Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

"Evolución de la acidez del suelo en la fase reproductiva (*Coffea arabica* L.), en la Hacienda El Cristal, Pueblo Nuevo, cantón Loja"

Trabajo de Titulación Previo a la Obtención del Título de Ingeniera Agrónoma

Autor:
Thalia Anahy Briceño Aguilar

Director:
Ing. Miguel Ángel Villamagua M. Sc.

Loja – Ecuador

2022

Educamos para Transformar

Certificación

Loja, 25 de marzo del 2022

Ing. Miguel Villamagua M.Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso del trabajo de titulación: **"Evolución de la acidez del suelo en la fase reproductiva (*Coffea arabica L.*), en la Hacienda el Cristal, Pueblo Nuevo, cantón Loja"** de autoría de la estudiante **Thalia Anahy Briceño Aguilar,** previa a la obtención del título de **Ingeniera Agrónoma**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigido por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Firmado electrónicamente por:
MIGUEL ANGEL VILLAMAGUA .

Ing. Miguel Villamagua M.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION

Autoría

Yo, **Thalia Anahy Briceño Aguilar,** declaro ser autora del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Digital Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de identidad: 1105705675

Fecha: 23/06/2022

Correo electrónico: tabricenoa@unl.edu.ec

Celular: 0996555996

Carta de autorización del trabajo de titulación por parte de la autora para la consulta de reproducción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo.

Yo, Thalia Anahy Briceño Aguilar, declaro ser autora del trabajo de titulación titulado **Evolución de la acidez del suelo en la fase reproductiva (*Coffea arabica L.*), en la Hacienda el Cristal, Pueblo Nuevo, Cantón Loja,** como requisito para optar el título de Ingeniera Agrónoma, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

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

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

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

Firma:

Autora: Thalia Anahy Briceño Aguilar.

Cédula: 1105705675

Dirección: Loja- Barrio Tebaida Correo electrónico: tabricenoa@unl.edu.ec

Celular: 0996555996

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Miguel Ángel Villamagua M.Sc.

Tribunal de Grado:

Presidente: Ing. Klever Chamba

Vocal: Dra. Marlene Molina

Vocal: Ing. Freddy Tinoco

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a mi Emita que hace que mis días sean maravillosos, a mi esposo, a mis abuelitos, familia. Y a todos aquellos que me dieron apoyo moral y económico.

Thalia Anahy Briceño Aguilar

Agradecimiento

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables, a los docentes de la carrera de Ingeniería Agronómica por haberme brindado sus conocimientos y la oportunidad de profesionalizarme.

A M. Sc. Miguel Ángel Villamagua, Director de tesis, por el esfuerzo en la asesoría, ejecución y culminación de la presente investigación.

Al personal de Laboratorio de Suelos por su apreciable ayuda.

Al Dr. Gustavo Samaniego, propietario de la Hacienda Cristal, por su colaboración para la realización del trabajo de investigación.

A María Clara Vélez, Numan Ortega por su colaboración en la recolección de datos para el desarrollo de la investigación.

Thalia Anahy Briceño Aguilar

Índice de contenidos

Portada i

Certificado director de tesis ii

Autoría iii

Carta de autorización. iv

Dedicatoria v

Agradecimiento vi

Índice de contenidos vii

Índice de tablas x

Índice de figuras xi

Índice de anexos xii

1. Título 1

2. Resumen 1

2.1. Abstract 3

3. Introducción 4

4. Marco teórico 6

4.1. Acidez del suelo 6

4.2. Clasificación de la acidez 6

4.2.1. Acidez potencial: 6

4.2.2. Acidez activa: 6

4.2.3. Acidez intercambiable: 6

4.2.4. Acidez no intercambiable. 6

4.3. Encalado 6

4.3.1. Materiales encalantes 7

4.3.2. Calidad de los materiales del encalado 7

4.3.3. Beneficio del encalado en cafetales 8

4.4. Fase reproductiva del cafetal 8

4.5. Fertilización foliar 8

4.6. Funciones de los nutrimentos en los cafetos. 9

4.7. Recopilación de algunas investigaciones sobre acidez del suelo 10

4.8. Fenología del café 10

5. Metodología 11

5.1. Área de estudio 11

5.2. Diseño experimental 11

5.3. Modelo matemático del diseño experimental 11

5.4. Esquema del diseño experimental 12

5.5. Manejo del experimento para el objetivo 1: 12

5.6. Manejo del experimento para el objetivo 2: 13

6. Resultados 15

6.1. Variables dasométricas 15

6.1.1. Valores de variables dasométricas 15

6.1.2. Altura de planta 15

6.1.3. Número de hojas 16

6.1.4. Diámetro basal 16

6.1.5. Incremento de variables dasométricas 17

6.2. Evolución de la reacción del suelo, el aluminio y la acidez intercambiable en el experimento de campo. 17

6.3. Capacidad de intercambio catiónico efectiva, bases cambiables, saturación de bases y relación de cationes 18

6.4. Disponibilidad de nutrientes 19

6.5. Disponibilidad de nutrientes a nivel foliar 20

6.6. Plan de fertilización edáfica 20

7. Discusión 21

7.1. Evolución de la reacción del suelo, ph, acidez y aluminio intercambiable 21

7.2. Evolución de variables dasométricas 23

7.3. Evolución de de la capacidad de intercambio catiónico efectiva, saturación de bases y relación de cationes. 23

7.4. Evolución de la disponibilidad de nutrientes. 24

7.5. Disponibilidad de nutrientes a nivel foliar 25

7.6. Plan de fertilización edáfica 26

8. Conclusiones 27

9. Recomendaciones 28

10. Anexos 32

Índice de tablas

Tabla 1. Factores aplicar en el experimento 12

Tabla 2. Rangos para la relación de cationes 13

Tabla 3. Requerimientos de ingredientes activos (k/ha) 13

Tabla 4. Valores de altura de planta, número de hojas y diámetro basal con 0,0; 5,0 y 6,3 t/ha de $CaCO_3$, durante el periodo de 0 a 75 días. 15

Tabla 5. Evolución de los valores de pH, acidez y aluminio intercambiable del suelo, para los tratamientos de 0,0; 5,0 y 6,3 t/ha de $CaCO_3$ durante 700-800 días de monitoreo. 17

Tabla 6. Evolución de la capacidad de intercambio catiónico efectiva, saturación de bases y relación de cationes para los tratamientos de 0,0; 5,0 y 6,3 t/ha de $CaCO_3$, a los 700-800 días de monitoreo 18

