoriana son los típicos Caturra Bourbon Pacas Catuai Catimor y Sarchimor (MAG, 2018).

La importancia del sector cafetero en Ecuador es evidente en el área económica como fuente de ingresos y contribución de divisas al estado, en el campo social desde entonces es una fuente de empleo y genera inversiones multiétnicas y en el campo ambiental adaptabilidad a diferentes ecosistemas agrícolas, conservación de flora y fauna (COFENAC, 2016).

Tabla 2.*Distribución del café a nivel provincial en Ecuador.*

Cantones	Ha	%
Manabí	49866	64.94
Loja	7457	9.71
Orellana	6973	9.08
El Oro	4351	5.67
Sucumbíos	4141	5.39
Zamora Chinchipe	1108	1.44
Guayas	721	0.94
Napo	588	0.77
Los Ríos	404	0.53
Pichincha	274	0.36
Imbabura	265	0.35
Santo Domingo	258	0.34
Bolívar	187	0.24
Carchi	84	0.11
Cotopaxi	75	0.10
Morona Santiago	15	0.02
Chimborazo	10	0.01
Pastaza	4	0.01
Esmeraldas	2	0.00
Azuay	0	0.00
Total	76783	100.00

Tomado del MAG 2019.

De acuerdo al Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG (2021), el cultivo de café ocupa un área de 76 783 ha en todo el Ecuador, así mismo la provincia donde se cultiva en mayor escala es Manabí, con una participación de 64.94% del área total, Loja con el 9.71%, Orellana 9.08%, por debajo del 9% del área cultivada de café se encuentran las provincias del El Oro, Sucumbíos, Guayas, Zamora Chinchipe, Guayas, Napo, Los Ríos, Pichincha, Imbabura, Santo Domingo, Bolívar, Carchi, Cotopaxi, Morona Santiago, Chimborazo, Pastaza, Esmeraldas y Azuay.

La producción de café ecuatoriano a lo largo de los años, es amenazado por la permanencia de antiguas plantaciones y por un sistema de gestión cultural tradicional que representa el 85%, lo que representa la utilización de técnicas agronómicas deficientes que requieren poco trabajo ocasionando bajos rendimientos en su producción, solo el 15% lo hace de alguna manera está tecnificado y tecnificado (Espinoza W. , 2017).

El café tiene una importancia significativa en los ámbitos: económico, social, ambiental y salud humana.

2.6.1 Sector económico.

Dentro del ámbito económico, las exportaciones del café es una fuente de divisas para el país y para los productores y otros actores del sector productivo (transportistas, comerciantes, exportadores, microempresarios, obreros de las industrias de café y los exportadores), que en el 2015 representaron un ingreso de 145 354 370.31 USD, según estadísticas del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador (Venegas *et al.*, 2017).

2.6.2 Sector social.

Socialmente, el cultivo del café abarca a casi todos los grupos étnicos, como los Kichwas, Shuaras y Tsáchilas, generando empleo directo a 105 000 familias de productores, además es fuente de trabajo para varios miles de personas vinculadas a las actividades de comercio, agroindustria artesanal, industria de soluble, transporte y exportación (PROECUADOR, 2014).

2.6.3 Sector ambiental.

El café se cultiva principalmente en sistemas agroforestales y contribuye a la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad.

Los cultivos de café se encuentran en su mayoría cultivados bajo sistemas agroforestales de alto valor ecológico y económico, que constituyen hábitat de conservación de especies de fauna y flora nativas. El cultivo de café contribuye a la captura de carbono de manera similar a los bosques secundarios así mismo ayuda al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas (CENICAFE, 2010). Según Vanegas (2016), indican que el consumo de café tiene una correlación inversa con el riesgo de diabetes tipo 2 daño hepático y enfermedades neurodegenerativas como la enfermedad de Parkinson

2.7 El café en la provincia de Loja

La provincia de Loja se encuentra dentro de las 23 de las 24 provincias del Ecuador donde se cultiva el café, tanto la especie de Arábica (*Coffea arábica*) y el tipo robusta (*C. canephora*), de acuerdo con el BANCO CENTRAL DEL ECUADOR (2020), los principales cantones productores de café son Puyango con el 39 % de la producción provincial,

Chaguarpamba 15%, Olmedo 15 %, Quilanga 7% y Espíndola 7%, mientras que el resto de cantones representan el 17 % de la producción de café en la provincia de Loja, MAGAP (2014), señala que la provincia de Loja es considerada una de las pioneras en la producción de café arábica, no solo por la cantidad sino también por la calidad del producto.

Según Lemu (2019), en la provincia de Loja hay 7 457 ha sembradas de café, de las cuales aportan el 16% de la producción total al país, considerándose como la segunda provincia con mayor superficie de café detrás de Manabí, cultivándose en todos los cantones a excepción de Zapotillo. Los cafetales están establecidos en un 75 % en los cantones de Puyango, Loja, Olmedo, Sozoranga, Quilanga y Chaguarpamba (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Loja, s.f.).

La provincia de Loja es reconocida en el ámbito nacional e internacional por su tradición cafetalera y por la producción de un café de calidad. Las condiciones agroclimáticas, los sistemas de producción y los procesos particulares del manejo del cultivo, cosecha y post cosecha otorgan reconocimientos importantes para el café de esta zona del país, entre ellos el primer lugar en el concurso Nacional Taza Dorada, por siete ocasiones en las once ediciones del evento. Desde el 2012, la Mesa Provincial de Café trabaja para mejorar los niveles de producción, posicionamiento, competitividad y calidad del café Lojano, la mesa está compuesta por 8 instituciones públicas; 8 ADG cantonales; 9 parroquias GAD; 10 empresas e instituciones privadas; 15 asociaciones cafetaleras; 20 procesadores, comerciantes y productores independientes; y otros actores. Todas las acciones basadas en el café ayudan a mejorar la economía de alrededor de 20 681 familias cafetaleras en la provincia de Loja (MAG, 2018).

En la provincia de Loja el cafeto se cultiva en: Puyango, Calvas, Espíndola, Quilanga, Paltas, Chaguarpamba, Olmedo y Vilcabamba en altitudes de 500 a 1 800 m s.n.m. (Fernández, 2018).

El cantón Puyango se destaca como el principal productor que contribuye con el 39 % de la producción provincial; además, su producto tiene una elevada demanda, debido a la producción de café de altura, conocido así porque sus plantaciones se ubican generalmente alrededor de los 1 200 m s.n.m. (Sisalima, 2016).

2.8 Condiciones edáficas para el cultivo de café

El suelo es la capa superior de la tierra donde se desarrollan las raíces de las plantas. El suelo es esencial para el cafeto porque le facilita el anclaje y le proporciona el agua y los nutrientes necesarios para su crecimiento, desarrollo y producción (Vanegas, 2016).

2.8.1 *Propiedades físicas.*

Las características físicas son en gran parte responsables del buen desarrollo de las plantas, pero muy pocas veces se les tiene en cuenta generalmente sólo se consideran las características químicas. Para que exista un medio óptimo para el crecimiento de las plantas debe darse una interacción dinámica entre las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Las propiedades físicas pueden ser: el color, la textura, la estructura, la densidad, la consistencia, la temperatura (Ramírez, 1997). Las condiciones físicas de un suelo, determinan, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes (Rucks *et al.*, 2004).

Las propiedades físicas principales para el cultivo de café se encuentran el color, textura, estructura, porosidad y profundidad efectiva.

✓ **Textura.**

La textura es considerada como un papel muy importante para la agricultura, ya que condiciona el comportamiento del suelo en cuanto a drenaje, aireación, capacidad de retención de agua y facilidad de laboreo (FAO, 2009). Se encuentra relacionada con el tamaño de los granos o partículas del suelo: Las más pequeñas se llaman arcillas, las más grandes reciben el nombre de arenas, las que tienen un tamaño intermedio entre las arcillas y las arenas se llaman limos (Figura 1). La cantidad o porcentaje en que se encuentran dichas partículas en un suelo, determina su textura. Dependiendo de los granos o partículas que estén en mayor número en el suelo, se puede hablar de suelos con textura arenosa, arcillosa o limosa. Cuando las partículas están en proporciones iguales, la textura es franca. La textura ideal para una producción de café exitosa es una combinación de arena y limo, con la adición de un poco de arcilla, un suelo apto para el cultivo de café debe ser profundo, un poco más de 1.5 metros, libre de impedimentos como piedras, poroso y con una densidad de 1.5 g cm^{-3} (Marcos, 2019).

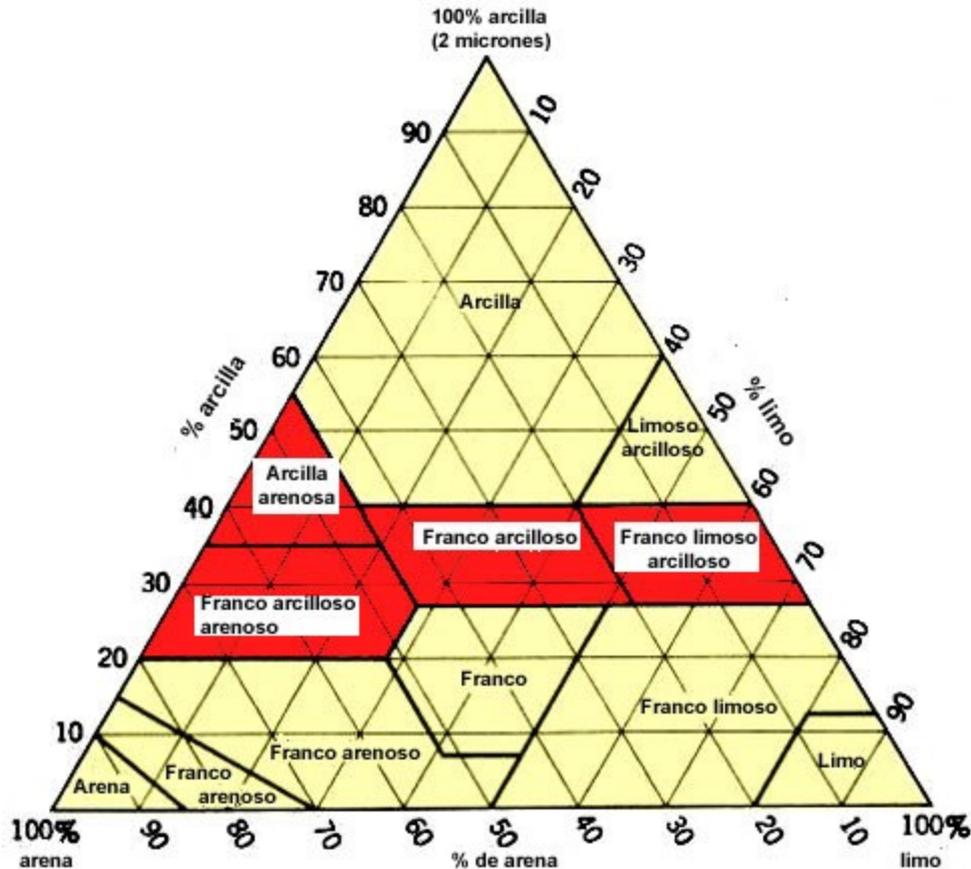


Figura 1.

Triángulo textural de suelo caracterizado por las proporciones de cada elemento arenosos, limosos, arcillosos arenosos, etc.

Fuente: (FAO, s.f)

✓ **Color.**

Es una de las características que guarda relación directa con la temperatura, la dinámica de los elementos y la movilidad del agua en el suelo, el contenido de materia orgánica, la cantidad de organismos, la evolución de los suelos etc. A simple vista se pueden deducir diferentes procesos y fenómenos que han ocurrido en el suelo a través del tiempo y en épocas actuales, en términos generales el color negro de los suelos indica un buen contenido de materia orgánica, considerando que los suelos oscuros son los mejores para el café y los cultivos, en general. (Ramírez, 1997).

✓ **Estructura.**

Las estructuras granular, prismática y de bloques son las más favorables para las plantas. Al realizar labores agrícolas en exceso: araduras, rastreos, y en condiciones húmedas, disminución de la materia orgánica, impacto de la gota de lluvia, compactación por maquinaria y pastoreo; la estructura se deteriora rápidamente, se reduce la aireación, se dificulta la infiltración y percolación del agua en el suelo (Calvache, 2009).

✓ **Porosidad.**

La porosidad del suelo se mide por la relación entre el volumen que ocupan los poros y el volumen total, expresado en porcentaje, en general, los poros incluyen las grietas que se desarrollan con la sequedad, los espacios entre las partículas y agregados, los huecos que dejan las raíces y animales, al agruparse las partículas del suelo para formar terrones, quedan entre ellos espacios de tamaño variable denominados poros, que son ocupados por el agua y el aire, en la permeabilidad se refiere a la velocidad con la que el agua y el aire circulan o se mueven a través de los poros del suelo. Los suelos arenosos son de permeabilidad alta y los arcillosos de baja permeabilidad, los mejores suelos para el café son los francos, en los cuales la permeabilidad es moderada (De La Rosa, 2008).

✓ **Profundidad efectiva.**

Se conoce a la distancia hasta donde las raíces de la planta pueden penetrar fácilmente en busca de agua y alimento, a mayor profundidad efectiva del suelo mejor será el desarrollo radical del cafeto. En general, un suelo para cultivar café es profundo si permite la penetración de las raíces hasta 80 centímetros. La erosión ocasionada por las inadecuadas prácticas de deshierba del cultivo, disminuye la profundidad efectiva del suelo.

La profundidad del suelo para el desarrollo normal de la planta de café, debe ser igual o mayor a 0.7 metros debido a que las raíces pueden llegar a esa profundidad sin encontrar obstáculo alguno. En la mayoría de las zonas cafetaleras del país, los suelos tienen una profundidad que varía de 0.5 a 0.7 (Romero *et al.*, 2019).

2.8.2 Propiedades químicas

Las propiedades químicas resultan del proceso de formación y evolución del suelo, las más importantes son: Capacidad de intercambio catiónico, pH o acidez, fertilidad, materia orgánica. Son determinadas en el laboratorio mediante el análisis químico de suelos.

✓ **Capacidad de Intercambio Catiónico**

Una medida del nivel de fertilidad de los suelos de gran importancia es la capacidad de intercambio catiónico, denominado por sus iniciales como CIC, indica la capacidad de un suelo de almacenar en sus coloides, nutrientes de carga positiva o cationes o, dicho de otro modo, nos da la cantidad de cargas negativas del suelo. Los suelos que presentan una alta CIC son más fértiles que los de baja CIC. En suelos con una baja CIC, los espacios donde pueden adherirse los nutrientes son reducidos, por lo que muchos de ellos quedan en la solución del suelo expuestos a ser lavados por el agua de riego o lluvias. En la Tabla 3 se presentan estimados de la CIC en suelos, de acuerdo con su clase textural (Toledo, 2016).

Tabla 3.*Relación de la textura del suelo y la capacidad de intercambio catiónico*

Textura	CIC cmoles kg⁻¹ de suelo
Arenosos	1-5
Franco Arenoso	5-10
Franco Limoso	5-15
Franco arcillo	15-30
Arcilloso	>30

Fuente: (Donahue *et al.*, 1981)

✓ **Grado de acidez o pH**

Es una de las propiedades químicas más importante en los suelos, ya que de él depende la disponibilidad de nutrientes para las plantas, determinando su solubilidad y la actividad de los microorganismos, los cuales mineralizan la materia orgánica. También determina la concentración de iones tóxicos (Ramírez, 1997).

Para el café, el pH óptimo del suelo varía de 5.5 a 6.5. Cuando es menor de 5.5, se debe evaluar los contenidos de manganeso (Mn) y de aluminio (Al), entre otros nutrientes. Si el nivel de estos elementos es alto provoca toxicidad en la planta. Además, afecta la población y las actividades de los microorganismos en la mineralización de la materia orgánica (Cenicafe, 2016).

El café crece en suelos con valores de pH generalmente entre 5,0 y 6,0. La acidez del suelo afecta el desarrollo de la planta por su influencia en la disponibilidad de ciertos elementos esenciales o tóxicos para la planta. En muchos suelos se presenta un pH inferior a 5,0, el cual puede conducir a problemas de toxicidad de aluminio o de manganeso y deficiencias de calcio, magnesio, potasio, azufre, boro, cobre o zinc. En algunos suelos de origen sedimentario se presenta un pH muy alto (básico) debido principalmente a los altos contenidos de calcio, y en estos casos es frecuente observar deficiencias de micro nutrientes como manganeso, hierro, zinc, boro o cobre (Arcila, 2007). Según Yara (s.f), el pH preferido para el café es de 5.2 a 6.3, para que el cultivo tenga una buena asimilación de nutrientes.

✓ **Fertilidad**

Además de un suelo profundo, franco o ligeramente arcilloso, con buen equilibrio de poros para un buen drenaje y retención de la humedad, y un 2 % o más de materia orgánica, el café necesita un suelo con contenido suficientes de nutrientes, y relaciones químicas

adecuadas, que le permitan un crecimiento y producción eficiente. La fertilidad del suelo es una propiedad del suelo está estrechamente relacionada con la cantidad disponible de nutrientes para las plantas, los elementos nutritivos que el cafeto requiere en mayor cantidad son: Nitrógeno, Fósforo y Potasio, y en menor cantidad están el Calcio, Magnesio, Azufre, Hierro, Zinc, Manganeso, Boro, Cobre. La carencia de alguno de estos nutrientes afecta el normal crecimiento y desarrollo de la plantación cafetera al igual que su producción potencial, tanto en calidad como en cantidad de café. Un suelo que presente mediana a baja fertilidad se puede mejorar con la aplicación de fertilizantes (Marín, 2012)

✓ **Materia orgánica**

Está representada por los residuos descompuestos de plantas y animales. La pulpa de café descompuesta aporta materia orgánica a los suelos. La materia orgánica tiene mucha importancia para obtener una alta productividad del cultivo. Influye en forma decisiva en el mejoramiento de las condiciones físicas del suelo, favorece la retención de humedad y es el principal sustrato para el desarrollo de pequeños organismos que la transforman en una gran fuente de alimento para el cafeto. Los suelos buenos para cultivar café deben tener contenidos de materia orgánica mayores al 8% (InfoAgro, s.f).

2.9 Curva de retención de humedad del suelo

La curva de retención de humedad muestra la relación entre la fracción de volumen de agua y la carga de presión en el suelo (Figura 2). El almacenamiento o retención del agua, es el resultado de fuerzas de atracción entre la fase sólida y líquida que ocurre en los poros del suelo y depende de la textura del suelo (Valarezo *et al.*, 1998).

El trabajo necesario para extraer una unidad de agua se expresa en términos de trabajo por volumen de agua, se obtiene unidades de presión, y a este trabajo se lo conoce con el nombre de humedad del suelo o tensión de humedad del suelo, que es igual al potencial de agua volumétrico, pero con signo contrario.

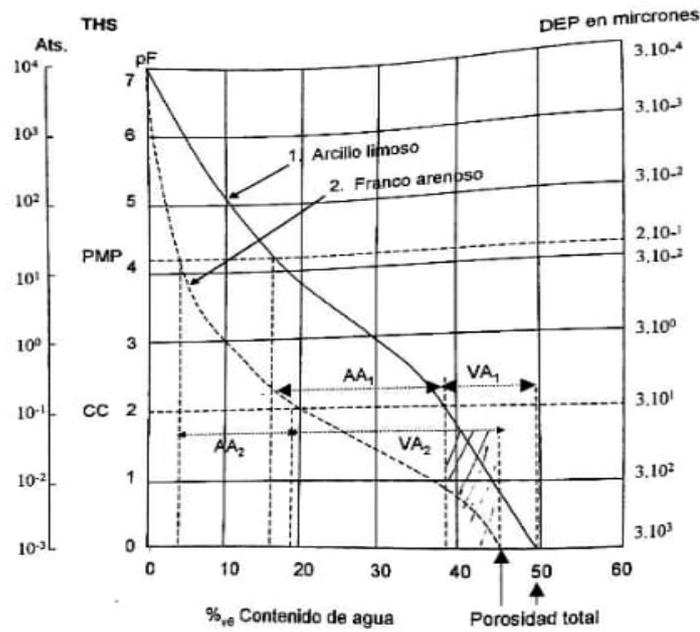


Figura 2. Curva de retención de agua en el suelo

Fuente: Valarezo *et al.* (1998).

Los factores que determinan la forma de la curva de retención del agua en el suelo es la capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM) y como consecuencia, el agua útil (AU) Tabla 4. (Oszust *et al.*, 2010).

Tabla 4.

Puntos más importantes de los valores de pF con sus equivalentes en atmósferas.

pF	Atm	Interpretación
0	0.001	Saturación
2.52	0.3	Capacidad de campo CC
4.2	15	Punto de marchitez permanente PMP

Fuente: (Valarezo *et al.*, 1998).

2.9.1 Saturación.

Se considera como la máxima cantidad de agua que el suelo puede retener y es afectado por el contenido y tipo de arcilla y por la concentración de la materia orgánica que tenga, dentro del punto de intersección en la curva con el eje de las abscisas corresponde a un valor de tensión de 1 cm ($pF = 0$), que equivale al contenido de agua del suelo en la condición de saturación, lo cual significa que este valor es prácticamente similar a la porosidad total (Ortíz, 2017). La saturación se refiere al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua. En los suelos bien drenados es un estado temporal ya que el exceso de

agua drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazada por aire (FAO, 2005).

2.9.2 Capacidad de campo (CC).

Es una cantidad relativamente constante de agua y corresponde al agua que queda en el suelo tras haber drenado el agua cuando se encontraba saturado, después de unas 48 horas. El drenaje se ha producido a través de los poros mayores de 0,05 mm, mientras que el agua que comprende la Capacidad de Campo es la que ocupa los poros más pequeños. En suelos bien estructurados, tiene sentido hablar de capacidad de campo, mientras que, en suelos mal estructurados, el drenaje puede estar produciéndose durante varias semanas, por lo que no existe una capacidad de campo bien definida. El suelo, la capacidad de campo se siente muy húmedo en contacto con las manos (Shaxson, 2005).