Tabla 7. Evolución de los nutrientes disponibles en el suelo para los tratamientos de 0,0; 5,0 y 6,3 t/ha de $CaCO_3$, a los 700-800 días de monitoreo. 19

Tabla 8. Avance de los nutrientes disponibles en las hojas después de la aplicación de los tratamientos de 0,0; 5,0 y 6,3 t/ha de $CaCO_3$ a los 800 días.....20

Tabla 9. Propuesta de fertilización 20

Tabla 10. Fertilizantes recomendados para el cultivo de café.....20

Tabla 11. Plan de fertilización para mejorar el crecimiento del cultivo de café. 21

Índice de figuras

Figura 1. Diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con tres tratamientos y tres repeticiones (Rodríguez, 2019) 12

Figura 2. Regresión lineal en altura de la planta (cm) 15

Figura 3. Regresión Lineal para número de hojas 16

Figura 4. Regresión lineal para diámetro basal 16

Figura 5. Incremento de la altura de la planta (A), diámetro basal (B) y número de hojas (C) con su respectivo tratamiento. 17

Índice de anexos

Anexo 1. Floración del café 32

Anexo 2. Monitoreo de variables dasométricas 34

Anexo 3. Análisis de suelo (antes y después)..... 36

Anexo 4. Análisis foliar..... 41

Anexo 5. Ubicación del lugar de estudio 44

Anexo 6. Planimetría del lugar de estudio 45

Anexo 7. Laboratorio..... 46

Anexo 8. Muestreo de suelo y hojas…….……..……46

Anexo 9. Certificación del tribunal de grado……...47

Anexo 10. Certificado del resumen en inglés……..48

Evolución de la acidez del suelo en la fase reproductiva (*Coffea arabica L.*), en la Hacienda el Cristal, Pueblo Nuevo, cantón Loja

2. Resumen

El café es uno de los cultivos más importantes en el comercio nacional e internacional, la acidez es el principal factor limitante en la producción de *Coffea arabica* L. Por esta razón, se realizó un seguimiento en un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L+ Alnus acuminata) en la hacienda El Cristal, ubicada en el sector Pueblo Nuevo del cantón Loja, a una altitud de 2 100 msnm, en abril 2019 se realizó las enmiendas de encalado, entre marzo y julio del 2021 se monitoreo la evolución de la acidez del suelo, la disponibilidad de los nutrientes y el crecimiento del cafeto, con la aplicación de 5,0 y 6,3 t/ha de CaCO3 en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con tres replicas. En el periodo de los 700 a los 800 días después de la aplicación de cal el pH se mantiene en rango ácido en todos los tratamientos; la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) está en el rango bajo, el porcentaje de saturación de bases incrementó del rango bajo al medio con 6,3 t/ha de CaCO3; la acidez intercambiable y aluminio intercambiable permanecen en rango tóxico, los elementos disponibles (N, P, Cu, Mn y Fe) evolucionaron a rango alto. La altura de planta, diámetro basal y número de hojas mostraron un incremento significativo.

Palabras clave: Café, sistema agroforestal, encalado, pH del suelo, nutrientes.

Abstract

Coffee is one of the most important crops in national and international trade, Acidity is the main limiting factor in the production of *Coffea arabica* L. For this reason, monitoring was carried out in a coffee agroforestry system (Coffea arabica L + Alnus acuminata) in the El Cristal farm, located in the Pueblo Nuevo sector of the Loja canton, at an altitude of 2 100 m above sea level, liming amendments were carried out in April 2019, between March and July 2021 the evolution of soil acidity will be monitored, nutrient availability and growth of the coffee, with the application of 5,0 y 6,3 t/ha de CaCO3 in a completely randomised block design (DBCA), with three replicas.In the period from 700 to 800 days after lime application, the pH remains in the acid range in all treatments; effective cation exchange capacity (ECEC) is in the low range, the percentage of base saturation increased from the low to the medium range with 6,3 t/ha $CaCO_3$; exchangeable acidity and exchangeable aluminium remain in toxic range, available elements (N, P ,Cu, Mn and Fe) envolved to high range. Plant height, basal diameter and number of leaves showed a significant increment.

Key words: coffee, agroforestry system, liming, soil pH, lime, and nutrients.

3. Introducción

El café constituye uno de los productos más importantes de la economía mundial y se cotiza en las bolsas de valores de Londres (Robusta) y Nueva York (Arábiga). Muy pocas fincas cafetaleras se manejan de forma tecnificada; sin embargo, estas pueden llegar a niveles de productividad de hasta 5 t/ha en café arábiga y 10 t/ha en café robusta, con un manejo acorde a las necesidades del cultivo. La producción nacional para el año 2019 se dio en 60.000 hectáreas, exportaron 753,27 toneladas de café arábigo y 704,98 toneladas de café robusta. (Anecafe, 2020)

Ecuador posee una gran capacidad de producción de café por la variedad de ecosistemas existentes, su ubicación geográfica le permite tener un clima propicio, que le ha llevado a exportar todas las variedades arábica y robusta (Varela, 2012). Los cafetales presentan una amplia adaptabilidad a distintos agro ecosistemas de la Costa, Sierra, Amazonía e Islas Galápagos (MAGAP, 2011).

De acuerdo al Ministerio de Agricultura y Ganadería (2017), se trabaja directamente con 20 organizaciones de cafetaleros en territorio, distribuidas en 15 cantones de la provincia de Loja (Loja, Quilanga, Gonzanamá, Calvas, Chaguarpamba, Puyango, Olmedo, Paltas, Macará, Espíndola, Catamayo, Saraguro, Pindal, Celica y Sozoranga) en altitudes de 500 a 1800 m.s.n.m. Loja, provincia donde se produce el mejor café de altura del Ecuador, y uno de los más reconocidos del mundo, ocupando el 13,5 % del área nacional cultivada (FECD, 2011).

La baja producción de café a nivel nacional es uno de los problemas del sector cafetalero, atribuido a causas como: reducción del área cultivada, prevalencia de cafetales viejos y falta de crédito (Duicela Guambi, 2018). Guerrero (2016) reportó rendimientos promedios de: 0,48 $t.ha^{1}$ en robusta y 0,22 $t.ha^{1}$ en arábigo.