Así la CC para el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), corresponde al contenido de agua que el suelo retiene en una sección de 1/3 de atm (333,3 cm de columna de agua, o pF 2, 52). En cambio, para la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (SICS), corresponde al contenido de agua que el suelo retiene cuando ha sido sometido a una succión de 1/10 de atm (100 cm de columna de agua, o pF 2) (Valarezo *et al.*, 1998).

2.9.3 Punto de marchitez permanente.

Por el contrario, a la capacidad de campo, el Punto de Marchitez Permanente (PMP) es el potencial hídrico del suelo más negativo al cual las hojas de las plantas no recobran su turgencia. En efecto, el valor del PMP depende de las condiciones climáticas del suelo y de la conductividad hidráulica. Cuando el cultivo va consumiendo agua, llega a un nivel que, aun conteniendo cierta cantidad de agua el suelo, las raíces de las plantas no pueden extraer más agua del suelo. A esta cantidad mínima de agua que puede extraer la planta se le denomina Punto de Marchitez Permanente. En este punto, el cultivo no puede sobrevivir, aunque se vuelva a saturar el suelo. El suelo al tacto se nota seco o muy poco húmedo (Calderón *et al.*, 2001).

2.9.4 Agua útil para las plantas.

Es la diferencia entre la Capacidad de Campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP):

$$ADP = CC - PMP$$

Esta es la cantidad de agua que está disponible para la planta, aunque debemos saber que cuando esta cantidad se acerca al PMP, la planta empieza a sufrir estrés hídrico, por lo que en los planes de riego no se puede agotar el ADP para empezar a regar, se ha de planificar con un factor que evite esta circunstancia (Redondo, 2021).

2.10 Fertilidad del suelo para el café

La fertilización de cafetales involucra la aplicación de abonos en forma racional, en las diferentes etapas del cultivo, como: en los sustratos, en viveros, al momento de plantar (fertilización básica), en la etapa de crecimiento del cultivo (hasta los 18 meses después del establecimiento) y en la etapa de producción (Enriquez & Duicela, 2014).

El café necesita altos requerimientos de nitrógeno y potasio. El requerimiento del fósforo es más bien bajo, pero todos son igualmente necesarios para su nutrición. En cafetos de 3 años de edad se han reportado necesidades nutritivas de 125 kg de N, 13 kg de P y 126 kg de K por hectárea. Lo que demuestra la demanda de N y K por el cultivo. Respecto al N, es un elemento que forma parte de las proteínas, clorofila, alcaloides y muchos otros compuestos, tienen gran movilidad dentro de la planta siendo absorbido como ión nitrato (NO_3) e ión amonio (NH_4). Por su baja disponibilidad en el suelo la planta puede sufrir diversos niveles de clorosis, según el grado de deficiencia, lo cual afecta la tasa de fotosintética, crecimiento, área foliar, número de nudos productivos, expansión del fruto y finalmente el rendimiento (INIAP 1993).

Se ha reportado que un cafetal de 3 años requiere alrededor de 140 kg. ha^{-1} de N, 14 kg. ha^{-1} de P y 157 kg ha^{-1} de K, para satisfacer sus necesidades nutritivas. Aproximadamente un tercio de dichas necesidades anuales se destinan para la formación del fruto. Niveles foliares de 3.0% de N, 0.20% de P y 1.80% de K reflejan suficiencia nutritiva para respaldar la formación de una buena cosecha (INIAP, 2012).

Los suelos para el cultivo de café deben ser de fertilidad media a alta, pero más importante aún es el equilibrio entre los elementos de magnesio/potasio, calcio/magnesio y calcio/potasio. También son importantes la textura del suelo y los tipos de minerales presentes, ya que influye directamente en la capacidad de fijación de fósforo.

Investigaciones realizadas en Colombia donde cafetales con densidades de 4 000 plantas ha^{-1} , las cuales extraen hasta los 2 000 días después de la siembra las siguientes cantidades nutritivas que requiere para mejorar su rendimiento: Nitrógeno 560 kg. ha^{-1} (N), Fósforo 52 kg. ha^{-1} (P), Potasio 520 kg. ha^{-1} (K), Calcio 240 kg. ha^{-1} (Ca), Magnesio 60- 120 kg. ha^{-1} (Mg), Azufre 1.21 kg. ha^{-1} (S), Boro 0.051 kg. ha^{-1} (B), Hierro 0.107 kg. ha^{-1} (Fe), Cobre 0.033 kg. ha^{-1} (Cu), Manganeso 0.061 kg. ha^{-1} (Mn), Zinc 0.018 kg. ha^{-1} (Zn) cuyo elementos son absorbidos del suelo a través de las raíces finas. Estos nutrientes necesarios para las plantas se encuentran en cantidades variables a lo largo de los suelos, motivo por el cual hay que diseñar una correcta fertilización para alcanzar las altas producciones esperadas. Un pH ácido de alrededor de 5.0 es deseable durante el crecimiento, pero ya para la madurez es recomendable llegar a niveles de 6.5 (Sadeghian, S, 2008).

Según Sadeghian y González (2012), las cantidades de nutrientes que requiere el cultivo de café son: 300 kg. ha⁻¹. año de N, 50 kg. ha⁻¹. año P₂O₅, 260 kg. ha⁻¹. año de K₂O, 50 kg. ha⁻¹. año de MgO y 50 kg. ha⁻¹. año de S.

2.10.1 Materia orgánica.

Los cafetales que se cultivan bajo sombra presentan cantidades de materia orgánica comparable con la de un bosque caducifolio, estas condiciones favorecen el reciclaje de los nutrientes, crecimiento de raíces y reducción de nemátodos en el suelo (Ponce, 2012).

Valencia (1989), menciona que la materia orgánica ofrece una variedad de beneficios que condicionan al suelo para lograr las producciones que permite la oferta ambiental, ayudando en las propiedades físicas del suelo: tales como es mejorar la estructura del suelo, aumentar la agregación de las partículas, la resistencia a la erosión, incrementa la aireación, permeabilidad y la retención de humedad. Así mismo aporta al mejoramiento de las propiedades químicas: aumenta la capacidad buffer o resistencia a cambios de pH, la capacidad de intercambio de cationes y suministra nutrientes al suelo, también hay cierto aporte a las propiedades biológicas al incrementar la actividad del microorganismo que ayudan a la mineralización de los residuos orgánicos.

2.10.2 pH:

El pH constituye un índice de referencia para diagnosticar el estado de acidez o de alcalinidad de los suelos. La reacción del suelo está referida en términos de unidad de pH, que miden la concentración de iones hidrógeno en la solución del suelo (Duicela *et al.* 2002).

Casi todos los nutrientes son asimilables por las plantas en un pH entre 6.1 y 7.3, disminuyendo su posibilidad a medida que la reacción se aleja de dichos valores (Tabla 5).

Los suelos preferidos para el establecimiento de plantaciones de café son suelos ligeramente ácidos, con pH entre 5 y 6. Con suelos que poseen pH inferiores a 5 se puede cultivar adecuadamente el café, siempre y cuando la estructura del suelo sea buena. Se suele aplicar bases a los suelos ácidos, principalmente utilizando o mezclando con calcio, por otro lado, Ponce (2012) menciona que el cafeto no le conviene suelos con valores de la acidez por debajo de 5 o por encima de 5.5, pues se dificulta la nutrición del cultivo.

Tabla 5.*Escalas de pH, tomado del laboratorio de suelo del INIAP*

pH	Interpretación	Nomenclatura
>8.0	Alcalino	Al
>8.0-8.5	Medianamente alcalino	Me.Al
>7.5- 8.0	Ligeramente alcalino	L.Al
7.0	Neutro	N
>6.5 - 7.5	Prácticamente neutro	P. N
>6.0 - 6.5	Ligeramente ácido	L.Ac
>5.5 - 6.0	Medianamente ácido	Me.Ac
5.0 – 5.5	Ácido	Ac
< 5.0	Muy ácido	M.Ac

Fuente: (Duicela *et al.*,2002)

2.10.3 Encalado.

El encalado es la operación por la cual se aplica al suelo compuestos de calcio o calcio y magnesio que son capaces de reducir la acidez e incrementar el pH. Existen varios materiales que son capaces de reaccionar en el suelo y elevar el pH. Entre los más importantes se pueden citar: óxido de calcio, hidróxido de calcio, calcita y dolomita (Espinoza & Molina, 1999).

Suarez *et al.* (2004) demostraron que cantidades de cal mayores a 2 t ha⁻¹ afectan de manera negativa el desarrollo de los cafetales jóvenes, mientras que con 1 o 2 t ha⁻¹ es posible corregir la acidez y lograr un mayor crecimiento de las plantas. En esta etapa, el encalamiento se realiza en dos oportunidades: al momento de la siembra, y 12 meses después de esta fecha. En las dos ocasiones se emplea la misma cantidad y tipo de cal, pero se cambia el modo de la aplicación; en la siembra se debe incorporar el material encalante al suelo, mientras que al año se aplica sobre la superficie del plato del árbol, libre de arvenses y hojarasca, esparciendo la enmienda uniformemente en toda el área.

Ante condiciones de acidez (pH<5,5), el exceso de aluminio afecta el crecimiento normal de las raíces, circunstancia que reduce la absorción de los nutrientes y del desarrollo de la parte aérea de la planta (Sadeghian K, 2016).

2.10.4 Relación de cationes.

Según Enríquez y Duicela (2004), para el cultivo de café la relación de cationes está en los diferentes rangos (Tabla 6), para un óptimo desarrollo.

Tabla 6.
Relación de cationes intercambiables adecuadas para el café arábigo

Relación entre cationes	Rangos óptimos (meq/100g)	Nivel crítico (meq/100g)	Recomendaciones
Ca/Mg	2.6-8.0	Si < 2.6	Agregar Calcio
		Si > 8.0	Agregar Magnesio
Mg/K	7.5-15.0	Si < 7.5	Agregar Magnesio
		Si > 15.0	Agregar Potasio
(Ca+Mg)/K	27.5-55.0	Si < 27.5	Agregar Calcio y Magnesio
		Si > 55.0	Agregar Potasio
Suma de Bases (K+Ca+Mg)	15-30	Si < 15.0	Agregar K, Ca y Mg
		Si 15 < 30	Suelo Normal
		Si > 30.0	Suelo rico en K, Ca y Mg

Fuente: Laboratorio de Suelos de La EET Pichilingue del INIAP (Enriquez & Duicela , 2014).

2.11 Nutrición del café en las diferentes etapas de desarrollo

Para establecer el manejo adecuado del cultivo de café se requiere un amplio conocimiento de la planta en lo que respecta a su crecimiento, desarrollo y producción, así como de los factores que los afectan, el éxito del cultivo del café depende de la cantidad y la calidad de su crecimiento, de tal forma que, si éstos son óptimos, los rendimientos en producción serán buenos. Como todo organismo vivo cada especie vegetal, incluido el cafeto, tiene un ciclo de vida y un potencial productivo característicos. En el transcurso de este ciclo es posible distinguir una serie de fases de desarrollo, en las cuales, la planta o sus órganos, permanece por períodos de corta o larga duración, dependiendo de sus características genéticas y de las condiciones ambientales que ocurran en el sitio de cultivo. Se distinguen cuatro etapas o fases: germinativa, almácigo, crecimiento vegetativo o levante, y crecimiento reproductivo (producción) (Arcila, J, 2016).

2.11.1 Nutrición en la etapa de germinación.

Esta etapa tiene una duración aproximada de dos meses. Las semillas se siembran en arena y no requieren la adición de nutrientes, ya que las reservas nutritivas contenidas en las mismas suplen las necesidades de las plántulas o “chapolas” para alcanzar su desarrollo completo. Sólo requieren condiciones adecuadas de humedad, oscuridad y temperatura, además del manejo fitosanitario (Sadeghian, S, 2008).

2.11.2 Nutrición en la etapa de almácigo.

Etapa transcurrida desde el trasplante de la chapola en la bolsa hasta el momento de la siembra en el campo, y tiene una duración aproximada de seis meses, dependiendo del tamaño de la bolsa, las condiciones climáticas predominantes del lugar y del manejo del almácigo. En esta etapa la planta responde de manera positiva a abonos orgánicos y a las aplicaciones de fósforo (Sadeghian & Gaona, 2005). Cuando no se utiliza una mezcla adecuada de suelo y abono orgánico, bien descompuesto, deben aplicarse 2 g de fósforo (P_2O_5) por bolsa, preferiblemente en forma de DAP (46% de P_2O_5), a los 2 y 4 meses luego del trasplante (Salazar, 1997).

2.11.3 Nutrición en la etapa de crecimiento vegetativo o levante.

Arcilla (2007) sostiene que, en especies perennes como café, resulta complejo definir claramente la fase vegetativa del cultivo, debido a que la formación de órganos como hojas, raíces y nudos, puede ocurrir de manera simultánea con el crecimiento reproductivo durante toda la vida de la planta. Por lo anterior, el crecimiento vegetativo se inicia con la germinación de la semilla y se extiende hasta la primera floración; sin embargo, para el caso práctico, esta fase tiene lugar a partir de la siembra en el campo hasta 18 a 24 meses después, dependiendo de las condiciones agroclimáticas de la zona. Las labores que se realicen en la siembra y en la etapa de crecimiento de los cafetales se verán reflejadas en el desarrollo del cultivo y por lo tanto, en la producción de los siguientes dos ciclos de renovación, los cuales tendrán una duración aproximada de 15 o 20 años.

La adecuación física y química del suelo debe comenzarse al momento del establecimiento o antes, según la información disponible acerca de las propiedades del suelo. En ocasiones será necesaria la aplicación de cal para corregir los problemas de la acidez y el uso de abonos orgánicos, con el fin de acondicionar el suelo. Los mayores requerimientos nutricionales corresponden al nitrógeno, seguido por el fósforo; la demanda de potasio y magnesio se incrementa al iniciar la etapa reproductiva. 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, condición que es determinada por la precipitación, las características del suelo y la cobertura vegetal (Sadeghian, S, 2008).

De acuerdo con Valencia (2002), citado por (Sadeghian, K; Gonzalez, H, 2012), en esta etapa solo es necesario la aportación de nitrógeno y fósforo mediante aplicaciones de urea y DAP, dicha recordación puede resultar insuficiente si existen deficiencias de otros elementos en el suelo.

2.11.3.1 Requerimientos nutricionales para el cultivo del café.

✓ Elementos esenciales.

La fertilización del cultivo del café es una actividad que define en gran medida la productividad, pero cuando fertilizamos, realmente no lo hacemos al cultivo, lo hacemos al suelo en donde después de varios procesos, los nutrientes quedan disponibles para ser tomados por las plantas. El cultivo del café requiere de varios nutrientes para alcanzar su máximo potencial de producción desde el punto de vista de nutrición y necesita en mayor cantidad algunos nutrientes más que otros. Los tres principales elementos para el crecimiento y desarrollo de la planta de café son el carbono, el hidrógeno y el oxígeno, los cuales se obtienen básicamente del agua y de la atmósfera, representando cerca del 95% del peso de la planta. Los demás elementos se encuentran principalmente en el suelo y según su demanda, para el cultivo del café, son considerados como macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) y micronutrientes (hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, cloro, molibdeno, y níquel) (Rosales , 2017).

2.11.3.1.1 *Nitrógeno*

Es un elemento esencial, considerado un macronutriente, para todos los seres vivos. Además de ser un componente específico de las proteínas, está presente en la mayor parte de las combinaciones orgánicas de los vegetales. Actualmente está demostrado que es el factor limitante más común del crecimiento de las plantas, y que un deficiente suministro de este nutriente puede provocar notables descensos en la producción vegetal. A su vez, directa o indirectamente, es fuente de las sustancias proteicas que aseguran la nutrición del hombre y de los animales en general. Tanto sus deficiencias como sus excesos en los suelos, tienen gran impacto en la salud y en la productividad de los ecosistemas mundiales. Debido a las altas exigencias de este nutriente por la planta de café, se recomienda incluirlo en todas las aplicaciones. La materia orgánica del suelo (MO) es la principal fuente de N, por lo tanto, las dosis a aplicar se ajustan en base a esta propiedad del suelo. En esta etapa solo se establecen dos categorías de fertilidad para la MO: Suelos con contenidos bajos a medios ($MO \leq 8\%$), y suelos con contenidos medios a altos ($MO > 8\%$). Para los primeros, es decir, aquellos que tienen un menor porcentaje de N, se sugiere una dosis más alta (desde 7,0 g de N/planta en el mes 1 o 2, hasta 16 g de N/planta en el mes 18). Para los suelos con $MO > 8$ (los que tienen niveles de N más altos), se sugiere aplicar las menores dosis (de 5 a 14 g de N/planta). Aunque el fertilizante de uso común es la urea con 46% de N, no se descarta la posibilidad de emplear otras fuentes como el nitrato de amonio (26% de N) y el sulfato de amonio (21% de N y 24% de S). Es importante resaltar que esta última presenta un mayor efecto acidificante por unidad

de nitrógeno; por tal razón se sugiere restringir su empleo a suelos con valores altos de pH para café (Benimeli & Corbella, 2019)

El nitrógeno es uno de los elementos de mayor importancia en el desarrollo para la planta y ayuda en el fruto, dándole una condición de vigor y "frescura" a los cafetos; este elemento que más rápidamente da una mayor y más constante respuesta en la producción de café, a la vez que el nitrógeno es requerido por la planta en una alta cantidad por lo que es necesario devolverlo al suelo por medio del fertilizante; de una manera oportuna y considerable, para lograr un buen desarrollo y producción (Instituto de Investigación del Café, 2006).

Las plantas absorben el nitrógeno en forma NO_3 o NH_4 . Los compuestos de Nitrógeno comprenden del 40 al 50% en el peso de la materia seca en la sustancia del protoplasma y consecuentemente de la sustancia viviente de las células de las plantas. Es por ello que el nitrógeno se requiere por lo general en cantidades relativamente grandes durante todo el proceso de desarrollo de las plantas. Participa en la formación y desarrollo de las plantas (Valencia, G, s.f). Participa en la formación de botones florales y minimiza la muerte descendente (asociada con potasio). Las deficiencias de este elemento se manifiestan como una clorosis (amarillamiento) uniforme en la lámina foliar, del ápice y vena central hacia los bordes en hojas adultas, deficiencia severa también se presenta en hojas jóvenes.

2.11.3.1.2 Fósforo

Para el suministro de fósforo deben tenerse en cuenta los niveles de este elemento en el suelo al momento del trasplante y las prácticas de manejo nutricional efectuadas en la etapa de almácigo. Cuando los contenidos de fósforo en el suelo se encuentren por debajo de su nivel crítico para esta etapa (30 mg kg^{-1}), se recomienda aplicarlo a los 2, 10 y 18 meses después del trasplante en el campo (P_2O_5 4,5,6 g planta⁻¹ o DAP 9,11,13 g planta⁻¹). Para contenidos de fósforo por encima de 30 mg kg^{-1} no se espera respuesta a la aplicación de fertilizantes fosfóricos. En el caso de emplear DAP como fuente de fósforo, se podrán ajustar las cantidades de urea; por ejemplo, si la MO es inferior a 8% y el nivel de P no supera los 30 mg kg^{-1} , se podrán aplicar 20 g de una mezcla urea y DAP en proporción 3:2 a los dos meses, 35 g de mezcla en proporción 2:1 a los 10 meses y 45 g de la mezcla en proporción 2:1 a los 18 meses. Cuando se ha realizado una fertilización fosfórica en la etapa del almácigo, con 2 g de P_2O_5 a los 2 y 4 meses después del trasplante en forma de DAP u otra fuente, se puede prescindir de la primera fertilización con este elemento al primero o segundo mes después de la siembra en el campo (Sadeghian, S, 2008).

2.11.3.1.3 Potasio

En esta etapa la demanda del potasio es relativamente baja, pero se incrementa con la primera floración y el llenado de frutos. Cuando los contenidos de este elemento en el suelo se encuentran por debajo de 0,40 cmol (+) / kg, se debe incluir en los planes de fertilización a los 18 meses. Además, en localidades donde el contenido es muy bajo (menor a 0,20 cmol (+) / kg), y los síntomas de deficiencia se manifiestan tempranamente (entre 12 y 14 meses después de la siembra), se sugiere aplicar 10 g/planta de K₂O a los 10 o 12 meses; en este caso la siguiente aplicación se realizará a los 18 meses (Sadeghian, S, 2003)

2.11.3.1.4 Magnesio

El magnesio (Mg), junto con el calcio y el azufre, es uno de los tres nutrientes secundarios que requieren las plantas para un desarrollo normal, saludable. La falta de un nutriente secundario es tan perjudicial para el desarrollo de las plantas como la de cualquiera de los tres de carácter primario (nitrógeno, fósforo y potasio) o la deficiencia de micronutrientes (hierro, manganeso, boro, zinc, cobre y molibdeno). Además, en algunas plantas, la concentración de magnesio en el tejido es comparable a la de fósforo, un nutriente primario (Chen, 2021).

La deficiencia del magnesio genera síntomas de clorosis intervenal de las hojas más viejas, en tanto que las nervaduras principales permanecen verdes, defoliación en las ramas productivas, gracias a 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. Entre los fertilizantes magnésicos se encuentra la Kieserita, fuente sulfatada de alta solubilidad con 25% de MgO y 20% de azufre (S), que no altera la acidez del suelo, y que por su granulometría se puede mezclar con la urea, DAP o KCl. Al emplear la Kieserita es posible fraccionar la dosis mencionada en dos aplicaciones, así: 5 g planta⁻¹, a los 10 y 18 meses junto con los demás elementos. Otras fuentes menos solubles son el óxido de magnesio (88% de MgO) y el carbonato de magnesio (40% de MgO); éstas son de reacción alcalina, aspecto importante a tener en cuenta a la hora de seleccionarlas. Si existe deficiencia de Mg en los suelos, al momento de plantarlos se debe incorporar hasta 120 g planta⁻¹ de cal, según el análisis de suelos, repetir la aplicación al año, durante la época de producción aplicar dosis entre 400 y 1 400 kg ha⁻¹ de cal según el grado de acidez (Khalajabadi, 2017).

2.12 Nitrógeno en las plantas

La mayor parte del N del planeta Tierra se encuentra en las rocas ígneas de la corteza y el manto. Sin embargo, esa forma de N no está disponible para las plantas, por lo menos en el mediano plazo. 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 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), se estima que por encima de una hectárea de suelo hay aproximadamente 300 000 t. de N (Stevenson, 1982). El aire del suelo tiene normalmente una composición similar a la atmósfera, aunque ocasionalmente puede estar más enriquecido en alguna de las otras formas gaseosas, como N_2O o NH_3 , debido a la acción de procesos químicos o microbiológicos. La otra reserva importante de N es la materia orgánica del suelo. 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 cm de profundidad de un suelo pueden contener entre 1 000 y 10 000 kg ha de N. Estas formas orgánicas incluyen proteínas, aminoácidos y azúcares aminados. Sin embargo, las formas químicas identificadas representan sólo un 30 a 35% del total del N orgánico del suelo. El resto, entre un 70 a 75% del N orgánico, está en estructuras químicas complejas que aún no se han podido identificar (Perdomo & Barbazán, s.f).

El Nitrógeno (N) es un elemento esencial, considerado un macronutriente, para todos los seres vivos. Además de ser un componente específico de las proteínas, está presente en la mayor parte de las combinaciones orgánicas de los vegetales. Actualmente está demostrado que es el factor limitante más común del crecimiento de las plantas, y que un deficiente suministro de este nutriente puede provocar notables descensos en la producción vegetal, existen ciertos microorganismos del suelo que realizan la fijación biológica de N desde la atmósfera y además existe un proceso de reciclado hacia el suelo de gran parte del N tomado por los vegetales en los ecosistemas naturales. En los sistemas agrícolas, la fertilización nitrogenada suele ser una alternativa costosa, pero a menudo necesaria, para solucionar las deficiencias edáficas. Asimismo, el exceso de compuestos nitrogenados en los suelos puede degradar la calidad del ambiente (Benimeli & Corbella, 2019).

2.12.1 Ciclo del nitrógeno.

Los organismos autótrofos requieren típicamente un suministro de nitrógeno en forma de nitrato (NO_3^-), mientras que los heterótrofos lo necesitan en forma de ($-NH_2$), los autótrofos reducen el nitrógeno oxidado que reciben como nitrato (NO_3^-), reducidos grupos amino

reducido (asimilación). El ciclo global del nitrógeno está constituido por las interacciones de las distintas formas con el suelo, los organismos y la atmósfera. En las transformaciones están involucradas las formas orgánicas e inorgánicas que ocurren en forma simultánea. La conversión de N^2 (gas) a formas utilizables por las plantas se produce principalmente a través del proceso de fijación biológica. Las formas orgánicas son convertidas a formas inorgánicas (NH^4^+ o NO^3^-) por mineralización. El NO^3^- puede volver a la atmósfera por desnitrificación en forma de N^2 o perderse por lixiviación. Las formas inorgánicas pueden ser absorbidas por las raíces de las plantas o por los microorganismos, que vuelven a incorporar el N a una forma orgánica por inmovilización (Figura 3), las plantas pueden tomar el amonio y el nitrato a través de las raíces y pueden usarlos para la síntesis de sus proteínas y los ácidos nucleicos (Iñón , (s.f)).

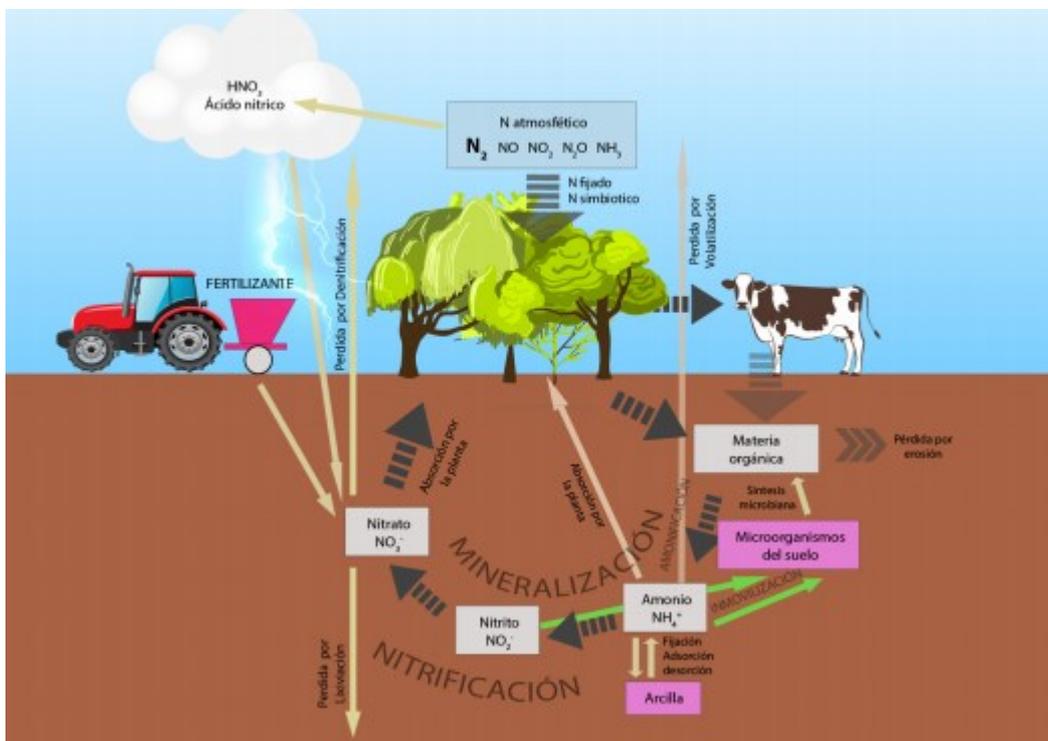


Figura 3
Ciclo del nitrógeno.

Fuente: (Benimeli & Corbella, 2019).

2.12.2 Dinámica del nitrógeno en el suelo.

En todos los suelos, y de forma continua, existen considerables entradas y salidas de nitrógeno, acompañadas de muchas transformaciones complejas (Figura 3). Algunos de estos cambios pueden ser controlados más o menos por el hombre, mientras que otros se encuentran más allá de su control. El conjunto de todos estos procesos constituye una parte importante del ciclo general del nitrógeno en la naturaleza. 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 las plantas 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. Las pérdidas se deben a la asimilación por parte del cultivo, a la erosión, a la lixiviación y a su volatilización en condición gaseosa, tanto en forma elemental como en forma de óxidos o de amoníaco. La dinámica del nitrógeno en el suelo está, pues, altamente influenciada por tres grandes procesos (ganancia, transformación y pérdida de Nitrógeno por el suelo), cada uno de los cuales depende, a su vez, de un conjunto de secuencias íntimamente ligadas entre sí (Navarro S. , 2003).

2.12.3 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:

- ✓ Promueve el crecimiento inicial de los tejidos jóvenes de la planta.
- ✓ Mantener el crecimiento de la planta y llenado de los frutos durante la fase crítica.
- ✓ Componente de los aminoácidos, que son las unidades estructurales de las proteínas.
- ✓ Componente de moléculas de enzimas, vitaminas, hormonas y ácidos nucleicos.
- ✓ Componente de la molécula de clorofila.

Además, es esencial en la utilización de los carbohidratos y estimula el crecimiento y desarrollo radicular (Alvarez *et al.*, 2006).

2.12.3.1 Deficiencia.

Al estar involucrado el nitrógeno en tantos procesos vitales, no es de extrañar que su deficiencia afecta en gran medida el crecimiento de la planta. Una insuficiente nutrición en N se manifiesta, en primer lugar, en una vegetación raquítica. La planta se debilita, poco desarrolla, las hojas permanecen pequeñas, adquieren una notable rigidez y tienden a exhibir clorosis (color amarillento o verde pálido en las hojas). El nitrógeno es bastante móvil dentro de la planta y, cuando el suministro es inadecuado, se transfiere a hojas jóvenes, provocando que las hojas viejas muestran clorosis, envejezcan prematuramente y caigan. A menudo estas plantas presentan una baja tasa de desarrollo radicular. La vegetación deficiente de N viene acompañada de una maduración acelerada del fruto y de una disminución del rendimiento (Intagri, s.f).

2.13 Importancia del nitrógeno en suelo para el cultivo del café

El nitrógeno es un elemento esencial para los cafetos y lo absorben en altas cantidades, ya que cumple funciones vitales como crecimiento del vegetal, desarrollo y producción. 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 baja disponibilidad de nitrógeno asimilable para la planta en el suelo, así como la gran necesidad de este nutriente para el cafeto, hacen que, por lo menos en alguna etapa de crecimiento, el requerimiento supere la disponibilidad (Montero, 2017).

El café tiene altos requerimientos de N y la deficiencia de este elemento causa disminución del crecimiento y producción. La falta de N se acentúa durante la fase de crecimiento de los frutos y en épocas de sequía. Aunque la demanda de P por el cultivo es más bien pequeña, el desarrollo radicular se ve afectado por un suministro inadecuado. El cafeto presenta una demanda de K algo superior a la del N, aumentando la exigencia con la edad de la planta y al avanzar el período de fructificación. Esto último ocurre porque la síntesis y translocación de los carbohidratos se relaciona estrechamente con la nutrición potásica. Durante el desarrollo los frutos acumulan los nutrientes provenientes de las hojas adyacentes. Esta translocación reduce además el nivel hídrico de las hojas causando envejecimiento prematuro si la planta no ha tenido un buen suministro nutritivo (Pulgarín, s,f).

El café tipo arábigo puede crecer bajo diversas condiciones climáticas, aunque no siempre con buenos resultados. El ambiente considerado óptimo para esta especie está representado por un clima tropical moderado por altitudes que van de 1 000 a 1 800 m s.n.rn. temperatura media anual de 20 a 25°C, precipitación entre 1 300 y 1 800 mm y un período sin lluvias de 4 a 5 meses. Aunque en su hábitat natural el café arábigo crece en lugares sombreados, puede explotarse con éxito y lograr máximos rendimientos a pleno sol siempre y cuando las condiciones sean favorables. El cultivar café en zonas bajas afecta desfavorablemente la longevidad de la plantación, así como el rendimiento y la calidad de taza. El café en nuestro país se cultiva en zonas con distintos niveles de marginalidad y bajo una elevada proporción de sombra que actúa como factor moderador del ambiente. La predominancia de vientos secos y cálidos perjudica el crecimiento de la planta al acelerarla transpiración y disminuir sus reservas hídricas, particularmente en zonas con insuficiente precipitación (Venegas *et al.*, 2017).

Transcurridos 2 a 3 meses del trasplante que se realiza normalmente al inicio de la época lluviosa, se procede a la aplicación de 25 g de urea en corona, comenzando a unos 15

cm del pie de cada planta. La respuesta a esta fertilización temprana es muy clara. Al inicio del invierno siguiente, cuando el cafetal ha cumplido un año en el sitio definitivo, se aplica 30 g de urea más 30 g de un fertilizante de fórmula completa, comenzando la corona a unos 25 cm del pie de cada planta. Transcurridos 3 meses de dicha fertilización se completa con otros 30 g de urea (Sotomayor, 1993).

2.14 Investigaciones realizadas en el café respecto a la aplicación de nitrógeno y la acidez.

Los mayores requerimientos nutricionales corresponden al nitrógeno, seguido por el fósforo; la demanda de potasio y magnesio se incrementa al iniciar la etapa reproductiva.

- De acuerdo con las investigaciones de Riaño *et al.*, (2004), en la zona cafetalera central de Colombia los cafetales con densidades cercanas a las 4 000 plantas ha⁻¹, extraen hasta los 2 000 días después de la siembra: 560 kg ha⁻¹ de N; 50 kg ha⁻¹ de P; 520 kg ha⁻¹ de K; 240 kg a⁻¹ Ca y entre 60 y 120 kg ha⁻¹ de Mg, obteniendo un rendimiento de 1 000 kg ha⁻¹. En cafetales con densidades de siembra entre (7 500 y 10 000 plantas ha⁻¹) y un nivel muy bajo de sombra (<35%), se sugiere administrar las máximas dosis de nutrientes tecnificados a libre exposición solar, mientras que en plantaciones al sol y con densidades de siembra medias se recomienda aplicar el 95 % de las cantidades definidas de fertilizante.
- Cuando el suministro de nitrógeno se inició a los 6 meses después de la siembra el promedio de la producción en la primera cosecha se redujo en 2%, en relación al tratamiento en el que se inició la aplicación del nitrógeno a los 2 m.d.p, sin embargo, a medida que esta labor se atrasó en más de seis meses, la producción de café disminuyó, hasta valores de 40% en el tratamiento sin fertilización (Testigo) (Hernandez & Suárez, 2016)
- El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, razón por la cual requiere ser incluido en los programas de fertilización en diversos cultivos. El café es un cultivo de la cual necesita alrededor de 400 a 500 kg ha⁻¹ del elemento para garantizar un adecuado crecimiento vegetativo y entre 240 y 300 kg ha⁻¹. año para la fase de producción (Osorio y Khalajabadi 2012).
- Según (Amores, 2004), en cafetos de tres años de edad se ha reportado necesidades nutritivas de 125 kg de N, 13 kg de P y 126 kg de K por hectárea; dichos valores configuran la relación 10:1:10 y confirman la elevada demanda de N y K por el

cultivo. Respecto al N, es un elemento que forma parte de las proteínas, clorofila, alcaloides y otros compuestos. Tiene gran movilidad dentro de la planta siendo absorbido como ion nitrato (NO_3^-) e ion amonio (NH_4^+). Por su disponibilidad en el suelo la planta puede sufrir diversos síntomas, según el grado de deficiencia, lo cual afecta negativamente a las siguientes características: tasa fotosintética, crecimiento, área foliar, número de nudos productivos, expansión del fruto y finalmente rendimiento. La falta de N se acentúa durante la fase de crecimiento de los frutos y en los períodos de sequía.

- Con el suministro de 300 kg ha^{-1} año de nitrógeno el pH se redujo en 0.27 unidades, así mismo con la aplicación de cal apagada durante la fase de establecimiento del cultivo ha demostrado ser eficaz, con la aplicación de dosis no mayores a 2 t ha^{-1} (COFENAC, 2016)
- Para (Carvajal, 2004), menciona que en Costa Rica se recomiendan 300 kg ha^{-1} año N, con lo que se ha conseguido un aumento en la cosecha de 39 por ciento con respecto a las parcelas testigo.
- Malavolta, (1992) citado por (Palma, 1989) menciona que en Brasil la aplicación de nitrógeno varía entre 64 y 200 kg ha^{-1} año en la fase de desarrollo vegetativo del cultivo de café, lo que posterior se ve afectado en la producción de café en grano.
- En Colombia (Valencia, 1989) citado por Palma (Palma, 1989) recomienda en suelos con bajo contenido de materia orgánica la adición 70 - 115 kg ha^{-1} año en forma de urea; la tendencia en este país es emitir recomendaciones de fertilización con base en análisis de suelos y follaje.
- En la zona occidental de Guatemala se recomienda utilizar 300 kg ha^{-1} año de Nitrógeno. En Honduras Palma 1989 sugiere utilizar 125 kg ha^{-1} año de N, en los primeros tres años de cultivo y aumentar a 250 kg ha^{-1} año del cuarto año en adelante, dicha fertilización mejora el rendimiento del café.

3 Materiales y Métodos

3.1 Área de estudio

3.1.1 Ubicación geográfica.

La presente investigación se llevó a cabo en Los Molinos, sector Moraspamba de la Universidad Nacional de Loja, a 6 Km al sur de la ciudad de Loja, parroquia Sucre, cantón y provincia de Loja al sur de la ciudad de Loja.

El sector Los Molinos se encuentra ubicada en la Estación Experimental “La Argelia”, en las siguientes coordenadas planas UTM. Zona geográfica: 17 Sur.

9554365 m Este

700452 m Norte

Altitud: 2130 m s.n.m.



Figura 4

Mapa de ubicación del campo experimental, provincia de Loja, Sector la Argelia, los Molinos (UNL).

Fuente: (Luzón, 2016)

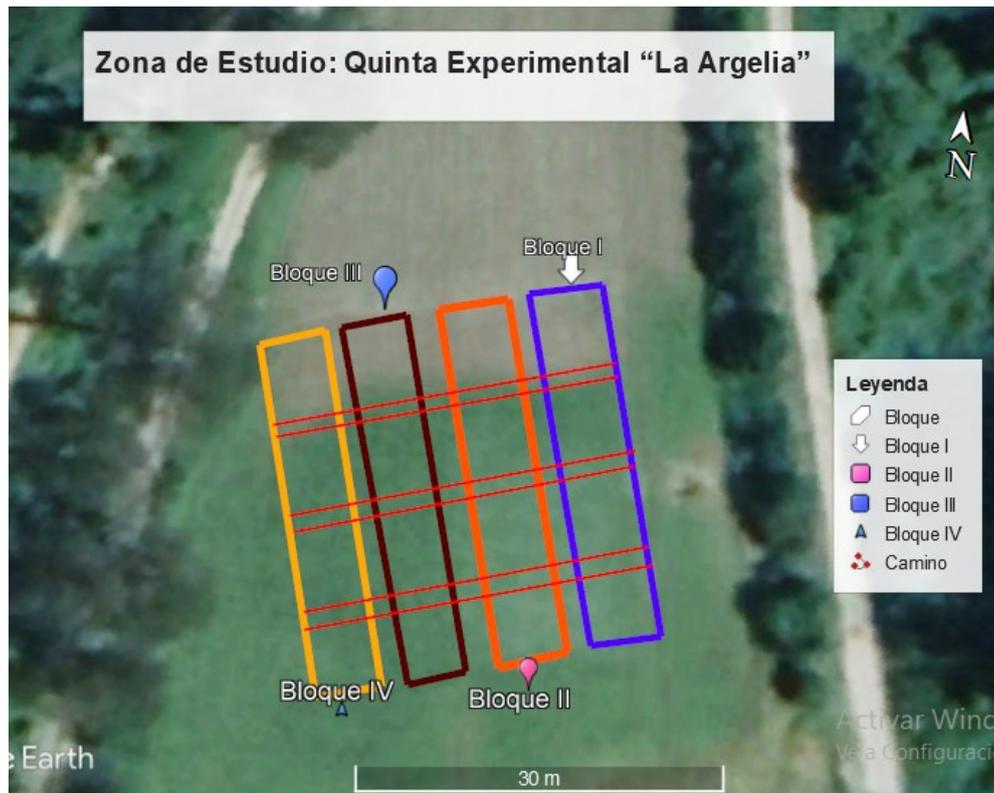


Figura 5
Ubicación del experimento, sector Los Molinos de la Estación Experimental La Argelia.

3.1.2 Ubicación ecológica.

La Estación Experimental “La Argelia”, según Holdridge (1967) pertenece a la zona de vida como bosque seco montano bajo.

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.

3.2 Materiales

- GPS, Estación Total
- Barreno tornillo
- Muestras de suelo
- Cilindros Koopecky de 100cc
- Cal Dolomina ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2\text{SiO}_2$, con la concentración (50% CaO, 5% MgO Y SiO_2)
- Fertilizantes, Urea (46% de pureza), Fosfato diamónico (18-46-0), Superfosfato Triple (46% P_2O_5), Bórax, Sulfato de Zinc
- Cinta métrica, flexómetro
- Balanza de precisión 0.1 g.
- Estufa
- Ollas de Richards
- de presión,
- 176 tarrinas de plástico de 700 ml
- 176 vasos de plásticos de 250 ml
- Semillas de tomate riñón (Flora Dade)
- Fundas de papel y plástico

3.3 Metodología

3.3.1 *Diseño experimental.*

El diseño experimental fue por bloques completamente al azar donde se empleó cuatro repeticiones (Tabla 7).

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 contó con un total de 384 plantas de café, que se distribuyó en cuatro tratamientos cada uno 24 plantas y sus respectivas repeticiones (Anexo 1), donde las variables a analizar fueron pH, Al^{+3} , variables de la altura y diámetro de la planta.

Tabla 7

Dosificación del Nitrógeno en los diferentes tratamientos para su estudio.

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

3.3.2 *Metodología para el primer objetivo*

Caracterizar las propiedades físicas, químicas y de fertilidad del suelo, y evaluar la aptitud de la tierra para el cultivo del café en sistemas agroforestales del piso altitudinal de 2130 m s.n.m, en el área representativa de la Argelia de la provincia de Loja.

La caracterización de la geología, geomorfología del suelo en el sitio seleccionado, se realizó utilizando las cartas geológicas 1: 100 000 (Anexo 19) (INIGMM, 2017).

Se preparó una calicata de alrededor de 1,20 m de profundidad, para la descripción del perfil del suelo y toma de muestras alteradas e inalteradas, se describió el perfil del suelo, siguiendo las normas contenidas en la “Guía y Claves para la Descripción de Perfiles de

Suelos” de la FAO (2009). La designación de los horizontes y capas se realizó siguiendo la nomenclatura contenida en el USDA Soil Taxonomy (2014).