Los suelos ácidos son una limitante para la producción del café ya que se caracterizan por presentar valores bajos de pH y altos contenidos de aluminio, elemento que es tóxico para las plantas. Sin acidez en el cultivo de café las raíces se desarrollan mejor, su crecimiento es mayor y existe más eficiencia en la absorción de agua y nutrientes por lo que llegan a ser más productivas (Khalajabadi, 2016).

En un sistema agroforestal de café arábigo asociado con alisos (*Alnus acuminata H.B.K*) de regeneración natural, ubicado en el piso temperado de la hacienda el Cristal, se confirmó que, desde el punto de vista químico las principales limitaciones del suelo para el cultivo del cafeto

son: la fuerte acidez (pH_{H20} 4.5), la presencia de aluminio intercambiable (Al^{3+} 1,94 $cmol^{(+)}$ kg^{-1}), y los bajos niveles de N, P, K, Mg, Zn y B disponibles (Villamagua, 2019).

En estos suelos se realizó un trabajo de investigación, sobre la evolución de la acidez a la aplicación de 5,0 y 6,3 t/ha de CaCO3 en un diseño experimental de bloques al azar con tres replica. Al inicio del experimento cada planta de cafeto recibe la siguiente fertilización: N 25, P 15, K 10,3, Mg 30, S 36,5 y B 1,3 g. Al inicio del experimento el pH del suelo evolucionó de 4,9 a 6,3; la acidez intercambiable disminuye de 3,5 cmol/kg a valores no detectables, la CIC pasa del rango bajo al medio y el porcentaje de saturación de bases se incrementó de medio a muy alto. Los contenidos disponibles de N, P, S, K, Ca, Mg, Cu y B, se incrementan, mientras que para el Fe y Mn disminuyen. En el presente trabajo se evaluó los efectos de los tratamientos con las siguientes dosis 5,0 y 6,3 t ha^{-1} $CaCO_3$ a los 700-800 días, relacionados con la evolución del pH, acidez intercambiable, bases intercambiables, CIC y la disponibilidad de los nutrientes.

Esta investigación sirve para que los pequeños agricultores y estudiantes, tengan más conocimiento sobre el encalado y el uso adecuado de la dosificación correcta de cal para mejorar el pH, acidez, los macronutrientes y micronutrientes del suelo.

Objetivo General

- Generar conocimientos sobre el efecto de la aplicación de cal agrícola en la corrección de la acidez y la disponibilidad de nutrientes en el sistema agroforestal de café en la Hacienda El Cristal, con la perspectiva de incrementar el rendimiento y la calidad del café.

Objetivos Específicos

- Monitorear el pH, acidez intercambiable, bases intercambiables, CIC y disponibilidad de nutrientes en diferentes dosis de cal agrícola en el suelo, a la profundidad de la zona radicular del café.
- Evaluar la respuesta del cultivo del café en la fase reproductiva frente a la aplicación de diferentes dosis de cal agrícola.

4. Marco teórico

4.1. Acidez del suelo

En muchas regiones la acidez del suelo constituye una limitante potencial para la producción de café. Aunque esta condición ocurre de manera natural, principalmente como consecuencia del material parental del suelo en interacción con el clima y los organismos, su magnitud se intensifica en los suelos cultivados, debido a la remoción de las bases intercambiables, calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}) y potasio (K), a través de las cosechas, la erosión, el uso de los fertilizantes amoniacales, la oxidación de la materia orgánica (MO) y la aplicación de azufre elemental (S) (Sousa et al., 2007; Zapata, 2004). Los suelos ácidos contienen cantidades relativamente altas de aluminio (Al^{+3}) y, a veces, de manganeso (Mn^{+2}), que resultan tóxicas para las plantas; en contraste, son pobres en Ca^{+2} y Mg^{+2}. Una de las alternativas más comunes para corregir la acidez del suelo radica en el empleo de materiales encalantes (Khalajabadi , 2020).

4.2. Clasificación de la acidez

4.2.1. Acidez potencial: Es la acidez intercambiable más la acidez no intercambiable.

4.2.2. Acidez activa: Estima la presencia de iones H^+ en la solución del suelo. Se mide con un peachímetro y no tiene en cuenta la presencia de Al^{+3} u otros iones. Debido a que la acidez activa es solo una fracción de la acidez potencial total en el suelo, una medida de pH puede indicar sólo si un suelo requiere o no de un tratamiento con alcalinizantes, pero no cuánto se requiere. Para determinar la cantidad de caliza requerida se requiere medir la acidez residual para lograr el pH deseado (Piedrahíta, 2009).

4.2.3. Acidez intercambiable: También llamada de reserva, constituyen el hidrógeno y intercambiables (H^+, Al^{+3}) retenidos en los coloides del suelo por fuerzas electrostáticas. Se expresa en meq/ml o cmol (+) /L.

4.2.4. Acidez no intercambiable. Hidrógeno en enlace covalente en la superficie de los minerales arcillosos de carga variable (Espinosa & Molina, 2015).

4.3. Encalado

El encalado consiste en la aplicación al suelo de sales básicas que neutralizan la acidez. Los materiales que se utilizan como alcalinizantes o correctivos de acidez son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio (Ca) y magnesio (Mg). Debido a su diferente

naturaleza química, estos materiales presentan una variable capacidad de neutralización (Espinosa & Molina, 2015).

Además, es una práctica agrícola importante en suelos ácidos para neutralizar la acidez; la adición de cal sube el pH, mejora la absorción y redistribución de N en la planta y libera el fósforo retenido en el suelo (Patiño, Puentes & Flores, 2019). Del mismo modo, Puentes & Menjivar (2017), encontraron que el incremento de pH mejora la disponibilidad de P en suelos.

4.3.1. Materiales encalantes

La roca caliza, calcárea o calcita está compuesta principalmente de carbonato de calcio ($CaCO_3$), óxido de calcio (cal viva), hidróxido de calcio (cal apagada). La cal dolomítica contiene carbonatos de calcio y magnesio, lo que la hace más atractiva que la cal calcítica debido a que la mayoría de los suelos ácidos son deficientes en magnesio. Óxido de magnesio, conocido también como Magox, y en su forma pura contiene 60% de Mg. magnesita ($MgCO_3$), escorias industriales (silicatos de Ca y Mg) y arcillas calcáreas (CIA, 2014).

Osorno y Osorno (2010) indican que un mal uso de cal puede llevar a no ver efectos o a sobreencalar. El sobre-encalamiento es la utilización de dosis mayores de cal de las necesarias, principalmente en oxisoles, ultisoles y andisoles, puede inducir: 1) Deficiencia de Zn, Mn, B y P y posiblemente de K al causar un desbalance de este elemento con Ca y Mg, 2) Reducción del rendimiento de los cultivos por afectarse funciones del suelo y de la planta, 3) Deterioro de la estructura, se forman agregados más pequeños que reducen las tasas de infiltración y pueden favorecer la erosión.

Además, poseen una muy baja solubilidad, lo cual sumada a los inconvenientes que existen para su incorporación al suelo luego del establecimiento de las plantas en el campo, por daño a las raíces y riesgo de la erosión, obliga a tener ciertos cuidados en su aplicación (Khalajabadi, 2008).

4.3.2. Calidad de los materiales del encalado

4.3.2.1. Pureza química: La pureza es una característica importante de los materiales de encalado que reconoce su composición química y los contaminantes presentes (arcilla, materia orgánica y otros minerales). La capacidad de neutralizar la acidez del suelo depende de la composición química y de la pureza del material. Para determinar la pureza se utiliza el criterio del equivalente químico (EQ) que es una medida del poder de neutralización de una cal en particular.

4.3.2.2. Tamaño de partículas: La fineza de las partículas individuales de la cal determina su velocidad de reacción. A medida que se reduce el tamaño de la partícula de cualquier material de encalado se aumenta el área o superficie de contacto.

4.3.2.3. Poder relativo de neutralización total: Es un parámetro que se obtiene multiplicando la eficiencia granulométrica por el equivalente químico y este producto se divide entre 100. Además, indica que porcentaje de cal, expresada por su equivalente químico (EQ), es capaz de reaccionar en un lapso de tiempo (Espinosa y Molina, 1999).

4.3.3. Beneficio del encalado en cafetales

Sadeghian Khalajabadi y Díaz Marín (2020), sostienen que el encalado eleva el pH, neutraliza el Al^{+3} y Mn^{+2}, proporciona Ca y Mg, aumenta la disponibilidad de fósforo (P) y molibdeno (Mo), favorece la mineralización de la MO, ayuda a la fijación simbiótica de nitrógeno (N), propicia la floculación de los coloides, estimula el crecimiento radical y, por ende, mejora el aprovechamiento por parte de las plantas del agua y de los nutrientes. En suelos de carga variable, carga dependiente del pH, el encalado incrementa la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), dando como resultado una mayor retención de bases intercambiables.

4.4. Fase reproductiva del cafetal

Durante la etapa reproductiva, al igual que en la fase de establecimiento del cultivo, se busca corregir los problemas de acidez del suelo (bajo pH y toxicidad de Al intercambiable) y aumentar la disponibilidad de algunos nutrientes mayores y menores, lo que favorece el establecimiento de microorganismos benéficos y mejora algunas propiedades del suelo (Duicela y Enríquez Calderón, 2014).

La cal se debe esparcir de manera uniforme, tanto sobre el área donde se encuentra las raíces en el momento de su aplicación, como sobre el espacio en el cual crecerán hasta el siguiente encalamiento (Duicela y Enríquez Calderón, 2014).

4.5. Fertilización foliar

Duicela y Enríquez Calderón (2014) indican que los cafetos mantienen su vitalidad a partir del intercambio de materia y energía con el ambiente, este proceso se llama nutrición. Los nutrimentos para las plantas, en sentido amplio, son: el agua, los elementos químicos del suelo, el oxígeno que forma parte del agua, el dióxido de carbono del aire y la energía lumínica del sol. En el interior de las células ocurren reacciones químicas que transforman la energía luminosa del sol y los nutrimentos, en compuestos químicos complejos que se almacenan en las raíces, tallos, ramas, hojas, flores y frutos. Este conjunto de reacciones se llama

metabolismo. Por lo tanto, la buena nutrición no solo depende de las condiciones del suelo, sino de la integración de todos los factores ambientales, genéticos y de manejo.

4.6. Funciones de los nutrimentos en los cafetos.

Los elementos químicos más importantes para una buena nutrición de los cafetos son: N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn y B; la detección de las deficiencias o de los excesos de los nutrimentos en los cafetales, por parte del productor, se basa en un control permanente; con la finalidad de disponer de información acerca de la situación nutricional para poder corregirlas oportunamente (Duicela & Enríquez Calderón, 2014).

Las funciones vitales que desempeñan los nutrimentos en los cafetos son:

- Nitrógeno (N) favorece el desarrollo foliar y la actividad fotosintética de los cafetos.
- Fósforo (P) interviene en la transferencia de energía; en el desarrollo de la raíz, formación del tallo y ramas; así como, en la floración.
- Potasio (K) favorece la formación y la calidad de los frutos; el balance hídrico; y proporciona resistencia a las enfermedades.
- Magnesio (Mg) es componente de la clorofila (color verde); por lo tanto, influye en el desarrollo foliar y la germinación de las semillas.
- Zinc (Zn) promueve la producción de hormonas/enzimas y favorece el crecimiento de la planta.
- Cobre (Cu) ayuda a la formación de la clorofila y cataliza varios procesos en las plantas.
- Hierro (Fe) favorece la formación de la clorofila.
- Calcio (Ca) interviene en la formación de proteínas, crecimiento de la semilla y maduración de los frutos.
- Azufre (S) contribuye a la formación de proteínas, clorofila, vitaminas y enzimas. Ayuda al desarrollo de las raíces y la producción de semillas.
- Manganeso (Mn) funciona como parte del sistema enzimático y activa importantes reacciones metabólicas, ayuda a la síntesis de clorofila, acelera la germinación y maduración.
- Boro (B) favorece el desarrollo de nuevas raíces y flores; así como, la fructificación (Abad, 2016).