Se tomó muestras alteradas de cada uno de los bloques (4 bloques) a una profundidad de 25 cm, que fueron enviadas a la Estación experimental “Santa Catalina”, laboratorio de suelos y aguas, INIAP, para la determinación de los contenidos disponibles de: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, B y Zn (extracción con la solución de Olsen Modificada: NaHCO_3 + EDTA). El N y P extraídos se determinarán mediante espectrofotometría UV – visible y todos los demás elementos por absorción atómica.

Se determinó la textura (el método de Bouyoucos, se utilizó como dispersante NaOH + oxalato de sodio), CIC (con acetato de amonio 1N pH 7,0 y generación de OH^- con formaldehído) y bases intercambiables por absorción atómica, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ y pH_{KCl} (método potenciómetro) y acidez intercambiable ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) (mediante titulación con NaOH 0,01 N, en extractos con KCl 1 N (método de Day).

Complementariamente a los análisis de laboratorio, se extrajo muestras de suelo para realizar la evaluación de la fertilidad del suelo mediante la metodología del elemento faltante (evaluación biológica) (Anexo 6). Se identificarán las unidades de suelo y a una profundidad de 00-25 cm, se tomarán las muestras de suelo; el diseño completamente al azar con 11 soluciones y cuatro repeticiones.

En los dos horizontes superiores de cada perfil se tomaron por triplicado muestras de suelos inalteradas utilizando anillos Koopecky de 100 cm^3 ; que se determinaron en laboratorio: porosidad total, densidad aparente, y retención de agua a pF 0,0; 2,0; 2,3; 3,0; y 4,2. Con el Agua Aprovechable, Capacidad de Aireación y Volumen de Poros Físicamente Inertes se evaluaron las condiciones físicas del suelo con la ayuda del diagrama triangular (Anexo 2). (Valarezo *et al.* 1998).

3.3.3 Metodología para el segundo objetivo.

Evaluar la respuesta de la aplicación al control de la acidez y de las diferentes dosis de nitrógeno en la etapa inicial del cultivo del café.

Con la dosis de 0.7 t ha^{-1} de cal, que se estableció a partir de los promedios ponderados del contenido de Al^{3+} intercambiable (extraído con KCl 1N) y de materia orgánica (método de Wakley Black), de las muestras tomadas de la capa superiores del suelo hasta 0.25 m de profundidad, aplicando la siguiente relación: 2 cmol (+) /kg de Ca^{2+} por cada $1 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ de Al^{3+} . El encalado se realizó en toda el área con siete meses de anticipación, mediante el doble recorrido, luego se incorporó al suelo uniformemente con el uso del tractor agrícola (Anexo

11), hasta una profundidad de 0.25 m. Además, se realizó el balance de cationes Ca/M, Mg/K y (Ca+Mg/K) requeridos por el cultivo Tabla 14.

La siembra de las plantas de alisos (5m x 5m), que proporcionarán sombra temporal y permanente conforme el desarrollo vegetativo, en la cual se verá beneficiado el cultivo de café, en el sitio del experimento, en base al levantamiento topográfico, se realizó el trazado de las parcelas, para el posterior la siembra del cultivo de café el replanteo a una distancia de 2 x 1,25 m entre hilera y plantas, por consiguiente se realizó el ahoyado de 0.30 x 0.30 x 0.30 m, donde se aplicó las dosis de N de acuerdo a cada uno de los tratamientos (Anexo 9). El P, K, Mg, Mn, Zn, Cu y B, se aplicó a todos los tratamientos de acuerdo a los resultados de la evaluación química y biológica de la fertilidad actual de los suelos (Anexo 3) y la relación de cationes Tabla 13.

La fertilización consistió en la aplicación combinada de 60 kg ha⁻¹ de P, 100 kg ha⁻¹ de K, 60 kg ha⁻¹ de Mg, 3 kg ha⁻¹ de Zn y 25 kg ha⁻¹ de S por año, cuyas dosis para cada planta y las fuentes de estos elementos se detallan en la Tabla 8, así mismo la distribución y fertilización se detallan en el anexo 9.

Tabla 8

Dosis de elementos aplicados por planta y fuentes utilizadas

Elemento	kg ha ⁻¹	g plan ⁻¹	Fuente	Formula
N	150	37.5		
	200	50.0	Urea	CO(NH ₂) ₂
	250	62.5		
P	60	15.0	Fosfato diamónico 18-46-0	(NH ₄) ₂ HPO ₄
K	100	25.0	Sulfato de Potasio	K ₂ SO ₄
Mg	45	11.3	Sulpomag	MgK ₂ (SO) ₄
Zn	3	0.8	Sulfato de Zinc	ZnSO ₄ .H ₂ O
B	5	1.3	Bórax	Na ₂ [B ₄ O ₅ (OH) ₄].8H ₂ O

Se realizó el seguimiento de las propiedades químicas del suelo (pH, Al⁺³), en un intervalo de 3 meses hasta los 9 meses. El procesamiento y análisis de datos (variables de altura total y DB y la evolución de las condiciones químicas, pH y acidez intercambiable), se realizó el análisis de la variancia (ADEVA) y la prueba de Tukey para las variables estadísticamente significativas, utilizando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2008).

4 Resultados y Discusión

4.1 Características generales, físicas químicas y de fertilidad del suelo en la Quinta Experimental La Argelia de la provincia de Loja.

4.1.1 Descripción General de la Unidad Experimental de estudio.

Clasificación Taxonómica: Oxyaquie Udifluvents

Ubicación del perfil: 699 839 E; 9 553472 N

Altitud: 2 045 m s.n.m.

Uso actual o cobertura vegetal: Barbecho de papa

Drenaje superficial: Pobre

Fisiografía: Vertiente de montaña de pendiente media (25%).

Material Parental: Aluvial

Drenaje interno: Regular

Sistema agroforestal

Características morfológicas. El suelo que se encuentra en esta zona está formado por un depósito aluvial, procedente de dos materiales parentales Quillollaco que son conglomerados gruesos con lentes de arenisca y limolitas siendo rocas sedimentarias, así mismo con una formación San Cayetano que según Macas & Mora (2006), son de origen sedimentario y debido a las condiciones de la cuenca se prestan para la formación de depósitos de arcilla y limos con ciertas alteraciones, producto de la hipergénesis de rocas primarias.

Es un suelo que no presenta horizontes genéticos, está compuesto por tres depósitos aluviales: El primer depósito y el más antiguo pertenece a la capa 3C se extiende desde 60cm hasta 120 cm, de textura franco arcillo limoso y color oscuro, así mismo es notable el proceso fluctuante del agua de lluvia se cuelga es esta capa generando condiciones de reducción al no haber presencia de oxígeno predominan colores grises con manchas herrumbrosas, el segundo depósito se forma en la capa 2C se extiende de 30 hasta 60cm, de color rojizo y franco es notable el proceso fluctuante del proceso de oxidación del hierro por lo que predominan manchas grandes de óxido e hidróxidos de férricos lo que indica la fluctuación del agua al entrar y salir de esta capa; Y finalmente el ultimo depósito formado por dos horizontes, un Ap de 20cm de profundidad, color oscuro, textura Franco arcillo limosa con presencia raíces muy finas, finas y medias y un C de 10cm de espesor, de textura franco y de color oscuro con presencia escasa de raíces finas. Suelo poco profundo, perfil con presencia de raíces hasta los

20cm, desde el punto de vista el riego debe ser moderado. En la capa 2C y 3C es notable el proceso fluctuante del agua colgada, predominan óxidos e hidróxidos férricos (Figura 6).

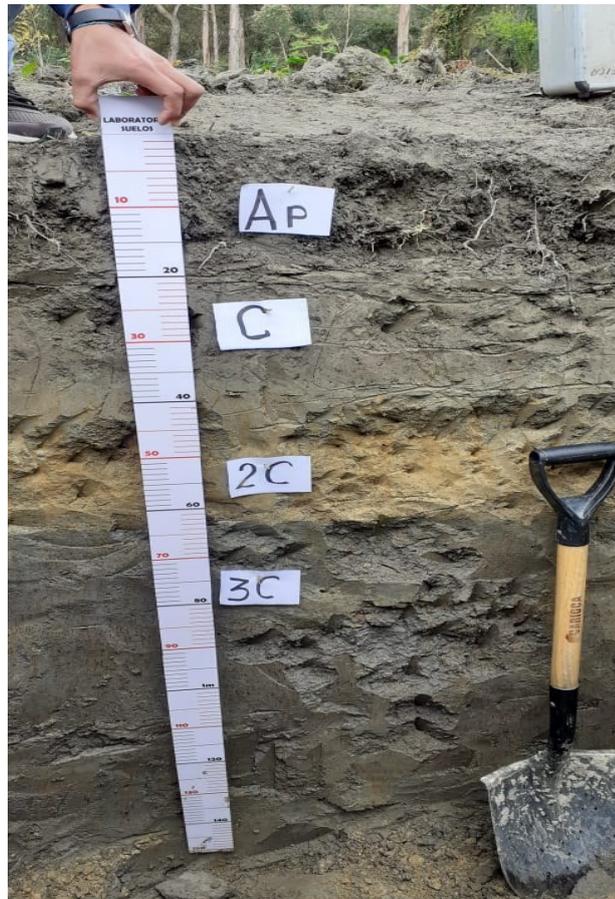


Figura 6

Perfil 1 En la Quinta Experimental “la Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, sector Moraspamba, a 6 Km al sur de la ciudad de Loja, parroquia Sucre.

Descripción individual de los horizontes o capas Invernadero P:

Ap 00-20 cm Primer horizonte intervenido por el hombre de color en húmedo (5YR 4/2) gris rojizo oscuro: de textura franco arcillo limosa al tacto: fragmentos rocosos no visibles: estructura fuerte en bloques angulares medios: finos y gruesos: consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo plástico y firme: cantidad de poros: pocos, y diámetro muy fino: cantidad de raíces finas, medias y pocas: límite del horizonte neto y de topografía plana.

C 20- 40 cm Suelo de color en húmedo (2.5YR5/3), rojo débil; 10% manchas de color (5YR3/3), pardo rojizo oscuro, frecuentes, pequeñas y destacadas, textura al tacto franco; fragmentos rocosos no visibles; sin estructura; consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo plástico y

firme; cantidad de poros muchos, finos y medios; cantidad de raíces finas y muy pocas; límite del horizonte neto y de topografía plana.

2C 40-60cm Suelo de color en húmedo (2.5YR5/3), marrón rojizo; 75% manchas de color (7.5YR5/6), pardo fuerte, frecuentes, pequeñas y destacadas, textura al tacto franco arenoso; fragmentos rocosos no visibles; sin estructura; consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo ligeramente plástico y fiable; cantidad de poros; micro y muy finos; no se presentan raíces; límite del horizonte neto y de topografía plana.

3C 60-120cm Color en húmedo (5 YR 5/1) gris; 75% de manchas de color (5YR 4/4), gris pardusco, frecuentes, pequeñas y definidas; textura al tacto franco arcillo limoso al tacto; sin presencia de fragmentos rocosos; sin estructura; consistencia en mojado adherente, en húmedo plástico y firme; cantidad de poro: muchos y medianos; sin presencia de raíces; límite de horizonte: neto y de topografía plana; bajo contenido de materia orgánica.

Características Físicas.

Los valores de la Da (Tabla 9) para los horizontes Ap (00-20 cm) y C (20-40 cm) son de 1.4 y de 1.35 g cm⁻³, respectivamente, los cuales se encuentran dentro del rango promedio para una textura media.

Tabla 9

Propiedades físicas del suelo en el sistema agroforestal en la Quinta Experimental “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, sector Moraspamba, parroquia Sucre.

Horizonte	Prof. (cm)	Da (gcm ⁻³)	Textura	Condiciones Físicas del suelo (%θv)							Equivalencia			
				SS	CC	PPM	AA	CA	VS	VPM	AA	CA	Zona	Clase
Ap.	20	1.4	Franco	47.2	42.2	9.6	32.6	5	52.8	62.4	MA	B	II	P
C	20	1.35	Franco Limoso	54.4	48.8	12.7	36	5.6	45.6	58.3	MA	B	II	P

MA: muy alto, B: bajo, P: pobre

Elaborado: (Macas, 2021).

El contenido de agua (%θv) a saturación (SS) o porosidad total, es de 47.2 y 54.4 % en su orden. La capacidad de campo (CC) es de 42.2 y de 48.8 %, respectivamente, lo que indica que estas capas tienen una elevada cantidad de humedad después de haberse drenado el agua de los macro-poros (diámetro >30 μ). El punto de marchitez permanente (PMP) es de 9.6 y 12.7 %. El agua aprovechable (AA) (diámetro 2 a 30 μ) es de 32.6 y 36, respectivamente, equivalente a muy alta; la capacidad de aireación (CA) es de 5 % y 5.6 %, en su orden,

equivalente a bajo y muy bajo respectivamente, por lo que las condiciones físicas de este suelo en los dos horizontes físicamente se ubican en la zona pobre del diagrama triangular.

La baja capacidad de aireación de los suelos, así mismo las condiciones físicas de los horizontes calificadas como pobres, las cuales otorgan condiciones poco favorables para el desarrollo de las raíces de las plantas, reduciéndose el oxígeno lo que ocasiona asfixia radicular, lo cual guarda correspondencia con la elevada densidad aparente, producido por la compactación que ha sufrido el suelo por efecto del bajo contenido de materia orgánica y por el pisoteo efectos de la labranza con maquinaria.

Carvajal (2004), menciona que las propiedades físicas son responsables del buen desarrollo de las plantas, pero muy pocas veces se les tiene en cuenta, pues generalmente sólo se consideran las características químicas, por ende, la densidad aparente es una característica que nos da a conocer las condiciones en las cuales se encuentra el suelo con respecto a la compactación, la porosidad, la disponibilidad de agua y de oxígeno, etc. El suelo empieza a tener problemas por compactación cuando estos valores son superiores a 1.6 g cm^{-3} .

Según Duchaufour. (1965) manifiesta que conforme la densidad aparente aumenta en un suelo, la porosidad total disminuye viéndose afectada la disponibilidad de agua, oxígeno, la penetración de las raíces y otras características. La textura influye sobre la velocidad de infiltración del agua, la facilidad de preparación o laboreo del suelo, el drenaje.

Características Químicas.

La reacción del suelo ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) es de 4.5 para el horizonte Ap, valor que equivale a ácido (Tabla 9), la acidez intercambiable ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$, extraídos con KCl 1N) en el horizonte Ap es de $0.53 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ equivalente a bajo, el contenido de materia orgánica en la delgada capa orgánica es de 1.7 % considerada como bajo. La suma de bases ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{+++} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$), en el horizonte Ap es $4.09 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ equivalente a baja.

Tabla 10

Propiedades químicas del suelo en el sistema agroforestal en la Quinta Experimental “la Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, sector Moraspamba, parroquia Sucre.

Prof. (cm)	M.O %	cmolkg ⁻¹		pH	Cationes Cambiables cmolkg ⁻¹				SB%	CIC cmol kg ⁻¹	Saturación de bases %		
		Al ³⁺ +H ⁺	Al ³⁺		H ₂ O	K	Ca	Mg			Na	Ca	Mg
25	1.7	0.5	0.22	4.5	0.27	3.06	0.72	0.04	89	4.57	67	5.9	15.8

Elaborado: Macas (2021).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) obtenida de la suma de bases más la acidez intercambiable, para la capa orgánica es de 4.57 cmol (+) kg⁻¹ calificada como baja, según Carvajal (1997), los valores bajos de CIC, indican poca disponibilidad de los nutrientes.

Fertilidad Actual.

Según el resultado del análisis químico del suelo realizados en el laboratorio de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, se evidenció que los elementos que se encuentran en niveles bajos son: S, Mn, Zn, B y la M.O, mientras que los elementos que se encuentran en un rango alto son; P, Fe, y los elementos que se encuentran en el rango medio son; N, K, Cu y Mg (Anexo 3).

4.2 Evaluación de las propiedades químicas después del encalado

Los valores obtenidos del pH (0-120 días) fueron de 4.5 a 5.8 respectivamente (Tabla 10) ubicándose en un rango de muy ácido a medianamente ácido, y el contenido del Aluminio Intercambiable en 0.53 a 0.4 cmol kg⁻¹ (Tabla 11), considerando tóxico para las plantas, con la aplicación de 0.7 t ha⁻¹ de calcio (Anexo 18), se evaluará en un periodo de 120 días la evolución ante el encalado.

- **Reacción del pH.**

Tabla 11

Respuesta del pH al encalado del suelo con una sola dosis de 0.7 T ha⁻¹ de cal

Tratamiento	.pH.		
	0 días	60 días	120 días
Testigo	4.5 A	5.4 A	5.68 AB
Tratamiento 150 kg h ⁻¹	4.5 A	5.3 A	5.90 A
Tratamiento 200 kg h ⁻¹	4.4 A	5.3 A	5.61 B
Tratamiento 250 kg h ⁻¹	4.5 A	5.4 A	5.87 AB
Promedio	4.5	5.3	5.8

Los promedios del pH desde el inicio hasta los 120 días (Tabla 11), son de 4.5 a 5.8 considerados como muy ácido a medianamente ácido respectivamente (Tabla 4), con la incorporación de 0.7 t ha⁻¹ de cal, se observó un incremento de pH a partir de los 60 días del rango muy ácido a ácido (4.5 a 5.3); sin embargo, a partir de los 120 días se observa un incremento significativo en los tratamientos de muy ácido a medianamente ácido (Tabla 10), el pH para un desarrollo óptimo para el cultivo de café es de 5.0 a 6.5 (ácido a medianamente ácido), según Sadeghian (2016) cuando el valor es mayor a 5.5 se neutraliza el Aluminio intercambiable y deja de ser un problema para el crecimiento de los cafetales.

Suárez de C. y Rodríguez (2014), manifiestan que cantidades superiores a 2 t ha⁻¹ de cal afectan de manera negativa en el desarrollo de cafetales jóvenes, mientras que dosis hasta de 1 t ha⁻¹ es posible corregir la acidez y lograr un mayor crecimiento de las plantas.

Méndez *et al.*, (2016), elevó el pH de 4.4 a 4.8 con una aplicación de 2 t ha⁻¹ de cal agrícola; así mismo Zárate *et al.*, (2016) elevó el pH de 4.4 a 5.1 con 2 t ha⁻¹ de cal agrícola e incrementó la producción de 9.36 t ha⁻¹ referente al testigo de 5 t ha⁻¹ de café.

Cuando el pH es mayor de 5.5, se neutraliza el Aluminio intercambiable y deja de ser un problema para el crecimiento de los cafetales, un rango óptimo para el desarrollo del café es de 5.0 y 5.5 el contenido de (Sadeghian, S, 2016)

Sadeghian (2016), reporta que el cultivo del café tolera suelos ácidos, con pH de hasta 5.5; sin embargo, el nivel de asimilación de los nutrientes para la planta no es el óptimo. Al respecto, Riviera, 1980 citado por Swisscontactat, 2018, indica que un suelo con pH 5.5 (rango mínimo para el cultivo del café), el nivel de absorción de nutrientes es de 64.2%; en tanto que, a pH 7.0 el nivel de absorción es de 100%, por lo que recomienda trabajar con pH de 6.5, ya que en este margen el 93.8% de los nutrientes del suelo pueden ser absorbidos por las raíces.

Conforme el pH del suelo aumenta la disponibilidad de los nutrientes aumenta estando más disponibles para que las raíces de las plantas las puedan tomar.

- **Aluminio intercambiable**

Tabla 12

Respuesta del Aluminio intercambiable (Al^{+3} cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹), frente al encalado del suelo.

Tratamiento	Aluminio intercambiable		
	0 días	90 días	120 días
Testigo	0.51 A	0.48 A	0.44 A
Tratamiento 150 kg h ⁻¹	0.48 A	0.40 A	0.40 A
Tratamiento 200 kg h ⁻¹	0.51 A	0.48 A	0.45 A
Tratamiento 250 kg h ⁻¹	0.54 A	0.48 A	0.32 A
Promedio	0.53	0.46	0.4

Al comienzo de la investigación el promedio del Al³⁺, fue de 0.53 cmol(+) kg⁻¹ siendo muy alto para el cultivo de café, a los 120, disminuyo a 0.4 cmol(+) kg⁻¹, con la aplicación de 2 cmol (+) kg⁻¹ de Calcio, manteniéndose en el rango medio (Tabla 12), la aplicación de 0.7 t ha⁻¹ cal, disminuye significativamente en comparación a los valores, cuando el pH es mayor de 5.5, se neutraliza el Aluminio intercambiable y deja de ser un problema para el crecimiento de los cafetales, según Asqui (2018) disminuyó el contenido de Al³⁺ intercambiable de 1.6 a 0.5

cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ de suelo, con la aplicación de 6 t ha⁻¹, sin embargo Calva *et al.*, (2017), por el método de incubación probó diferentes tipos de enmiendas como carbonato de calcio, dolomita, óxido de calcio y carbonato de magnesio con dosis de 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 y 6.0 t ha⁻¹ en los suelos de Orellana, mostrando mejores resultados con la fuente de carbonato de calcio y cal dolomita con dosis de 1 y 1.5 t ha⁻¹, donde logró que el Al³⁺ disminuyera significativamente de 0.38 cmol(+) kg⁻¹ de suelo, a no detectado (ND) y Al³⁺ + H⁺ de 0.5 cmol (+) kg⁻¹ de suelo, no detectado (ND) en un lapso de 45 días, y Méndez *et al.*. (2016) disminuyó el Al³⁺ intercambiable desde 8.3 a 5.5 cmol (+)/kg de suelo con la aplicación de 2 t ha⁻¹.