4.7. Recopilación de algunas investigaciones sobre acidez del suelo

Zárate & Gamonal (2016), utilizó dos enmiendas sobre un suelo ácido y el desarrollo vegetatio de cafetales (*Coffea arabica* L.), en la provincia de Satipo (Perú), se elevó el pH de 4,4 a 5,1 con 2 t ha^{-1} de cal agrícola el Al^{+3} disminuyó desde 8,5 a 5,5 cmol(+) kg^{-1} de suelo y Al^{+3} + H^{+} de 74 a 45 %; en comparación a la cal dolomita se incrementó el pH 4,4 a 4,8 de t ha^{-1} y el Al^{+3} disminuyó desde 8,3 a 6,1 cmol(+) kg^{-1} de suelo y Al^{+3} + H^{+} intercambiable 74 a 58 % y también se mejoró la disponibilidad de Ca^{+2}, Mg^{+2} y K^{+} incrementándose de 1,5 a 4,1 cmol(+) kg^{-1} de suelo; 0,7 a 1,1 cmol (+) kg^{-1} de suelo y 0,6 a 1,2 cmol (+) kg^{-1} de suelo, respectivamente esto se debió a la aplicación de (200-45-60) N-P_2O_5-K_2O, se logró el incremento de la altura de 4 a 10 cm referente al testigo, además se obtuvo 5 t ha^{-1}, esto se logró en la primera cosecha que fue a los 3 años después de aplicar la enmienda y la fertilización correspondiente.

Calva & Espinoza (2017), 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;2,0;3,0;4,0;6,0 t ha^{-1}, por el método de incubación en los suelos de Orellana, los mejores resultados obtenidos fue con carbonato de calcio y cal dolomita con 1 y 1,5 t ha^{-1} se incrementó el pH del suelo de 5,2 a 7,2 y de 5,2 a 7,4 respectivamente; el Al^{+3} disminuyó significativamente de 0,38 cmol(+) kg^{-1} de suelo, a no detectado (ND) y Al^{+3} +H^{+} de 0,5 cmol (+) kg^{-1} de suelo, no detectado (ND) en un período de 45 días.

Rodríguez Sarango (2019), en una investigación, aplicó cal en función del contenido de aluminio intercambiable en un Ultisol y evaluó los siguientes tratamientos durante 90 días: T0= 0,0 meq Ca/100 g de suelo (Testigo); T1= 2,0 meq Ca/100 g suelo; T2= 2,5 meq Ca/100 g suelo, equivalente a 0,0 kg/ha; 5040 kg/ha; 6300 kg/ha de cal, como corresponde. Con la aplicación de las diferentes dosis de cal se presentaron cambios significativos, el pH se incrementó de 4,52 a 5,5 pasando de un rango de Muy Ácido a Ácido y el contenido de Al+3 disminuyó de 2,1 a 0,8 y 0,0 cmol (+) kg-1 de suelo respectivamente. La relación de cationes de Ca/Mg= 2,44; Mg/K= 1,71 y Ca+Mg/K= 5,9 se incrementó a Ca/Mg= 5,1; Mg/K= 2,4 y Ca+Mg/K= 14,7. La CIC pasó de 13,5 a 27,1 meq/100 g suelo. También se evidenció mayor desarrollo en los cafetos con aplicaciones de cal frente a los testigos.

4.8. Fenología del café

La fenología se refiere al desarrollo, diferenciación e inicio de formación de los órganos de las plantas. De acuerdo con Ramírez (2014), la floración permite identificar las épocas oportunas de fertilización, épocas de mayor susceptibilidad de los frutos ante eventos climáticos, caídas de hojas por desbalances nutricionales o por insectos.

5. Metodología

5.1. Área de estudio

La Hacienda "El Cristal" se encuentra ubicada en la Parroquia Malacatos, cantón Loja. Presenta las siguientes coordenadas: Norte: 700424 m, Sur: 9544493 m, Altitud: 2071 msnm Anexo 5.

El sector de estudio posee un clima temperado húmedo, temperatura media de 16 °C, con precipitaciones anuales de 1200 mm, suelo ácido (Ultisol), presenta pedregosidad baja, drenaje bueno.

5.2. Diseño experimental

El diseño experimental que se aplicó fue un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con tres tratamientos, correspondientes Tabla 1, 3 repeticiones por tratamiento. La unidad experimental corresponde a cada planta de café.

5.3. Modelo matemático del diseño experimental

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + +\varepsilon_{ij}$$

Dónde:

- Y_{ij}: Es la j-ésima observación del i-ésimo tratamiento.
- μ: Es la media general de las observaciones.
- τ_i: Es el efecto del i-ésimo tratamiento.
- β_j: Es el efecto del j-ésimo bloque.
- ε_{ij}: Error experimental.

5.4. Esquema del diseño experimental

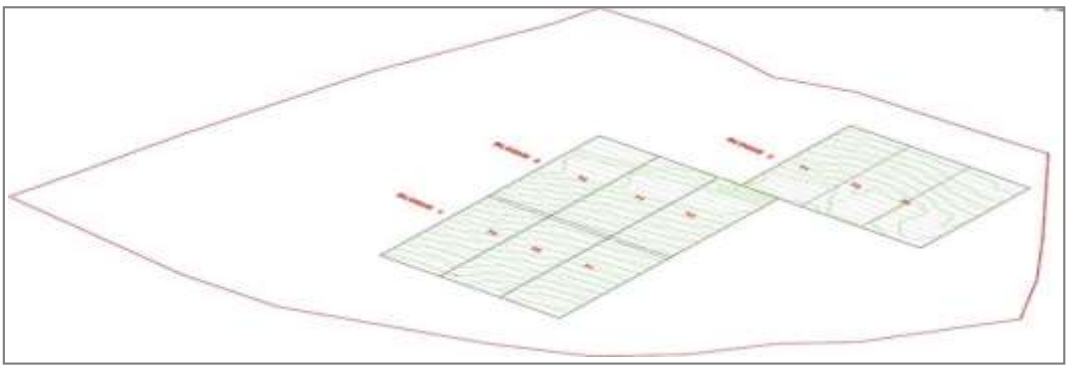


Figura 1 Diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con tres tratamientos y tres repeticiones (Rodríguez, 2019)

5.5. Manejo del experimento para el objetivo 1: Monitorear el pH, acidez intercambiable, bases intercambiables, CIC y disponibilidad de nutrientes en diferentes dosis de cal agrícola en el suelo, a la profundidad de la zona radicular del café.

Las dosis se aplicaron en base al diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con tres réplicas de acuerdo al siguiente Tabla 1.