4.3 Capacidad de intercambiable catiónica Efectivo, bases intercambiables, porcentaje de Saturación de Bases, relación de cationes y disponibilidad de Ca y Mg

Los resultados obtenidos de las bases intercambiables Ca²⁺ +Mg²⁺ +K⁺ + Na⁺ (3.06, 0.72, 0.27, 0.04 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹) al principio de la investigación se mantuvo en un rango medio, a los 60 días después de la aplicación de cal Dolomina más fertilización, las bases pasaron del rango medio a alto. A los 120 días después de la aplicación de las enmiendas el contenido de las bases incrementaron (4.35, 0.90, 0.31,4.17 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹), el porcentaje de saturación de bases se incrementó del rango alto a muy alto (88.86% a 97.58%), este incremento se debe a la aplicación de 1960 kg ha⁻¹ de cal Dolomina (CaCO₃MgCO₃) que generó carga eléctrica negativa, está aplicación de cal Dolomina aporta 35.7 kg de Ca y 59 kg de Mg, aumentando la disponibilidad del Ca de 3.06 a 4.35 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ el contenido de Mg de 0.72 a 0.90 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ (Tabla 13),

Tabla 13

Capacidad de intercambio catiónico, bases de cambio efectiva, Bases de intercambiables y el % de la saturación de las bases

Días	Bases intercambiables				capacidad de intercambio catiónico efectiva%						SB
	cmol (+)/kg				CIC		SB				%
	Ca	Mg	K	Na	CIC	SB	Ca	Mg	K	Na	
0	3.06	0.72	0.27	0.04	4.57	4.09	66.96	15.75	5.90	0.25	88.86
60	4.06	0.90	0.28	0.04	5.38	5.28	75.46	17.05	0.37	0.23	93.12
120	4.35	0.90	0.31	0.05	6.11	5.61	71.19	14.73	5.07	0.82	97.58

- **Relación de cationes**

Los resultados obtenido de la relación de cationes (Ca/Mg, Mg/K, (Ca+Mg)/K), no están en el rango adecuado para el cultivo de café, los rango óptimos para el cultivo son Ca/Mg

(2.6 – 8.0), Mg/K (7.5-15.0) y Ca+Mg/K (27.5-55.0) cmol/kg (Enriquez & Duicela, 2014) basándose en la (Tabla 13), la aplicación de 0.7 t ha⁻¹ de Cal, logró que la disponibilidad del Ca incrementó de 3.06 a 4.35 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ el contenido de Mg de 0.72 a 0.90 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹, la relación de Mg/K basándose en la tabla 13, se debe agregar Mg, para suplir este elemento se agregó Sulfato de Magnesio, en el anexo 8, indica el porcentaje de Mg que presenta estos compuestos químicos

Tabla 14
Relación de cationes antes y después de realizar las enmiendas

Enmienda				Relación de cationes			
SB (%)	Antes	Después	R. óptimo (%)	Antes	Agregar	Después	R. óptimo
Ca	67	75.85	(60-70)	Ca/Mg	4.25	4.2	2,6 -8
K	5.9	5.33	(15-25)	Mg/K	2.67	Mg	7,5-15
Mg	15.8	18.07	(5-10)	(Ca+Mg)/K	14	Ca y Mg	27,5-55

4.3.1 Variables Dasométricas

Los valores registrados en el desarrollo de las plantas de café hasta los 210 días después del establecimiento en el campo; altura y diámetro de la planta (Tabla 15), para las diferentes dosis de nitrógeno (0; 150; 200 y 250 kg ha⁻¹), donde se evidenció el incremento de la altura en el tratamiento cuatro en relación al testigo en un 128 % de igual manera en relación para el diámetro del tallo en un 120%, demostrando que la dosis de 250 kg ha⁻¹ de nitrógeno tiene mayor respuesta en la nutrición para el cultivo de café.

Tabla 15.

Resultados de la Altura y Diámetro de la planta en cm, frente a la aplicación de las diferentes dosis de aplicación de Nitrógeno (0; 150; 200 y 250 kg ha⁻¹)

Días	Tra_1	Trat_2	Tra_3	Trat_4	Tra_1	Trat_2	Tra_3	Trat_4
	Altura de las plantas				Diámetro de la planta			
0	34.15 A	32.65 A	30.73 A	33.45 A	0.58 A	0.58 A	0.5 A	0.5 A
30	34.5 A	33.83 A	32.48 A	35.3 A	0.58 A	0.63 A	0.55 A	0.63 A
60	35.3 A	35.5 A	34.65 A	37.6 A	0.6 A	0.7 A	0.65 A	0.7 A
90	36.13 A	37.23 A	36.55 A	39.83 A	0.6 A	0.7 A	0.65 A	0.7 A
120	37.23 A	38.9 A	38.93 A	42.78 A	0.6 A	0.73 A	0.65 A	0.78 A
150	38.45 B	40.33 AB	40.83 AB	44.63 A	0.6 B	0.73 AB	0.65 AB	0.78 A
180	39.75 B	41.93 AB	42.38 AB	46.83 A	0.73 A	0.75 A	0.75 A	0.75 A
210	41.18 B	43.75 AB	44.55 AB	49.48 A	0.73 A	0.75 A	0.75 A	0.83 A
Incremento	7.0	11.1	13.8	16.0	0.15	0.17	0.25	0.33
Df vs Tr4	9.0	4.9	2.2	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0
% Tr1_Tr4	128.0	44.4	16.0	0.0	120.0	94.1	32.0	0.0

- **Altura de planta**

Los resultados obtenidos dentro del parámetro de altura, para los diferentes tratamientos en las fechas de evaluación 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180 y 210 días después del trasplante de las plantas, mostrando diferencias significativas ($p > 0.05$) a partir de los 150 días después del trasplante, al final de los 210 días se encontró diferencias significativas entre los tratamientos con 250 kg ha⁻¹ de N y el testigo.

El incremento de la altura (Tabla 15) de las plantas de café con el tratamiento de 250 kg ha⁻¹, fue de 9 cm en comparación del testigo equivalente a un incremento del 128%. El nitrógeno es el elemento de mayor importancia en el desarrollo de la planta y el fruto, dándole una condición de vigor y "frescura" a los cafetos; es el componente principal de las proteínas, aminoácidos, amidas, alcaloides y coenzimas, forma parte además de la clorofila y citocromos, así mismo es el elemento que más rápidamente da una mayor y más constante respuesta en la producción de café, a la vez que el nitrógeno es requerido por la planta en una alta cantidad por

lo que es necesario devolverlo al suelo por medio del fertilizante; de una manera oportuna y considerable, para lograr un buen desarrollo y producción (Lemu, 2006).

La respuesta del nitrógeno depende de la edad de la plantación: después del establecimiento del café en campo, para el primer año la dosis de 90 kg ha^{-1} de N, garantizó un adecuado crecimiento en la planta del 30.29% respecto al testigo, a partir del segundo año se incrementaron los requerimientos de N hasta 135 kg ha^{-1} de N. (Pérez, et. al, 2005).

Según Sadeghian S. (2010) la fertilización de los cafetales debe iniciarse a partir de los primeros meses del establecimiento del cultivo, para lograr un rendimiento óptimo de café en grano. En cuanto al nitrógeno, Hernández et. al (2016) determinaron el efecto de la aplicación del nitrógeno en la época de desarrollo vegetativo con miras a la producción, demostrando que cuando el suministro de nitrógeno se inició a los 6 meses después de la siembra el promedio de la producción en la primera cosecha se redujo en 2% con respecto al tratamiento en el que se inició la aplicación de nitrógeno a los 2 meses después de la siembra, sin embargo, a medida que esta labor se atrasó en más de seis meses, la producción de café disminuyó, hasta valores de 40% en el tratamiento sin fertilización (Testigo)

González et. al, (2012), durante la etapa de crecimiento vegetativo sugiere aplicar entre 50 y 60 g de N por planta (250 y 600 kg ha^{-1}), según la densidad de siembra (entre 5.000 y 10.000 plantas ha^{-1}), logrando obtener un crecimiento del 40% en referencia al testigo para el primer año.

Según Carvajal (2004), la aplicación de 300 kg ha^{-1} por año de nitrógeno, en Costa Rica fue beneficioso, logrando obtener un incremento en el rendimiento de café del 39%, frente al testigo sin nitrógeno.

- **Diámetro del tallo**

Los resultados obtenidos del diámetro del tallo de la planta de café (Tabla 15) tomados a una altura de 3 cm en relación al suelo, no se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para el factor fertilización, el coeficiente de variación de inicio fue de 10.05 % a 8.88.

La evolución del diámetro del tallo en relación a los 0 días después del trasplante y fertilización hasta los 210 días de estudio, se obtuvo un incremento de 0.2 cm con la dosis de $250 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ de Nitrógeno, así mismo las dosis de 150 y $200 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ de Nitrógeno con un incremento entre 0.17 y 0.25 cm respectivamente, al contrario la respuesta de la dosis de $0 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ de Nitrógeno referente al testigo solo tuvo un ligero incremento de 0.15 cm, este efecto se debe a la aplicación de diferentes dosis de Nitrógeno que se le aplicó al café como se muestra en la Tabla 15.

Según (Amores, 2004), en cafetos de tres años de edad se ha reportado necesidades nutritivas de 125 kg de N, 13 kg de P y 126 kg de K por hectárea; dichos valores configuran la relación 10:1:10 y confirman la elevada demanda de N y K por el cultivo. Respecto al N, es un elemento que forma parte de las proteínas, clorofila, alcaloides y otros compuestos. Tiene gran movilidad dentro de la planta siendo absorbido como ion nitrato (NO_3^-) e ion amonio (NH_4^+). Por su disponibilidad en el suelo la planta puede sufrir diversos síntomas, según el grado de deficiencia, lo cual afecta negativamente a las siguientes características: tasa fotosintética, crecimiento, área foliar, número de nudos productivos, expansión del fruto y finalmente rendimiento. La falta de N se acentúa durante la fase de crecimiento de los frutos y en los períodos de sequía.

Las deficiencias de este elemento se manifiestan como una clorosis (amarillamiento) uniforme en la lámina foliar, del ápice y vena central hacia los bordes en hojas adultas, deficiencia severa también se presenta en hojas jóvenes. El hecho de que los síntomas de deficiencia de Nitrógeno aparezcan primero en las partes viejas de las plantas y no precisamente en los sitios de crecimiento, alrededor de las yemas terminales se debe a la movilidad y nueva utilización del Nitrógeno, que se trasloca de los tejidos más viejos a las regiones de desarrollo más jóvenes (Lemu, 2006).

5 Conclusiones

- Las características físicas del suelo de la Quinta Estación Experimental de La Argelia, presenta en el horizonte Ap (00-20cm), una textura Franco, con densidad aparente de 1.4 g cm^{-3} , la capacidad de retención de humedad del suelo es: capacidad de campo de 42.2%; punto de marchitez permanente de 9.6 %; capacidad de aireación de 5%, y el agua aprovechable de 32.6 %, que según el diagrama triangular se encuentra en la zona II, correspondiente a una categoría pobre, debido a la muy baja CA, que presenta el suelo.
- Las condiciones químicas del suelo presentan un pH ácido (4.5), un contenido de $\text{Al}^{+3}+\text{H}$, de $0.5 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$, considerados tóxicos para el cultivo de café.
- Los niveles del nitrógeno, y fósforo son muy bajos según el análisis químico realizado, considerados como un factor limitante para el desarrollo del cultivo de café en la fase de desarrollo vegetativo.
- El suelo sin las enmiendas necesarias (control del pH, aumento de fertilizantes y monitoreo del riego), no se darán resultados positivos en el cultivo de café.
- Con la aplicación de cal dolomina incrementó el $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ desde ácido (4,5) a ligeramente ácido (5,8) en la capa de 00 - 25 cm a los 120 días.
- La aplicación de cal dolomita disminuyó el Aluminio intercambiable (Al^{3+}) de 0,52 a 0,40 $\text{cmol}^{(+)} / \text{kg}$, manteniéndose en el rango medio, en la capa 00 - 25 cm, a los 120 días.
- La aplicación de cal, elevó la CIC en el suelo de la capa de 00 – 25 cm, a los 120 días, pasando desde 4.57 a 10.23 $\text{cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$.
- La aplicación de cal incrementó las concentraciones de las bases intercambiables Ca^{++} K^{+} y Mg^{++} en la capa 00 – 25 cm, a los 120 días de (3.06-4.35 $\text{cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$), (0.27-0.31 $\text{cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$) y (0.72-0.90 $\text{cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$), respectivamente.
- El tratamiento de 250 kg ha^{-1} de nitrógeno, logró un incremento de altura del 128% en comparación a testigo, en relación a los resultados obtenidos por González et. al, (2012), durante la etapa de crecimiento vegetativo donde sugiere aplicar entre 50 y 60 g de N por planta (250 y 600 kg ha^{-1} según la densidad de siembra 5 000 y 10 000 plantas ha^{-1}), logrando obtener un crecimiento del 40% en referencia al testigo para el primer año.
- Las características dasométricas; altura de planta y diámetro del tallo mejoraron con el tratamiento 4 (250 kg ha^{-1} de nitrógeno), mostrando diferencias significativas a

partir de los 150 días, en relación al testigo y a los 210 días de estudio se observó que el incremento de la altura de la planta fue de 9 cm en relación del testigo.

6 Recomendaciones

- Mantener un riego complementario en los meses de verano (mayo-septiembre), que son los meses que presenta una precipitación baja, para evitar la muerte de las plantas por estrés hídrico.
- Mantener un buen drenaje en los meses de mayor precipitación, para así evitar el encharcamiento del agua, evitando la asfixia de la planta por el exceso de agua, y la proliferación de enfermedades.
- Cambiar de método de sombra en lugar de plantas de alisos (*Alnus glutinosa*), utilizar plantas de rápido crecimiento, y de abundancia de cobertura foliar para facilitar sombra al café, a fin de evitar la muerte de las plantas de café producidas por la radiación solar que se da más en la época de verano.
- Para un cultivo de café en etapa de establecimiento en campo (desarrollo vegetativo), se recomienda dosis de 200 hasta 250 kg ha⁻¹, dosis que mostraron mayor adaptabilidad durante el experimento.

7 Bibliografía

- Abarca, J., & Armendáriz, D. (2014). *Estudio de la cadena productiva de café de altura en la Parroquia La Carolina, Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura de Economía*. Universidad Central del Ecuador,, Tesis de Economía. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/3057>
- Alvarez, R., & Alvarez, C. (2006). *Materia Organica: valor agronómico en suelos pampeanos*. Obtenido de [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/0FC500FDFAD0D85A8525799C0058CD95/\\$FILE/Art%C3%ADculo%20Materia%20org%C3%A1nica%20AND%20Figuras%20art%C3%ADculo%20Materia%20org%C3%A1nica.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/0FC500FDFAD0D85A8525799C0058CD95/$FILE/Art%C3%ADculo%20Materia%20org%C3%A1nica%20AND%20Figuras%20art%C3%ADculo%20Materia%20org%C3%A1nica.pdf)
- Alvaro, G. (2019). El potasio y su importancia en el crecimiento vegetal. *FERTIBOX*. Obtenido de [https://www.fertibox.net/single-post/potasio-agricultura#:~:text=Algunas%20de%20las%20principales%20funciones,de%20adeno sina%20trifosfato%20\(ATP\).](https://www.fertibox.net/single-post/potasio-agricultura#:~:text=Algunas%20de%20las%20principales%20funciones,de%20adeno sina%20trifosfato%20(ATP).)
- Andrade, V. (2019). Top 20 principales productores de café en el mundo. *Ekos*. Obtenido de <https://www.ekosnegocios.com/articulo/top-20-principales-productores-de-cafe-en-el-mundo>
- Arcila, J. (2016). *Crecimiento y desarrollo de la planta de café*. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo2.pdf>
- Arcila, J. (2007). *Factores que determinan la productividad del cafetal*. Obtenido de <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/720/4/3.%20Factores%20que%20determinan%20productividad%20cafetal.pdf>
- Arcilla, P., Farfán , V., Moreno, B., Salazar , G., & Hincapié, G. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*. Cenicafe.
- Aristizabal, G. (1999). *Fisiología Nutrición y Fertilización del Cafeto*. Colombia.
- Asqui, C. (2018). *Efecto de encalado en la producción de papa (Solanum tuberosum L.) VAR. IMILLA negra en un suelo ácido del Cip. CAMACANI - PUNO* . Universidad Nacional del Antiplano, INGENIERO AGRÓNOMO. Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/Desktop/Asqui_Saraza_Christiam_Rudy.pdf
- BANCO CENTRAL DEL ECUADOR. (2020). *Reporte de Coyuntura Sector Agropecuario*. Sector Agropecuarion .
- Baridón, E. (2019). *MORFOLOGÍA DEL SUELO*.
- Barros, J. (2017). Deficiencias Nutricionales En El Tomate. *Seminis*.

- Barva , H. (2011). Guía Técnica para el Cultivo de Café. Obtenido de <http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>
- Bastida, O. (2017). Importancia del nitrógeno (N) en las plantas cultivadas. *Agricultura*. Obtenido de <https://blogagricultura.com/nutricion-vegetal-nitrogeno/>
- Bedri. (s.f). *El cafeto o planta del café*. Obtenido de https://www.bedri.es/Comer_y_beber/Cafe/El_cafeto.htm
- Benimeli, M., & Corbella, R. (2019). *El Nitrógeno del Suelo*. Obtenido de <file:///C:/Users/USUARIO/Desktop/El%20nitrogeno%20del%20suelo%202019.pdf>
- Bloodnick, E. (2020). La función del manganeso en el cultivo de plantas. *PROMIX*.
- Cafe Siboney. (s/f). *Especies: Árábica vs Robusta*. Recuperado el 20 de octubre de 2019, de <http://www.cafesiboney.com/loesencial/arabicavsrobusta/>
- Calderón, F., & Cevallos , F. (2001). *Los sustratos*. Obtenido de http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm
- Calva, C., & Espinosa, J. (2017). *Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana*. Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/246/2461285010/html/index.html>
- Calvache, M. (2009). *Curso de física de suelos*. Quito.
- Candelas. (s.f). *La historia del café*. Obtenido de <https://www.cafescandelas.com/el-cafe/historia-del-cafe>
- Cañar, M. (2014). *Análisis de los factores que inciden en la producción de café en el Ecuador*
- Carvajal, J. (2004). *Cafeto; cultivo y fertilización*. Instituto Internacional de la Potasa Bema/Suiza. Obtenido de <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/65-carvajal-cafeto-cultivo-y-fertilizacion.pdf>
- Celeriano , A. (2009). *Paquete Tecnológico del Cultivo del Café Orgánico en el Estado de Colima*.
- CENICAFE. (2010). *Programa de Investigación Científica*. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0359.pdf>
- Cenicafe. (2016). *La acidez, una limitante común para la producción de café*.
- Chen, L. (2021). La función del magnesio en el cultivo de plantas. *Promix*. Obtenido de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-magnesio-en-el-cultivo-de-plantas/>
- CLIMATE-DATE.ORG. (s,f). *Loja Clima*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-loja/loja-4233/>

- COFENAC. (2011). El Sector Cafetalero Ecuatoriano. *Consejo Nacional Cafetarelo*.
- COFENAC. (2016). El sector cafetalero Ecuatoriano. *Consejo Cafetalero Nacional*, 12-20. Obtenido de <http://www.cofenac.org/wp-content/uploads/2010/09/Diagnostico-2012.pdf>
- COFENAC. (2016). *Producción de Café Arábigo. Guía para el caficultivador ecuatoriano*.
- De La Rosa, D. (2008). *Evaluación agro -ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible*.
- Donahue, R., Miller, R., & Shickluna, J. (1981). *Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas*. México .
- Duicela, L., Coral, R., Farfán, D., Cedeño, L., & Palma, R. (2002). *Caracterización Edafológica de las Zonas de Producción de Café Arábigo en el Ecuador*.
- Duicela, L; Corral, R. (2004). Caficultura orgánica: Alternativa de desarrollo sostenible. *Consejo Cafetalero Nacional*.
- Eleida. (2021). Taxonomía y morfología del Café: Partes y Características. *CafeMalist*. Obtenido de <https://cafemalist.com/morfologia-del-cafe/>
- ElProductor. (7 de Septiembre de 2015). Obtenido de El Productor: [https://elproductor.com/ecuador-16-mil-familias-se-dedican-al-cultivo-del-cafe-en-loja/#:~:text=El%20caf%C3%A9%2C%20en%20la%20provincia,16%20cantones%20\(excepto%20Saraguro\)](https://elproductor.com/ecuador-16-mil-familias-se-dedican-al-cultivo-del-cafe-en-loja/#:~:text=El%20caf%C3%A9%2C%20en%20la%20provincia,16%20cantones%20(excepto%20Saraguro)).
- Enriquez, G., & Duicela, L. (2014). *Guía técnica para la producción y poscosecha del café Arábigo*.
- Enriquez, C., & Duicela, L. (2014). *Guía técnica para la producción y poscosecha del café arábigo*. Portoviejo.
- ESAG. (2017). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2017*. UNIDAD DE ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS.
- Espinoza, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. IPNI. Obtenido de <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez%20y%20encalado%20de%20suelos,%20libro%20por%20J%20Espinoza%20y%20E%20Molina.pdf>
- Espinoza, W. (2017). *Análisis sectorial del café y elaborados y su importancia en las exportaciones ecuatorianas, periodo 2012-2016*. Universidad de Guayaquil, Facultad de ciencias Económicas, Guayaquil.
- FAO. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s00.htm#Contents>

- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (2012). *Estadísticas de producción de café en el Ecuador*.
- FAO. (s.f). *Textura del Suelo*.
- Fernández, Y. (2018). *Caracterización de la vegetación y el microclima en sistemas agroforestales café (Coffea arabica L.) EN TRES PISOSALTITUDINALES DEL CANTÓN PUYANGO EN LA PROVINCIA DE LOJA*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, Tesis de Grado previa a la obtención del Título de Ingeniera Agrónomo. .
- Figuroa, E. H., Pérez, F. S., & Godínéz, L. M. (2014). *La producción y el consumo del café*.
- Florez, C., Ibarra, L., Gómez, L., Carmona, C., Castaños , A., & Ortiz , A. (2013). *Estructura y funcionamiento de la planta de café*. CENICAFE.
- FNCC. (2010). *Sistemas de producción de café en Colombia*. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA.
- Forumcafe. (2019). El café en el Ecuador. *Forumcafe*. Obtenido de <https://www.revistaforumcafe.com/el-cafe-en-ecuador>
- Galindo, X. (2011). *Producción e Industrialización de Café Soluble*. Tesis de grado, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Economicas, Guayaquil. Obtenido de <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/Galindo-Veliz-Xiomara-Raiza.pdf>
- Gómez, E. (2015). *Cultivo de Café*. Obtenido de http://noheliaq5.blogspot.com/2015_10_01_archive.html
- Gonzalez, H., & Sadeghian, S. (2012). Volatilización del nitrógeno a partir de diferentes fuentes fertilizantes en la etapa de crecimiento vegetativo del café. *Cenicafé*. Obtenido de https://mail-attachment.googleusercontent.com/attachment/u/0/?ui=2&ik=f67b55cc96&attid=0.2&permmsgid=msg-f:1684938518198903323&th=17621aa7b59e621b&view=att&disp=inline&sadbat=ANGjdJ_3QDKvbuDSNo_c8GuSY5e0XSf4lst9kgGvEztEIrq4GGWfioogmDfV27l3qHggDtn32ghblrd
- Guerrero, M. (2017). *Rendimientos de café grano seco en el Ecuador 2017*. Obtenido de <https://fliphtml5.com/ijia/mzvg/basic#:~:text=RENDIMIENTOS%20DE%20CAF%203%89%20GRANO%20SECO,ECUADOR%202017%20Monteros%20Guerrero%20A.&text=Los%20principales%20resultados%20obtenidos%20indican,rendimiento%20de%200.23%20t%20Fha>

- Henríquez, C., Bertsch, F., & Salas, R. (1998). *La fertilidad de suelos* .
- Hernandez, G., & Suárez, V. (2016). *RespuRespuesta del café a la fertilización con nitrógeno y potasio en la etapa de crecimiento vegetativo*.
- ICAFFE. (2011). *Guía Técnica para el Cultivo del Café*.
- ICO. (2011). Informe sobre el mercado del cafe. *Organizacion Internacional del Cafe*. Recuperado el 4 de agosto de 2019, de www.ico.org
- ICO. (2012). Aspectos Botánicos del Café. *Organización Internacional del Café*. Obtenido de <http://www.ico.org>
- INAMHI. (2019). Red de estaciones automaticas Hidrometricas. *Instituto Nacional de Metereología E Hidrología* . Obtenido de <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>
- InfoAgro. (s.f). El cultivo de café. *Infoagro.com*. Obtenido de <https://infoagro.com/herbaceos/industriales/cafe.htm>
- Infocafe. (2015). Principales productores de café del mundo. *Infocafe*;. Obtenido de <https://www.infocafe.es/cafe/principales-productores-cafe.php>
- INIAP. (2012). *Clima, suelos, nutrición y fertilización de cultivos en el litoral ecuatoriano*. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1631/1/Manual%20T%C3%A9cnico%20No.%2026.pdf>
- INIGMM. (2017). *Hoja Geológica de Loja*. Instituto Nacional De Investigacion Geologico Minero Metalúrgico.
- Intagri, S. C. (s.f). *Guía de Fertilizantes Nitrogenados para Cultivos*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/guia-de-fertilizantes-nitrogenados-para-cultivos>
- Iñiguez, M. (2007). *Fertilidad, Fertilizantes y fertilizacion del suelo*. Loja.
- Iñón , N. ((s.f)). *Ciclo del nitrógeno*. Obtenido de <http://www.iib.unsam.edu.ar/archivos/docencia/licenciatura/biotecnologia/2017/QuimicaBiol/1495120476.pdf>
- Jiménez, A., & Massa, P. (2016). *Producción de café y variables climáticas: El caso de Espíndola, Ecuador*. Universidad de los Andes Venezuela, Economía. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1956/195648804006.pdf>
- Khalajabadi , S. (2017). Síntomas visuales de deficiencias nutricionales en café. *Cenicafé*. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0478.pdf>
- Khalajabadi,S, & Gonzalez,O. (2012). Alternativas generales de fertilizacion para cafetales em la etapa de produccion. *CENICAFE*. Obtenido de chrome-

- extension://ohfgljdgelakfkefopgkclcohadegdpjf/https://www.cenicafe.org/es/publicaciones/avt04241.pdf
- Lema , V. (2019). *Informe de rendimientos objetivos de café (grano oro) 2019*. Ministerio de Agricultura y Ganadería .
- Lemu, E. (2006). *Evaluación de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivo de café, durante dos años en dos localidades de la parte alta del municipio de Quezaltepeque*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de http://cunori.edu.gt/descargas/EVALUACION_DE_NIVELES_DE_NITROGENO_FOSFORO_Y_POTASIO_SOBRE_EL_RENDIMIENTO_DEL_CULTIVO_DE_CAFÉ_DURANTE_DOS_AÑOS.pdf
- Lopez, M. (2013). *Estudio de factibilidad para la importación de maquinaria y equipos especializados para la producción y procesamiento de café en la Provincia de Loja*. Universidad Internacional del Ecuador, Tesis de Ingeniera en negocios Internacionales.
- Luzón, S. (2016). *Respuesta de la Quinoa variedad Tunkahuan a la fertilización nitrogenada en las condiciones edafoclimáticas de La Argelia*. Universidad Nacional de Loja, Área de Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables.
- Macas , L., & Mora , L. (2006). *Caracterización geológica estructural de la formación San Cayetano de la hoya de Loja*. Universidad Técnica Particular de Loja. Obtenido de <file:///M:/Desktop/Tesis%20Kevin%20Macas/1008068.pdf>
- MAG. (2018). Loja un destino cafetalero por excelencia. En Ministerio de Agricultura y Ganadería. Obtenido de <https://www.turismo.gob.ec/loja-un-destino-cafetalero-por-excelencia/>
- MAG. (2018). *Superficie de Principales de cultivos a Nivel Provincial*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Obtenido de <http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/mapas-interactivos/2-uncategorised/37-mapa-cultivos>
- MAGAP. (2014). Producción ecuatoriana de café. *Ministerio de Agricultura, Acuicultura, Ganadería y Pesca*.
- Marcos, A. (2019). *Cultivo de café: Cómo mejorar la calidad del suelo*. Obtenido de <https://perfectdailygrind.com/es/2019/10/22/cultivo-de-cafe-como-mejorar-la-calidad-del-suelo/>
- Marín, C. (2012). *Producción de cafés especiales*. Lima. Obtenido de http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/01/manual-café_selva_VF.pdf

- Mendez, P., & Melvin, J. (2016). *Estudio comparativo de la aplicación de dos enmiendas calcáreas sobre un suelo ácido y el desarrollo vegetativo de cafetales co poda de rehabilitación (Coffea arabica L.)*. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1903>
- Mendez, P., & Melvin, J. (2016). *Estudio comparativo de la aplicación de dos enmiendas calcáreas sobre un suelo ácido y el desarrollo vegetativo de cafetales con poda de rehabilitación (Coffea arabica L.) Caturra Roja*. Universidad Nacional del Centro del Peru, INGENIERO EN CIENCIAS AGRARIAS, Sapito.
- Monroig, M. (s.f). *Morfología del cafeto*. Obtenido de https://academic.uprm.edu/mmonroig/HTMLobj-1858/Morfologia_cafeto2.pdf
- Montero, D. (2017). *Manual de buenas practicas de manejo en la fertilizacion nitrogenada del cafe*.
- Navarro, G., & Navarro, S. (2013). *Quimica Agricola*. España: Mundi-Prensa.
- Navarro, S. (2003). *El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Madrid.
- Ortíz, A. (2017). *Varialidad espacial de las constantes hidrofisicas del suelo en el sistema de riego "Campana Malacatos"*.
- Oszust, J., Wilson , M., & Sasal, M. (2010). *Obtención del punto de marchitez permanente para el cálculo de agua útil para trigo y soja en suelos molisol y vertisol*. Obtenido de <http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-obtencin-punto-de-marchitez-permanentepara-clcu.pdf>.
- Páez, H. S. (2013). *Análisis del mercado español para la exportación de café ecuatoriano de especialidad producido en Cariamanga con certificaciones orgánicas y de comercio justo*. Trabajo de Titulación, Universidad De Las Americas.
- Palma, M. (1989). *Respuesta del café Coffea arabica a diferentes niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en dos localidades de Honduras*. Honduras.
- Perdomo, C., & Barbazán, M. (s.f). *Nitrógeno*. ÀREA DE SUELOS Y AGUAS CÀTEDRA DE FERTILIDAD, Uruguay.
- Perez, A., Bustamante , C., Rodríguez , P., & Viñales , R. (2005). *Influencia de la fertilización nitrogenada sobre lamicroflora edáfica y algunos indicadores del crecimiento y el rendimiento de Coffea canephora Pierre cultivado en sielo pardo ócrico sin carbonatos*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215934013>
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Loja. (s.f.). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Loja*.

- Ponce, L. (2012). *El Café: Clima y Suelo para el Café*. Recuperado el 30 de Junio de 2019, de <http://cafecooludec.blogspot.com/2012/10/clima-y-suelo-para-el-cafe-html>
- Pozo, M. (2014). *Análisis de los factores que inciden en la producción de café en el Ecuador 2000 – 2011*. Facultad de Economía, Universidad Católica del Ecuador.
- PROEcuador. (2014). *Producción del Café en el Ecuador*. PRODUCCION EN EL ECUADOR. Obtenido de <https://www.proecuador.gob.ec/guia-del-inversionista-2/>
- Pulgarín, J. (s,f). *Crecimiento y desarrollo de la planta de café*. Colombia.
- Ramírez, C. (1997). *Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas de los Suelos*. Bogotá.
- Redondo, D. (2021). *Las Propiedades Hídricas del Suelo*. Laboratorio: Agricultura y Alimentación. Obtenido de <https://csrlaboratorio.es/laboratorio/aguas/aguas-de-riego/riego-ii-las-propiedades-hidricas-del-suelo/>
- Riaño, H., Arcila, R., & Chaves, C. (2004). *Acumulación de materia seca y extracción de nutrientes por Coffea arabica L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera centra*.
- Rivera, R. (2006). *Nutrición y fertilización del coffeea arábica en Cuba*.
- Rodríguez, R. (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*.
- Romero, J., & Camilo, J. (2019). *Manual de producción sostenible de café*. Santo Domingo, Republica Dominicana. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8726/BVE20037756e.pdf?sequence=1>
- Rosales, L. (2017). Los nutrientes que requiere el cultivo de café. *Agronegocios*. Obtenido de <https://www.agronegocios.co/aprenda/los-nutrientes-que-requiere-el-cultivo-de-cafe-2622652>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Uruguay.
- Sadeghian, K. (2016). *La acidez del suelo una limitante común para la producción de café*. Cenicafé.
- Sadeghian, K. S. (2011). *Respuesta de Cafetales al Sol y Bajo Semisombra a Nitrógeno y su Relación con la Materia Orgánica del Suelo*. Centro Nacional de Investigaciones de Café.
- Sadeghian, K., & Gaona, H. (2005). *Mezcla de fertilizantes en la finca, una buena opción para el caficultor*. CENICAFE, Avances Técnicos Cenicafé.

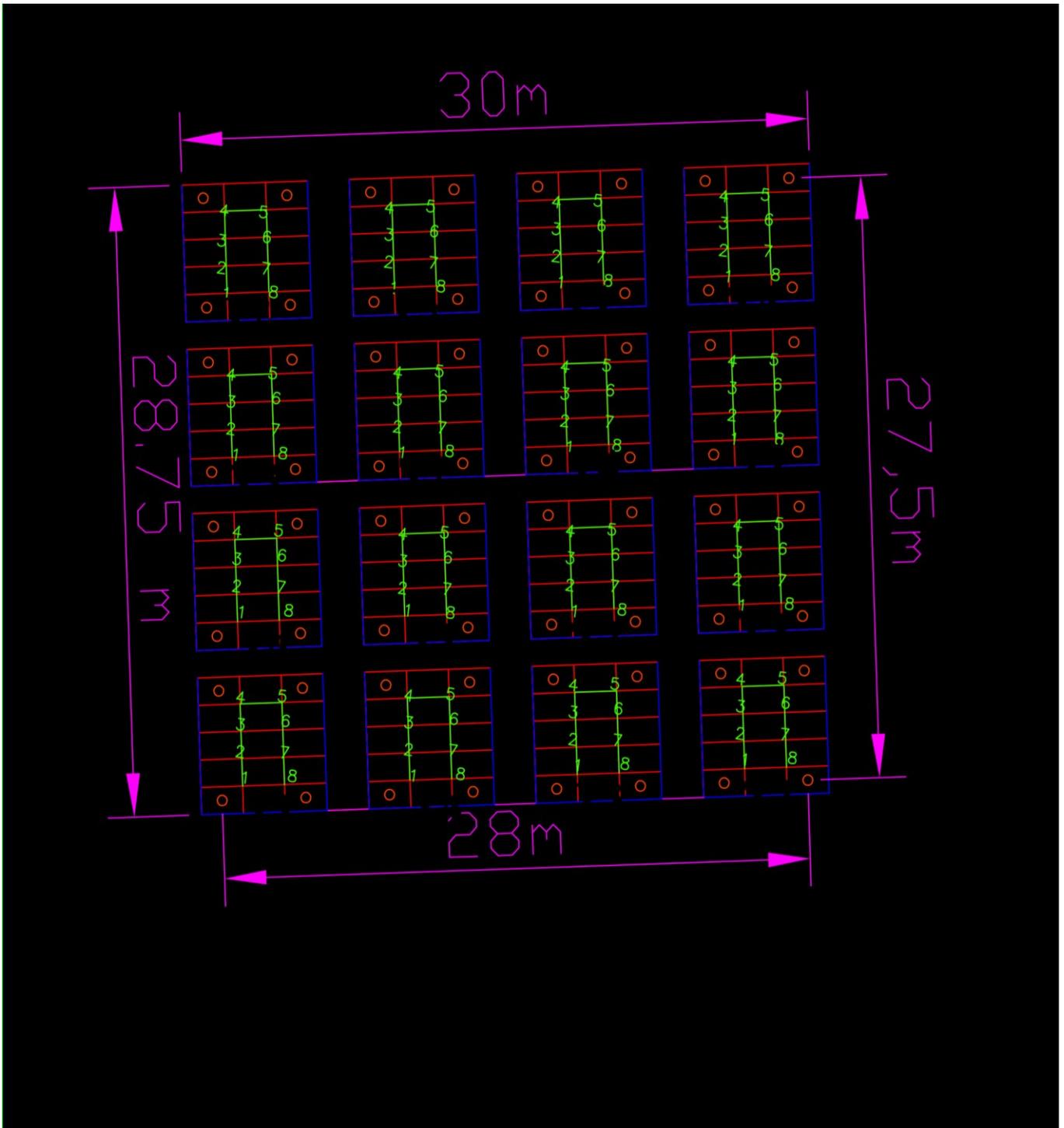
- Sadeghian, K; Gonzalez, H. (2012). Alternativas generales de fertilizacion para cafetales en la etapa de levante. *Cenicafe*. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt04233.pdf>
- Sadeghian, S. (2003). Determinación de los niveles críticos de los nutrientes para el cultivo del café en suelos de la zona cafetalera. *Cenicafé*.
- Sadeghian, S. (2008). Fertilizacion del suelo y nutricion del cafe en Colombia. *Cenicafe*. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot032.pdf>
- Sadeghian, S. (2016). La acidez en el suelo una limitante común para la producción de café. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/AVT0466.pdf>
- Sadeghian, S. (2010). Fertilizacion: una práctica que determina la producción de los cafetales. *Cenicafe*. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0391.pdf>
- Salazar, A. (1997). *Respuesta de plántulas de café a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio*. Cenicafé.
- Shaxson, F. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal*. FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s02.htm>
- Siavosh, K. (2011). *Calibración de análisis de suelo en cafetales al sol y bajo semisombra*.
- Sisalima, S. (2016). *Ruta del café y desarrollo agroturístico en el Cantón Puyango-Provincia de Loja*. Universidad de Cuenca , Tesis de Ingeniera en Turismo.
- Sotomayor, I. (1993). *Manual del Cultivo de Café*. INIAP. Obtenido de <https://docplayer.es/73328808-Iniap-manual-del-cultivo-del-cafe-iniap-estacion-experimental-pichilingue-quevedo-ecuador-1993.html>
- Stevenson, F. (1982). *Organic forms of soil nitrogen*.
- Suarez, D., & Rodriguez, G. (2004). Aplicación de la cal en cafetos jóvenes. *Cafetera de Colombia*.
- Thompson, L., & Troeh, F. (2004). *Los suelos y su fertilidad*. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=AegjDhEIVAQC&pg=PA301&dq=el+nitrogeno+en+las+plantas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiZ9vfhv4zkAhUPx1kKHcoCBKgQ6AEIMDAB#v=onepage&q=el%20nitrogeno%20en%20las%20plantas&f=false>
- Toledo, M. (2016). *MANEJO DE SUELOS ÁCIDOS DE LAS ZONAS ALTAS DE HONDURAS*. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf?sequence=1>
- Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo , L., & Guaya, P. (1998). *Condiciones físicas de los suelos de la Región Sur del Ecuador* . Loja.

- Valencia, G. (s.f). *Nutrición mineral del cafeto*. Guatemala. Obtenido de <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/717/6/6%20Nutrici%C3%B3n%20mineral%20cafeto.pdf>
- Valencia, G. (1989). *Interpretación de análisis de suelos para café*. Colombia.
- Vanegas, F. (2016). *El Suelo Óptimo para el cultivo de café*. Obtenido de <https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2016/08/31/el-suelo-optimo-para-el-cultivo-de-cafe/>
- Venegas, S., Orellana, D., & Pérez , P. (2017). La realidad Ecuatoriana en la producción de café. (S. d. Conocimiento, Ed.) *Recimundo*, 2(2), 72-91.
- Yara. (s.f). Requerimientos de suelo y agua en café. Obtenido de <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/cafe/suelo-y-agua-para-cafe/>

8 Anexos.

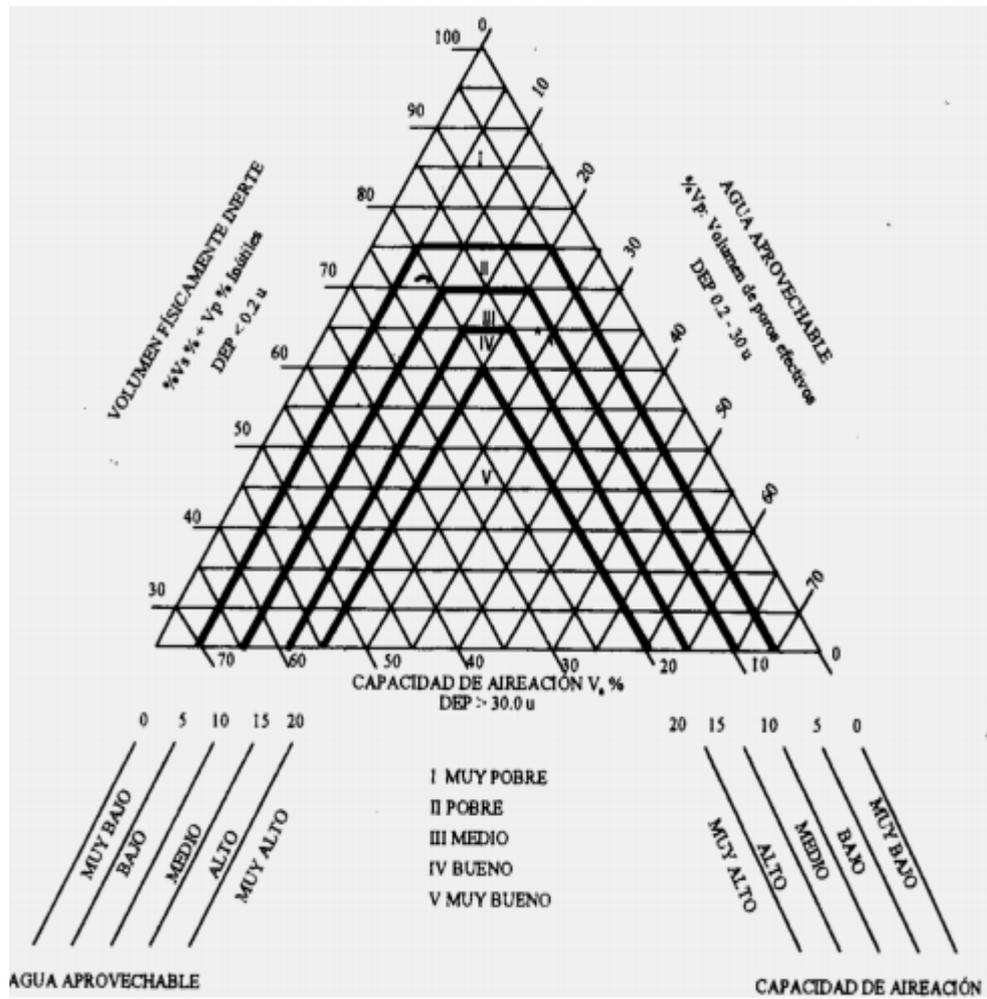
Anexo 1.