Tabla 1. Factores aplicar en el experimento

Dosis	Cal agrícola
Ca_1 = 0,0 $cmol^{(+)}$ kg^{-1} + Fertilizante	Testigo
Ca_2 = 2 $cmol^{(+)}$ kg^{-1} + Fertilizante	5,0 t ha^{-1}
Ca_3 = 2,5 $cmol^{(+)}$ kg^{-1} + Fertilizante	6,3 t ha^{-1}

Para las etapas fisiológicas (inicial y vegetal) se utilizó la técnica al voleo en doble recorrido. Para el cálculo de la fertilización en la etapa inicial y vegetal se consideró los nutrientes disponibles en el suelo y los requerimientos del cultivo de N, P_2O_5, K_2O, S, Ca, Mg, B, la eficiencia de los fertilizantes y la relación de cationes del cafetal (Rodríguez, 2019).

El monitoreo se realizó en un período de 700– 800 días después de la aplicación de cal. Para determinar las características químicas del suelo, se tomaron submuestras a 25 cm de profundidad, en los alrededores de las plantas, se mezcló y se tomó parte de la muestra de suelo para el análisis. Con los resultados del análisis se realizó el monitoreo de pH, acidez intercambiable, bases intercambiables, CIC y la disponibilidad de nutrientes del suelo.

Para determinar el pH se utilizó el método potenciométrico, acidez intercambiable ($H^+ + Al^{+3}$) mediante titulación con NaOH 0,01 N en extractos con KCl 1 N (método de Day), bases intercambiables por Espectrofotometría de Absorción Atómica, CIC con acetato de amonio 1 N pH 7,0 y generación de OH- con formaldehído, y para la disponibilidad de nutrientes por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

En base al análisis del suelo y análisis químico de las hojas, se realizó un plan de fertilización, actividad de corrección de la nutrición de la planta. Para el cálculo de Ca, Mg y K, se realizó por relación de cationes, se comparó los valores de cationes mediantes rangos que se encuentran en la Tabla 2. Mientras que el N, P, S y micronutrientes se realizó por oferta y demanda. Siguiendo la recomendación de Luis Duicela para el cultivo de café en la etapa reproductiva.

Tabla 2. Rangos para la relación de cationes

Ca/Mg	2,6 -8	< 2,6 agregar Ca
Mg/K	7,5-15	< 7,5 agregar Mg
Ca+Mg/K	27,5-55	< 27,5 agregar Ca y Mg

Tabla 3. Requerimientos de ingredientes activos (k/ha)

Interpretación del análisis químico del suelo	Requerimientos de ingredientes Activo (k/ha)						
	N	P2O5	K2O	S	Ca	Mg	B
Bajo	200	60	150	150	340	15	10
Medio	100	40	50	50	150	10	5
Alto	50	20	20	0	0	0	0

5.6. Manejo del experimento para el objetivo 2: Evaluar la respuesta del cultivo del café en la fase reproductiva frente a la aplicación de diferentes dosis de cal.

Se midieron las siguientes variables:

- altura de la planta (AP): se midió desde el nivel del suelo hasta el ápice de la planta, empleando una regleta graduada.
- diámetro basal (DB): se utilizó un calibrador tipo “VERNIER”, a 5 cm del nivel del suelo.
- número total de hojas presentes por planta (THA): mediante el conteo del número total de hojas por planta del cafetal.

Los datos de las variables (altura, diámetro basal y número de hojas) se realizó el análisis de varianza (ADEVA) y la prueba de Tukey para las variables estadísticamente significativas, utilizando el software Infostat.

6. RESULTADOS

6.1. Variables dasométricas

6.1.1. Valores de variables dasométricas

Tabla 4. Valores de altura de planta, número de hojas y diámetro basal con 0,0; 5,0 y 6,3 t/ha de $CaCO_3$, durante el periodo de 0 a 75 días.

	CaCO3 (t/ha)								
	0	5	6,3	0	5	6,3	0	5	6,3
Días	Altura planta			Número de hojas			Diámetro basal		
	Cm								
30-abr	81,06	74,43	79,59	124,36	91,61	142,04	2,68	2,86	2,19
05-may	81,38	76,18	79,93	132,14	99,12	144,24	3,29	3,74	2,97
12-may	81,79	76,67	80,93	149,76	107,12	148,19	3,84	4,08	3,71
19-may	82,31	78,03	81,95	158,9	127,18	155,12	4,06	4,3	4,11
22-may	83,81	78,86	82,55	171,06	135,51	159,45	4,18	4,46	4,3
29-may	84,34	79,88	83,57	181,65	145,93	170,99	4,36	4,55	4,61
03-jun	84,48	80,91	84,66	195,18	156,98	180,63	4,5	4,73	4,71
12-jun	84,99	82,5	85,57	204,32	171,41	201,31	4,67	4,93	4,85
14-jul	85,78	83,09	87,86	214,22	243,01	220,85	4,82	5,26	5,06

En la tabla 4, se presenta los valores de altura de planta, número de hojas y diámetro basal. En algunas variables existe un incremento mayor al 50% durante los 75 días de registro: 83% y 75 % para altura de planta, 68 % y un decremento del 12,29 % número de hojas y 12 % y 34 % para diámetro basal en los tratamientos de 5 y 6,3 t ha^{-1} de $CaCO_3$ en su orden.

6.1.2. Altura de planta

En la Figura 2 Se presenta la regresión lineal para la variable altura de planta, tiene pendientes positivas el testigo con el tratamiento de 6,3 t ha^{-1} $CaCO_3$ y difieren con el tratamiento de 5,0 t ha^{-1} $CaCO_3$.

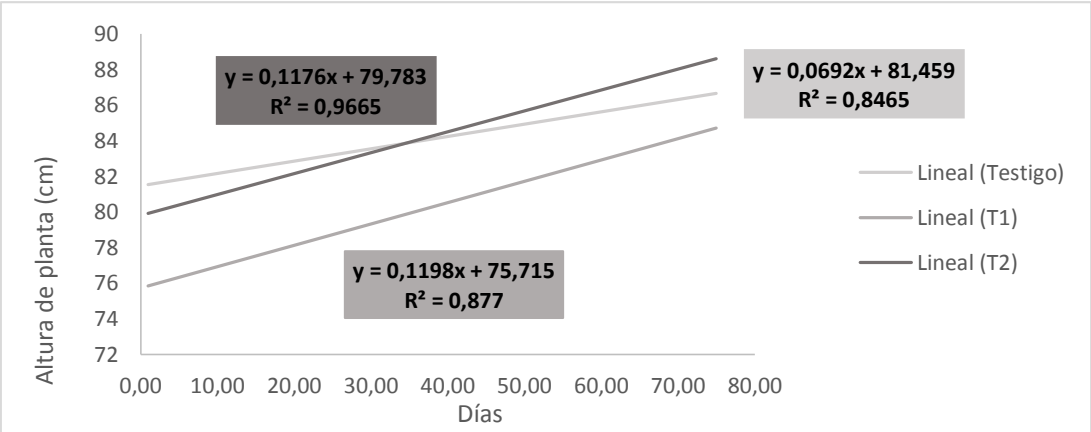


Figura 2. Regresión lineal en altura de la planta (cm)

6.1.3. Número de hojas

En la Figura 3 Se presenta la regresión lineal para la variable número de hojas, tiene pendientes positivas el testigo con el tratamiento de 6,3 t ha^{-1} $CaCO_3$ y difieren con el tratamiento de 5,0 t ha^{-1} $CaCO_3$.

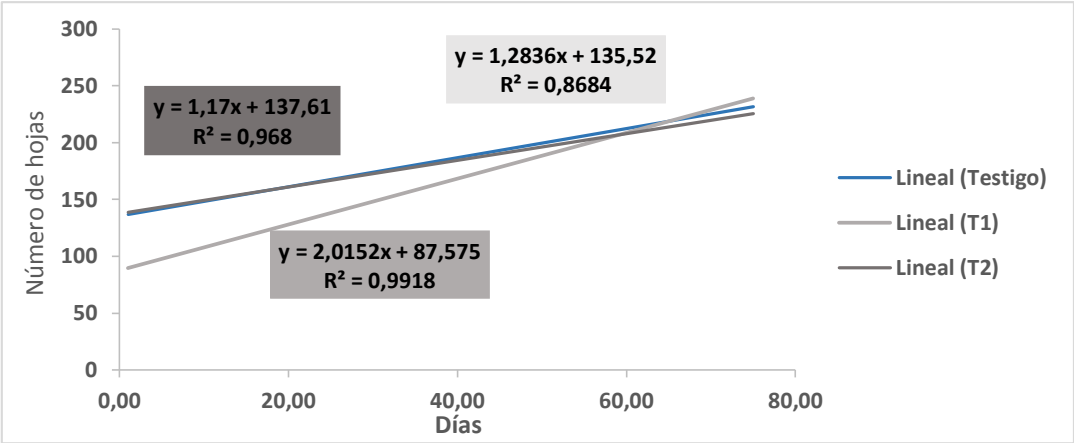


Figura 3. Regresión Lineal para número de hojas

6.1.4.Diámetro Basal

En la Figura 4 Se presenta la regresión lineal para la variable diámetro basal, tiene pendientes positivas el tratamiento de 5,0 t ha^{-1} $CaCO_3$ con el tratamiento de 6,3 t ha^{-1} $CaCO_3$ y difieren con el testigo.

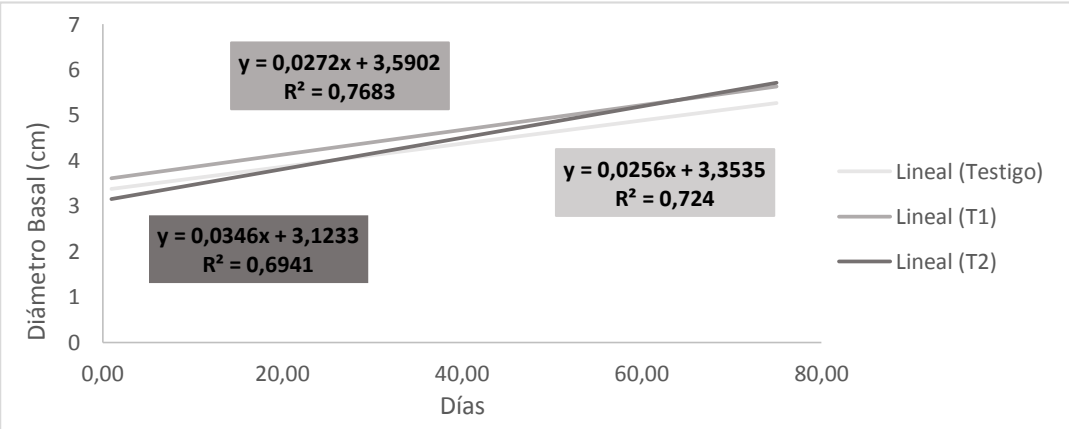


Figura 4 Regresión lineal para diámetro basal

6.1.5. Incremento de variables dasométricas

En la figura (A) existe una diferencia notoria para el T2 a comparación del T1 y testigo, (B) existe una diferencia notoria para el T1 a comparación del T2 y el testigo, (C) existe una diferencia notoria para T1 en altura a comparación del T2 y el testigo.

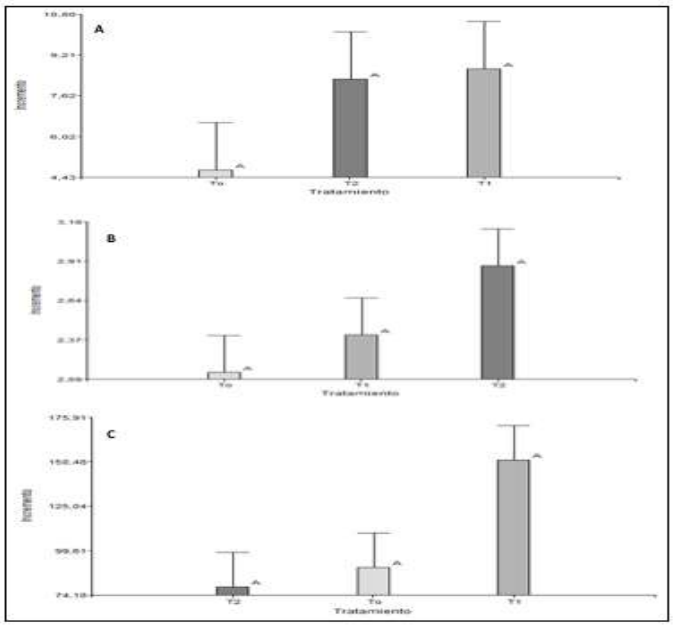


Figura 5. Incremento de la altura de la planta (A), diámetro basal (B) y número de hojas (C) con su respectivo tratamiento.

6.2.Evolución de la reacción del suelo, el aluminio y la acidez intercambiable en el experimento de campo.