Distribución de los tratamientos en la Quinta Experimental La Argelia perteneciente a la Universidad Nacional de Loja



Anexo 2.

Diagrama triangular para evaluar las condiciones físicas del suelo.



Anexo 3.

Resultados del Análisis Químico y Biológico del suelo de la Quinta Experimental La Argelia.

Elemento	U	Análisis Químico		U	Análisis Biológico	
		Valor	Interpret.		Valor	Interpret.
N	ppm	38.7	M	-N	19.3	muy bajo
P	ppm	48.5	A	-P	20.0	muy bajo
K	meq/100g	0.2	M	-K	31.4	bajo
Mg	meq/100g	1.0	M	-Mg	52.6	medio
S	ppm	3.8	B	-S	37.1	bajo
Zn	ppm	4.5	B	-Zn	30.8	bajo
Cu	ppm	4.3	M	-Cu	68.6	medio
B	ppm	0.2	B	-Mn	21.5	muy bajo
Mn	ppm	12.8	B	-B	72.2	medio
Fe	ppm	331.0	A	-Fe	60.3	medio

Anexo 4.

Respuesta del pH al encalado del suelo con una sola dosis de 0.7 T ha⁻¹ de cal

Tratamiento	.pH.		
	0 días	60 días	120 días
Testigo	4.5 A	5.4 A	5.68 AB
Tratamiento 150 kg ha ⁻¹	4.5 A	5.3 A	5.90 A
Tratamiento 200 kg ha ⁻¹	4.4 A	5.3 A	5.61 B
Tratamiento 250 kg ha ⁻¹	4.5 A	5.4 A	5.87 AB
Promedio	4.5	5.3	5.7

Anexo 5.

Respuesta del Aluminio intercambiable (Al+3) cmol (+)/Kg en los días de evaluación

Tratamiento	Aluminio intercambiable		
	0 días	90 días	120 días
Testigo	0.51 A	0.48 A	0.44 A
Tratamiento 150 kg ha ⁻¹	0.48 A	0.40 A	0.40 A
Tratamiento 200 kg ha ⁻¹	0.51 A	0.48 A	0.45 A
Tratamiento 250 kg ha ⁻¹	0.54 A	0.48 A	0.32 A
Promedio	0.51	0.46	0.40

Anexo 6.

Biomasa seca de la planta indicadora del suelo de la Quinta Experimental “La Argelia” perteneciente a la Universidad Nacional de Loja, sector Moraspamba, parroquia Sucre

Suelo de la Quinta Experimental “la Argelia”		
Solución	%	Interpret.
Sc	100.0	Alto
-N	19.3	Muy bajo
-P	20.0	Muy bajo
-K	31.4	Muy bajo
-Mg	52.6	Bajo
-S	37.1	Muy bajo
-Zn	30.8	Muy bajo
-Cu	68.6	Medio
-Mn	21.5	Muy bajo
-B	72.2	Alto
-Fe	60.3	Muy bajo
Testigo	19.6	Muy bajo

Nota: Porcentaje de Biomasa seca de la planta indicadora, de los tratamientos a implementarse en la Quinta Experimental La Argelia.

Biomasa seca de la planta indicadora. Mediante el análisis de la prueba de Tukey al 5 % (Figura 7), se recopiló que la solución –N representa el 79.2% (1.12g), -p por debajo de la SC 100 % (5.39g) y para la solución completa su peso seco aumentó significativamente obteniendo un resultado de 5.39 g

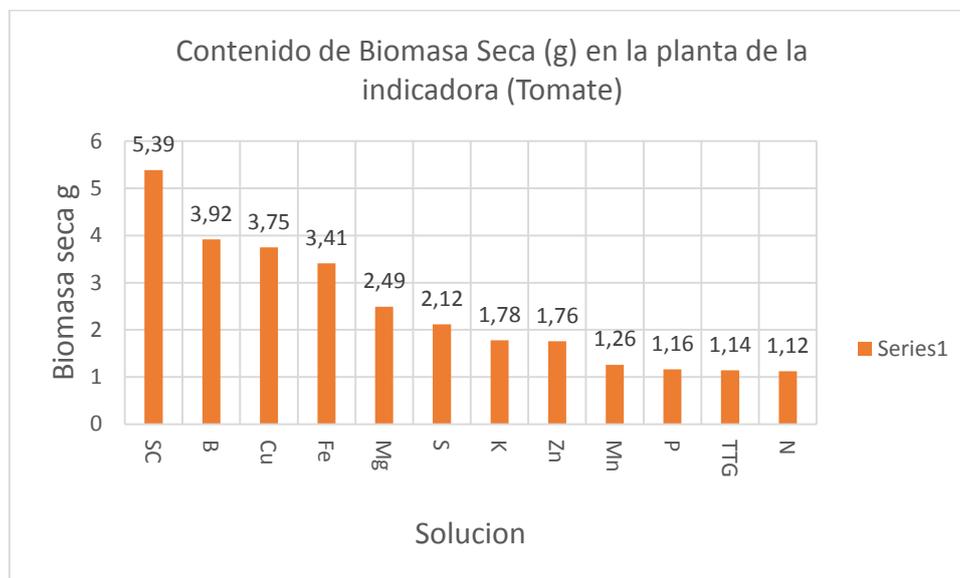


Figura 7.

Promedio de la biomasa seca de la planta indicadora (g) y prueba de Tukey al 5 % para el factor solución.

La biomasa seca para la solución completa muestra un aumento significativo en relación a las demás soluciones que tienen restringido un elemento (método de Colwell). La solución completa presenta una biomasa seca del 5.39 g, que representa el 100% siendo la mayor, seguido del B; Cu; Fe; con valores de 3.9; 3.75 y 3.41 (g) valores respectivamente en una categoría media. Las soluciones Mg; S; K; Zn, se encuentran en un rango de bajo con valores de 2.49; 2.12; 1.78; 1.76 (g) respectivamente, por último, se tuvo que las soluciones que están tienen una biomasa seca son: Mn; P; Testigo y N con valores de 1.26; 1.16; 1.14; 1.12 (g), valores que se encuentran a una diferencia del más del 75% de diferencia respecto a la SC.

Solución completa (SC), esta solución está compuesta por macro y micronutrientes elementos que son de vital importancia para el desarrollo de las plantas, por ello alcanzaron mayor contenido de biomasa, en relación a las demás soluciones las cuales tienen restringido un elemento (macro y micro nutrientes). Las deficiencias que presentaba la planta indicadora por falta de nutrientes fueron visibles, (Thompson & Troeh, 2004) manifiesta que un aspecto

ahilado, raquítrico y pálido, la palidez se observó en las hojas viejas y, especialmente, a lo largo de las nerviaciones.

Solución –N El promedio de la de biomasa seca, está en 1.12g para el suelos (figura 7), todas las plantas de este suelo presentaron menor peso de biomasa seca en comparación a la solución completa, ubicándose a una diferencia porcentual del 79.2% en comparación de la SC, evidenciándose que según en el análisis biológico existe una ausencia de N, encontrándose en un rango bajo, mientras que en el análisis químico se encuentra en un rango medio, la deficiencia de nitrógeno las plantas muestran un pobre desarrollo, se “achaparran” y en las hojas viejas se presenta clorosis, seguido por una necrosis. En algunos casos se puede presentar una floración prematura. En las hojas más viejas se observa un amarillamiento que empieza en la punta de las hojas y se expande a lo largo de la nervadura. Se inhibe el crecimiento de los brotes y raíces, mientras el tamaño de las plantas permanece reducido (Barros, 2017).

La deficiencia de nitrógeno resulta bastante sencilla de detectar. Las plantas disminuyen su crecimiento y presentan hojas pequeñas. Como no se puede sintetizar la clorofila se observa una clorosis muy marcada y las hojas se tornan de color amarillo. Es importante precisar que la clorosis empieza en las hojas de mayor edad o inferiores.

Si la deficiencia es severa el problema se extiende a las hojas más jóvenes. Para no confundir con una deficiencia de hierro es importante tener claro que la clorosis por falta de nitrógeno es total, mientras que en el caso del hierro las nervaduras permanecen verdes. También se disminuye el tamaño de los frutos y su cuajado se ve seriamente afectado (Bastida, 2017).

Solución –P. Los promedios de biomasa seca de la planta indicadora, se encuentra a 1.16 g para los suelos (Figura 7), presentando un valor bajo en comparación a la solución completa, equivalente a un porcentaje promedio de 78.5% en comparación a la SC, demostrando en el análisis biológico existe un bajo contenido de P, mientras la interpretación del análisis químico el contenido de fósforo se encuentra en un rango Alto.

La deficiencia de fósforo se distingue por un crecimiento achaparrado y compacto; las hojas pueden desarrollar un color verde intenso y un color púrpura en los bordes, y presentar necrosis, ocasiona un desarrollo débil de la planta, causa que las hojas presentan nervios pocos pronunciados y de una coloración azul, verdosa con tintes bronceados o púrpuras, se presentan con frecuencia en las hojas viejas tal como lo manifiesta (Iñiguez, 2007); estos síntomas se presentaron en la planta indicadora deficiente de este elemento. Los bajos contenidos de fósforo en el suelo son ocasionados por: extracción por cultivos, lixiviación, erosión y volatilización (Navarro & Navarro, 2013).

Solución –Mn. Los promedios de biomasa seca de las plantas indicadoras, se encuentra a 1.26g para los suelos (Figura 7), siendo un valor bajo en comparación a la solución completa, equivalente a un porcentaje promedio del 76.6% en comparación a la SC, según la interpretación de la evaluación biológica se encuentra en un muy bajo, mientras la interpretación del análisis químico se encuentra en un rango bajo. El Manganeseo es un importante micronutriente para las plantas y, después del hierro, es el que las plantas requieren en mayor cantidad. Al igual que sucede con cualquier otro elemento, su deficiencia o su toxicidad pueden representar una limitante para el desarrollo de las plantas. En varias formas se asemeja al hierro, por lo que su deficiencia o su toxicidad suelen ser confundidas con las de éste. La función del Manganeseo dentro de las plantas es de contribuir al funcionamiento de varios procesos biológicos incluyendo la fotosíntesis, la respiración y la asimilación de nitrógeno. También interviene en la germinación del polen, el crecimiento del tubo polínico, el alargamiento celular en la raíz y la resistencia a patógenos de la misma (Bloodnick, 2020).

Solución –Zn. Los valores promedios obtenidos de la biomasa seca de la solución –Zn son de 1.76 g, en las plantas del suelo presentaron un valor menor en comparación a la solución completa, equivalente al 67.3% de diferencia entre la SC, según la interpretación del análisis biológico se encuentra en rango muy bajo, en el análisis químico se demostró que se encuentra en un rango bajo. La deficiencia del Zinc, los síntomas son casi idénticos a la deficiencia de hierro, con particularidades como reducción en el tamaño de las hojas nuevas, y que éstas en ocasiones crecen de forma retorcida o curvada (Barros, 2017).

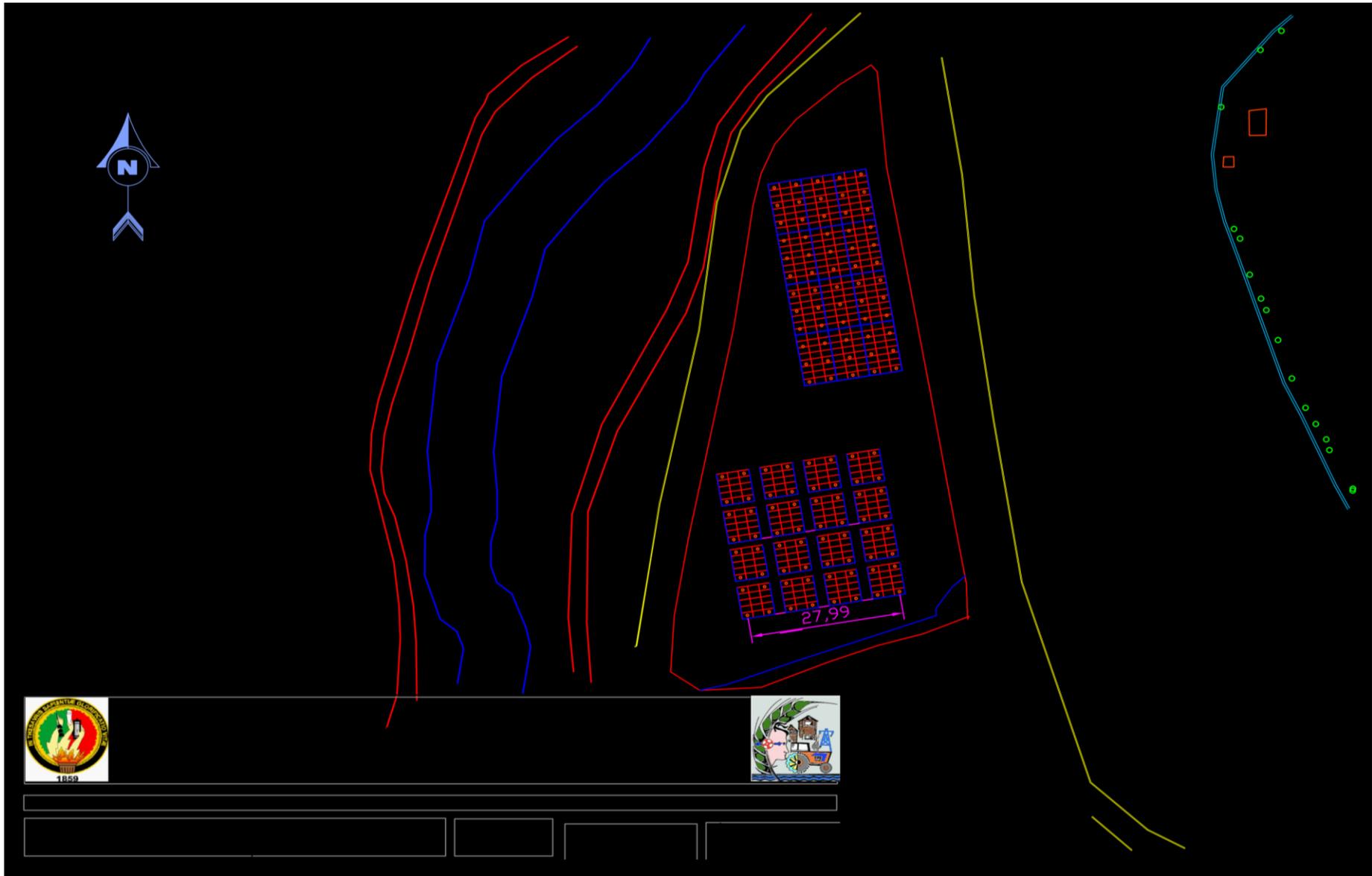
El zinc (Zn), uno de los micronutrientes esenciales para las plantas, es necesario en pequeñas cantidades. El nivel normal de zinc en el tejido foliar es de 15-60 ppm, y en el sustrato, de 0,10-2,0 ppm. Ni la deficiencia ni la toxicidad de zinc ocurren con frecuencia; sin embargo, ambas repercuten negativamente en el desarrollo y la calidad de los cultivos. Ambas condiciones deben ser afrontadas antes de que el daño causado a los cultivos sea irreversible. Activa las enzimas responsables de la síntesis de ciertas proteínas. Es utilizado en la formación de clorofila y algunos carbohidratos, y en la conversión de almidones en azúcares; su presencia en el tejido foliar ayuda a las plantas a resistir las bajas temperaturas. Es fundamental en la formación de auxinas, mismas que coadyuvan a la regulación del desarrollo y a la elongación del tallo, los síntomas de deficiencia de este elemento se presentan en las hojas nuevas. Dichos síntomas varían en función de cada tipo de cultivo. Normalmente, se manifiestan como un patrón inconsistente de clorosis (a menudo intervenal) en las hojas nuevas; además, pueden presentarse manchas necróticas en las orillas o en las puntas de las hojas. Estas nuevas hojas son más pequeñas y con frecuencia están torcidas hacia arriba o deformes. Los entrenudos se

acortan, dándole a la planta un aspecto de escarapela; el desarrollo de los botones es pobre, por lo que el florecimiento y las ramificaciones se reducen (Bloodnick, 2020).

El potasio (K) es el tercero de tres nutrientes primarios requeridos por las plantas, junto al nitrógeno (N) y el fósforo (P), el potasio juega un papel fundamental en la síntesis y acumulación de hidratos de carbono y proteínas. Y, además, influye en la tolerancia al frío, en la resistencia a la sequía y enfermedades. Por otro lado, también contribuye a una mejora de la calidad de las cosechas de granos y frutas (Alvaro, 2019).

El papel del potasio en los cultivos es muy importante ya que tiene funciones trascendentes en la fisiología de las plantas, actuando en el proceso de la fotosíntesis, en la translocación de fotosintatos, síntesis de proteínas, activación de enzimas claves para varias funciones bioquímicas. Además, si nuestro cultivo tiene una buena nutrición potásica se aumenta la resistencia de este a condiciones adversas como pueden ser sequías o presencia de enfermedades (Alvaro, 2019). Las plantas con deficiencia de potasio normalmente muestran síntomas como clorosis, seguida de necrosis en las puntas de las hojas y a lo largo de sus bordes. Como el potasio es móvil dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas más viejas (Bloodnick, 2020).

Anexo 7. Croquis de acceso al sitio de la investigación en La Quinta Experimental La Argelia.



Anexo 8.

Descripción de perfil de la unidad de suelo en la Estación Experimental La Argelia, Moraspamba (Perfil 1C)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES

RENOVABLES

“Efecto de los diferentes niveles de nitrógeno en el crecimiento del café en el cantón Loja”

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

Código Invernadero P1 Fecha: 15-08-2018 **Autores:** Carlos Valarezo, Fernanda ---

Sitio: Moraspamba La Argelia

Altitud (m s.n.m.): 2130 **Coordenadas:** 9 554 365 E 700 452 N

Paisaje (montaña), **Tipo de relieve:** vega cerca del Río, **Forma del Terreno:** (parte baja),

Pendiente < 10 % plano.

Uso Actual o cobertura vegetal: Barbecho de papa.

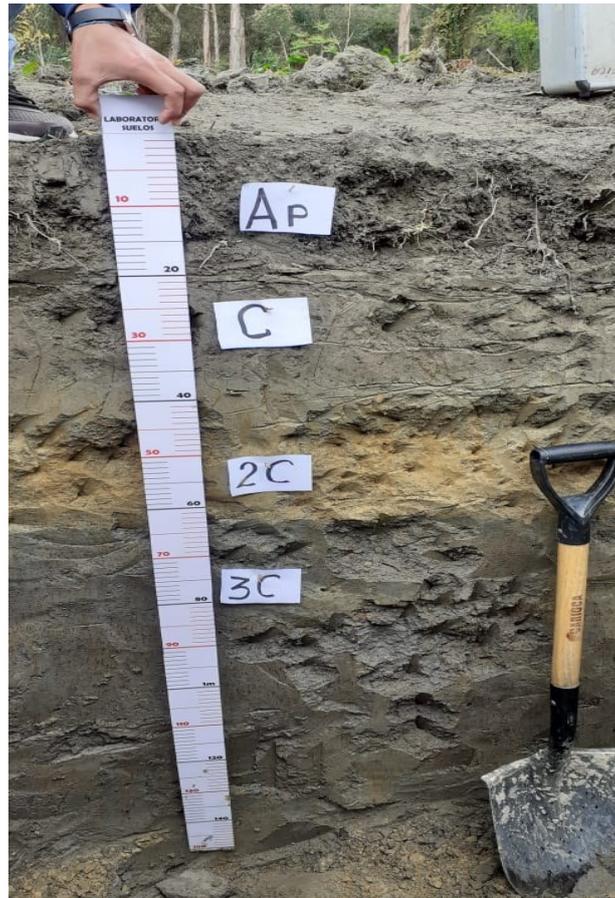
Condiciones de Humedad: (húmedo). **Pedregosidad superficial:** 0 %; Tamaño: cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo Material parental:** Aluvial

Profundidad de la capa freática: Tabla de agua colgada a los 80 cm

Presencia de Sales o Alcalis: Libre

Drenaje: Pobre



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Es un suelo joven que no presenta horizontes genéticos, está compuesto por tres depósitos aluviales: El primer depósito y el más antiguo pertenece a la capa 3C se extiende desde 60cm hasta 120cm, de textura franco arcillo limoso y color oscuro, así mismo es notable el proceso fluctuante del agua de lluvia se cuelga en esta capa generando condiciones de reducción al no haber presencia de oxígeno predominan colores grises con manchas derrumbrosas; El segundo depósito se forma en la capa 2C se extiende de 30 hasta 60cm, de color rojizo y franco es notable el proceso fluctuante del proceso de oxidación del hierro por lo que predominan manchas grandes de óxido e hidróxidos de férricos lo que indica la fluctuación del agua al entrar y salir de esta capa; Y finalmente el último depósito formado por dos horizontes, un Ap de 20cm de profundidad, color oscuro, textura Franco arcillo limosa con presencia raíces muy finas, finas y medias y un C de 20cm de espesor, de textura franco y de color oscuro con presencia escasa de raíces finas. Suelo poco profundo, perfil con presencia de raíces hasta los 20cm, desde el punto de vista el riego debe ser moderado. En la capa 2C y 3C es notable el proceso fluctuante del agua colgada, predominan óxidos e hidróxidos férricos

Descripción individual de los horizontes o capas Invernadero P:

- Ap 00-20 cm Primer horizonte intervenido por el hombre de color en húmedo (5YR 4/2) gris rojizo oscuro: de textura franco arcillo limosa al tacto: fragmentos rocosos no visibles: estructura fuerte en bloques angulares medios: finos y gruesos: consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo plástico y firme: cantidad de poros: pocos, y diámetro muy fino: cantidad de raíces finas, medias y pocas: límite del horizonte neto y de topografía plana.
- C 20- 40 cm Suelo de color en húmedo (2.5YR5/3), rojo débil; 10% manchas de color (5YR3/3), pardo rojizo oscuro, frecuentes, pequeñas y destacadas, textura al tacto franco; fragmentos rocosos no visibles; sin estructura; consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo plástico y firme; cantidad de poros muchos, finos y medios; cantidad de raíces finas y muy pocas; límite del horizonte neto y de topografía plana.
- 2C 40-60cm Suelo de color en húmedo (2.5YR5/3), marrón rojizo; 75% manchas de color (7.5YR5/6), pardo fuerte, frecuentes, pequeñas y destacadas, textura al tacto franco arenoso; fragmentos rocosos no visibles; sin estructura; consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo ligeramente plástico y fiable; cantidad de poros; micro y muy finos; no se presentas raíces; límite del horizonte neto y de topografía plana.
- 3C 60-120cm Color en húmedo (5 YR 5/1) gris; 755 de manchas de color (5YR 4/4), gris pardusco, frecuentes, pequeñas y definidas; textura al tacto franco arcillo limoso al tacto; sin presencia de fragmentos rocosos; sin estructura; consistencia en mojado adherente, en húmedo plástico y firme; cantidad de poro: muchos y medianos; sin presencia de raíces; límite de horizonte: neto y de topografía plana; bajo contenido de materia orgánica.

Anexo 9. Fertilización del café en la fase de desarrollo vegetativo (14-18 m.d.s) para el periodo de un año (2020-2021), para una densidad de 4000 plantas ha⁻¹

Necesidades del café Kg ha⁻¹. año							
RESUMEN	N	P₂O₅	K₂O	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.

Distribución en porcentajes de los nutrientes para el café después de la siembra						
Días	meses	N	P₂O₅	K₂O	MgO	
Julio	0	12.0	56	21	38.0	
Septiembre	2	15.5				
Noviembre	4	10.3		20	20.0	
Enero	6	10.3	24	25		
Marzo	8	12.1		10	20.0	
Mayo	10	12.07	10	10		
Julio	12	27.7	10	14	22.0	
		100.0	100	100	100.0	

Nota: Distribución porcentual de las diferentes necesidades nutricionales del café guiado de resultados obtenidos de Sadeghian et.al.(2012).

Necesidades	Primera	Segunda	Tercera	*Cuarta	Quinta	Sexta	Séptima	Total
	g/Pln.	g/Pln.	g/Pln.	g/Pln.	g/Pln.	g/Pln.	g/Pln.	Kg ha ⁻¹
N₁	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
N₂	4.5	5.8	3.9	3.9	4.5	4.5	10.4	150
N₃	6.0	7.8	5.2	5.2	6.0	6.0	13.9	200
N₄	7.5	9.7	6.5	6.5	7.5	7.5	17.3	250
P₂O₅	19.2	0.0	0.0	8.2	0.0	3.4	3.4	137
K₂O	6.3	0.0	6.0	7.5	3.0	3.0	4.2	120
MgO	18.9	0.0	9.9	0.0	9.9	0.0	10.9	199
Zn	0.8	0	0	0	0	0	0	3
B	1.3	0	0	0	0	0	0	5
S	6.3	0	0	0	0	0	0	25

Nota: Dosis aplicada en gramos por planta durante los meses de estudio (6 meses, cuarta aplicación), de nutrientes para el cultivo de café

Fertilizantes	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta
	Kg/ensayo	Kg/ensayo	Kg/ensayo	Kg/ensayo
Urea	-----	4.85	3.23	3.23
18-46-0	10			
Bórax	4			
Sulpomag	---		10.46	
SFT	6			6.88
Sulfato de potasio	5			5.71
Sulfato de Magne.	45		12.065	
Sulfato de zinc	1			

Nota: Fertilizantes utilizados para cubrir las necesidades del cultivo de café (96 plantas*ensayo)

Anexo 10. Composición química de los fertilizantes usados en la fertilización del cultivo de café

Fertilizantes	Composición Química de los Fertilizantes %						
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	Zn	B
Urea	45						
DAP (18-46-0)	18	46	0				
Bórax							11
Sulpomag			22	18	22		
SFT		46					
Sulfato de potasio			50		18		
Sulfato de Magnesio				16	13		
Sulfato de Zinc					11	23	

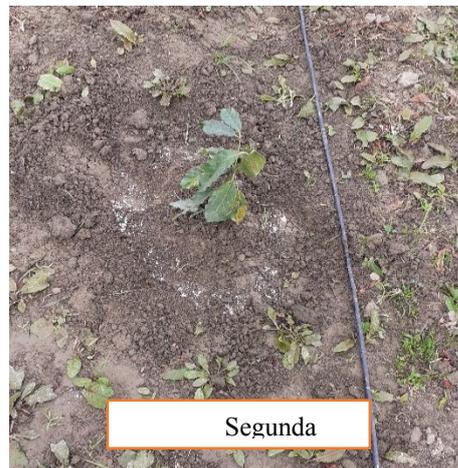
Anexo 11. Aplicación e incorporación de la cal al suelo de manera uniforme.



Anexo 12. *Siembra de planta de aliso que servirá de sombra para el cultivo de café.*



Anexo 13. *Aplicación de los fertilizantes hasta la cuarta aplicación (julio 2020-enero 2021),*



Anexo 14. *Control de plagas y enfermedades en el cultivo de café*



Anexo 15. *Control de malezas para evitar la propagación de futuras plagas.*

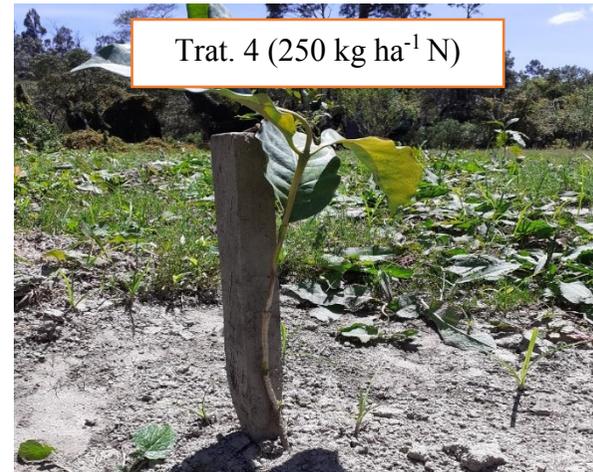
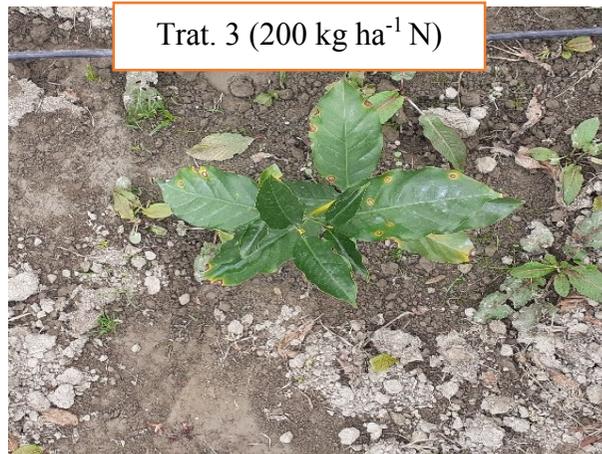
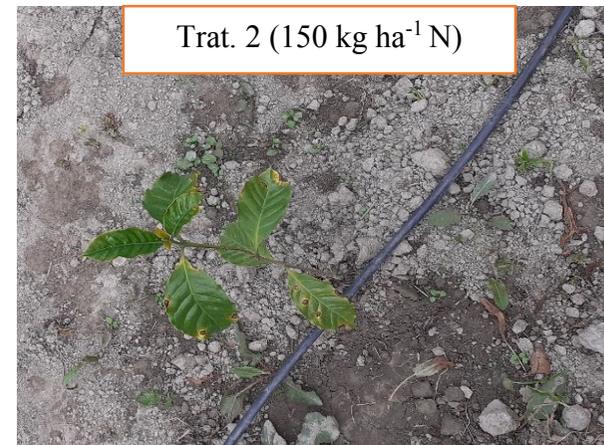
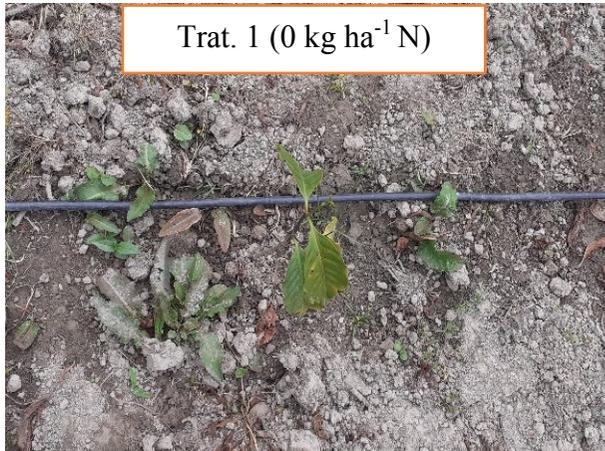


Anexo 16. *Monitoreo de las variables Dasométricas*

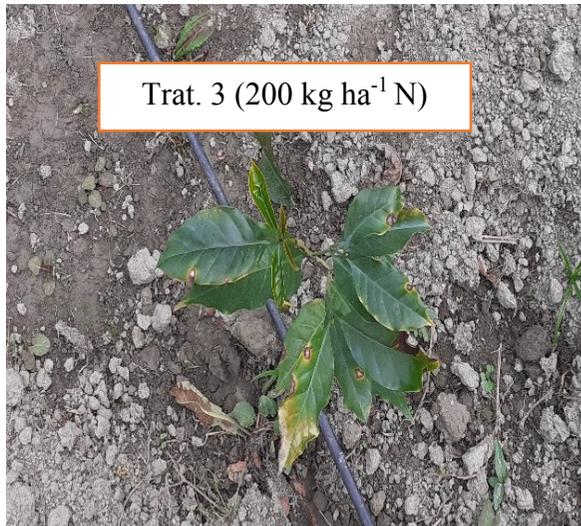
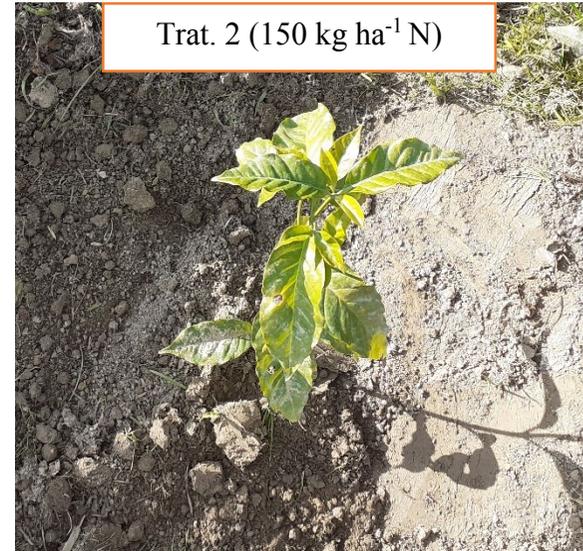


Anexo 17. Evolución de los tratamientos a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno para el café para los diferentes meses.

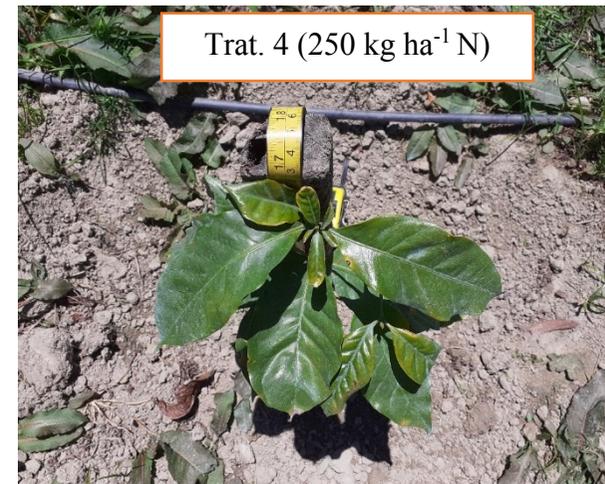
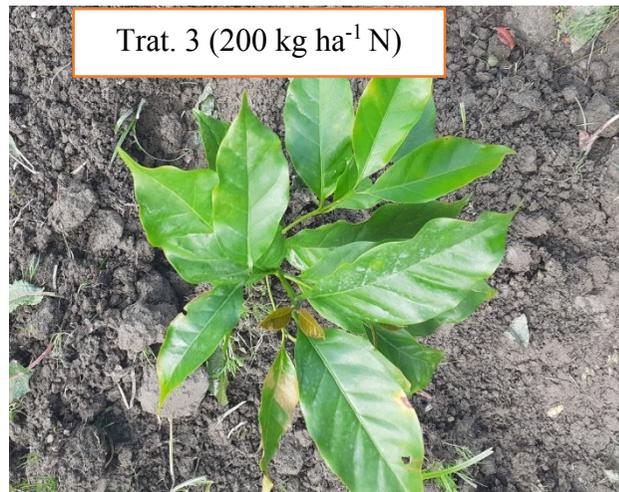
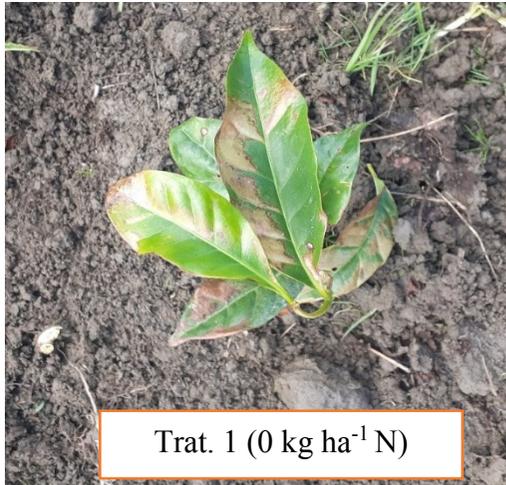
- 0 días después del trasplante



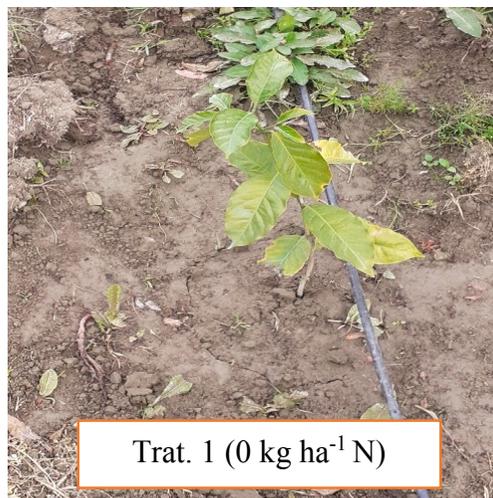
- 30 días después del trasplante



- 60 días después del trasplante



- 120 días después del trasplante



Anexo 18. Cálculos para el encalado del suelo.

• **Toneladas de Calcio**

Parámetro	Valor	Unidad
Aluminio Intercambiable	0.5 Promedio (Anexo 5)	(Al+ H)
Densidad aparente	1.4	T m ₃

$$Tn = (Al + H) * Da$$

$$Tn = (0.5) * 1.4 T m^3$$

$$Tn = 0.7 T m^3$$

$$Tn = 700 kg ha^{-1}$$

• **Fuente de encalado con Cal Dolomina**

Ficha Técnica de la Cal Dolomina

Parámetro	Unidad	Valor
CaO	%	50
MgO	%	5

Peso Molecular

CaO	Ca	MgO	Mg
56	40	40	24
50		5	

* 35.71 kg de Ca

**3.00 kg de Mg

*Kg de Calcio que existe en el Óxido de Calcio

**Kg de Magnesio que existe en el Óxido de Magnesio

$$\frac{700 Ca (kg ha^{-1}) * 100 Cal Dolomina (kg)}{35.71 Ca (kg)}$$

$$Cal Dolomina = 1960.0 Kg ha^{-1}$$

Anexo 19. *Mapa geológico de la provincia de Loja*

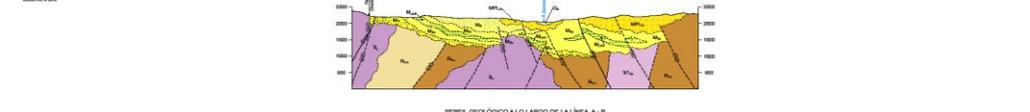
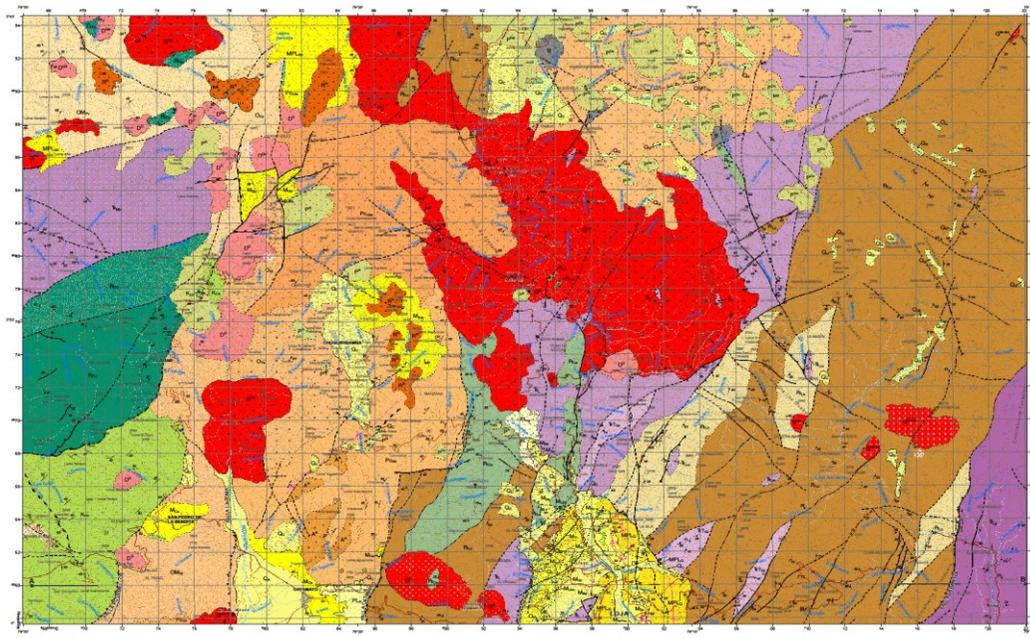
BREVE DESCRIPCIÓN GEOLOGICA

El territorio geológico de la zona de Loja, Ecuador, está conformado por unidades geológicas pertenecientes a diferentes etapas geológicas. En el sector occidental se encuentran las unidades del Paleozoico, específicamente del Ordovícico y Silúrico, representadas por las Formaciones de San Juan y de San Mateo. Estas unidades están compuestas principalmente por areniscas, arcillas y calizas.

El sector central y oriental de la zona está ocupado por las unidades del Mesozoico y Cenozoico. El Mesozoico incluye las Formaciones de San Mateo y de San Juan, que son parte de la Cuenca de Loja. Estas unidades están compuestas por areniscas, arcillas y calizas. El Cenozoico incluye las Formaciones de San Juan y de San Mateo, que son parte de la Cuenca de Loja. Estas unidades están compuestas por areniscas, arcillas y calizas.

Las unidades geológicas más recientes son las Formaciones de San Juan y de San Mateo, que son parte de la Cuenca de Loja. Estas unidades están compuestas por areniscas, arcillas y calizas.

ECUADOR 1:100 000 **LOJA** EDICIÓN 2 SERIE J62 - G HOJA 56, N VI-F



INDICE DE HOJAS ESCALA 1:100 000

INDICACION DEL TIPO DE HOJA	INDICACION DEL TIPO DE HOJA	INDICACION DEL TIPO DE HOJA
Hoja principal	Hoja principal	Hoja principal
Hoja principal	Hoja principal	Hoja principal
Hoja principal	Hoja principal	Hoja principal



SÍMBOLOS CONVENCIONALES

Hoja principal	Hoja principal
Hoja principal	Hoja principal
Hoja principal	Hoja principal

LEYENDA

El territorio geológico de la zona de Loja, Ecuador, está conformado por unidades geológicas pertenecientes a diferentes etapas geológicas. En el sector occidental se encuentran las unidades del Paleozoico, específicamente del Ordovícico y Silúrico, representadas por las Formaciones de San Juan y de San Mateo. Estas unidades están compuestas principalmente por areniscas, arcillas y calizas.

El sector central y oriental de la zona está ocupado por las unidades del Mesozoico y Cenozoico. El Mesozoico incluye las Formaciones de San Mateo y de San Juan, que son parte de la Cuenca de Loja. Estas unidades están compuestas por areniscas, arcillas y calizas. El Cenozoico incluye las Formaciones de San Juan y de San Mateo, que son parte de la Cuenca de Loja. Estas unidades están compuestas por areniscas, arcillas y calizas.

Las unidades geológicas más recientes son las Formaciones de San Juan y de San Mateo, que son parte de la Cuenca de Loja. Estas unidades están compuestas por areniscas, arcillas y calizas.

ROCAS INTRUSIVAS

ROCAS SUBVULCÁNICAS

ROCAS VULCÁNICAS PROLÁTITAS Y BRECHAS

SÍMBOLOS GEOLOGICOS

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION GEOLOGICA MINERO METALURGICA

DIRECCION DE GEOLOGIA

PROYECTO DE INVESTIGACION GEOLOGICA Y DISPONIBILIDAD DE OCURRENCIAS DE RECURSOS MINERALES EN EL TERRITORIO ECUATORIANO

HOJA GEOLOGICA

LOJA

ESCALA 1:100 000 HOJA 56 AÑO 2017