Tabla 5. Evolución de los valores de pH, acidez y aluminio intercambiable del suelo, para los tratamientos de 0,0; 5,0 y 6,3 t/ha de $CaCO_3$ durante 700-800 días de monitoreo.

Días	pH 1:2.5 Suelo-agua	$Al^{+++} + H^{+}$ meq/100 ml suelo	Al^{+++}
	Testigo: 0,0 t/ha $CaCO_3$		
700	4,67 **Ac**	6,62 **A**	2,72 **T**
800	4,93 **Ac**	4,60 **A**	2,07 **T**
	5,0 t/ha $CaCO_3$		
700	4,64 **Ac**	8,07 **A**	6,40 **T**
800	4,99 **Ac**	4,50 **A**	5,00 **T**
	6,3 t/ha $CaCO_3$		
700	4,80 **Ac**	7,12 **A**	6,00 **T**
800	4,89 **Ac**	5,75 **A**	4,50 **T**

Interpretación: A= alto, Ac= ácido, B= bajo, T= tóxico

6.3. Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva, Bases cambiables, Saturación de Bases y Relación de cationes

Tabla 6. Evolución de la capacidad de intercambio catiónico efectiva, saturación de bases y relación de cationes para los tratamientos de 0,0; 5,0 y 6,3 t/ha de $CaCO_3$, a los 700-800 días de monitoreo

Días	Bases intercambiables cmol(+) kg^{-1}				Acidez intercambiable cmol(+) kg^{-1}		CIC cmol(+)/kg^{1}		% Saturación bases y Al^{+3}						% SB	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/k	
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	Al^{3+}	$Al^{+3}+H^{+1}$	CICE	CIC	SB	Ca	Mg	K	Na	Al					
	Testigo: 0,0 t/ha $CaCO_3$																		
0	1,90	0,80	0,50	0,10	2,00	6,60	5,30	6,6	3,00	28,0	12,0	7,0	2,0	30,0	48	2,40	1,60	5,90	*
800	1,47	0,56	0,30	0,05	2,07	4,60	4,45	7,0	2,30	16,7	10,2	5,3	1,0	62,0	38	2,63	1,96	6,76	
	5,0 t/ha $CaCO_3$																		
700	1,56	0,40	0,25	0,05	6,4	8,00	8,70	7,0	2,30	17,6	9,8	2,9	1,7	74,0	26	4,00	1,60	7,84	
800	1,50	0,25	0,10	0,22	5,0	4,50	7,07	21,0	2,07	18,1	10,1	3,5	2,4	71,0	29	6,00	2,50	17,50	
	6,3 t/ha $CaCO_3$																		
700	2,30	0,50	0,22	0,05	6,0	7,12	9,10	7,4	3,10	21,7	11,9	5,3	2,8	66,0	34	4,60	2,27	12,72	
800	2,53	0,47	0,20	0,19	4,5	5,75	7,89	16,6	3,39	23,1	12,5	5,7	3,4	57,0	43	5,38	2,35	15,00	

*Datos tomados (Villamagua, 2021).

Con la aplicación 0,0; 5,0 y 6,3 t ha^{-1} de $CaCO_3$, la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) a los 0 días presentó un valor de 5,3 cmol (+) $kg^{-}1$ para el testigo, a los 700 días después presentó un valor de 8,7 y 9,1 cmol (+) kg^{-1} para los tratamientos de 5,0 y 6,3 t/ha $CaCO_3$; a los 800 días se obtuvo 4,45; 7,07 y 7,89. Las bases intercambiables de todos los tratamientos se encuentran en rango bajo. El porcentaje de saturación de bases incrementó de 34 a 43 %, pasando del rango bajo a medio en el tratamiento con 6,3 t/ha de $CaCO_3$, mientras que en el testigo y con 5,0 t/ha de $CaCO_3$ se encuentra en el rango bajo. La relación de cationes Ca/Mg (2,63; 6,0 y 5,38) se encuentra en rango óptimo, mientras que los valores de Mg/K (1,96; 2,5 y 2,35), (Ca+Mg)/K (6,76; 17,5 y 15) son valores bien bajos para el cultivo de café.

6.4. Disponibilidad de Nutrientes

Tabla 7. Evolución de los nutrientes disponibles en el suelo para los tratamientos de 0,0; 5,0 y 6,3 t/ha de $CaCO_3$, a los 700-800 días de monitoreo.

Dosis de cal agrícola (t ha^{-1})		Mg kg^{-1}			Cmol (+) kg^{-1}			mg kg^{-1}				
	Días	N	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
Testigo 0,0 t/ha $CaCO_3$	700	131 **A**	30 **A**	16,6 **M**	0,27 **M**	1,42 **M**	0,53 **M**	3,9 **M**	6,0 **A**	993 **A**	14,1 **M**	0,65**A**
5,0		123 **A**	34 **A**	25,4 **A**	0,21 **M**	1,53 **M**	0,38 **M**	3,7 **M**	6,0 **A**	599 **A**	8,5 **M**	0,67 **A**
6,3		124 **A**	22 **A**	14,4 **M**	0,19 **B**	2,25 **M**	0,46 **M**	2,7 **B**	5,8 **A**	816 **A**	13,1 **M**	0,56 **A**
Dosis de cal agrícola (t ha^{-1})		mg kg^{-1}			Cmol l (+) kg^{-1}			mg kg^{-1}				
	Días	N	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
Testigo0,0 t/ha $CaCO_3$	800	131 **A**	30 **A**	16 **M**	0,25 **M**	1,42 **M**	0,53 **M**	3,5 **M**	6,0 **A**	987 **A**	14 **M**	0,60**A**
5,0		171 **A**	17 **M**	11 **B**	0,10 **B**	1,46 **M**	0,22 **B**	5,7 **M**	5,2 **A**	874 **A**	8,9 **M**	0,32 **B**
6,3		177 **A**	33 **A**	12 **B**	0,19 **B**	2,21 **M**	0,41 **M**	3,6 **M**	6,3 **A**	1198ª	34,5 **A**	0,16 **B**

Interpretación: A= alto, M= medio, B= bajo

Los contenidos de N y P disponible en los tratamientos que recibieron la dosificación de CaCO3 se mantienen en rango alto. El Ca y Mg permanecen en el rango medio al inicio y al final de la evaluación. El Cu y el Fe disponibles permanecen en el rango alto. Con la aplicación del CaCO3 los contenidos de K, B y S bajan.

El N se encuentra en el rango alto por la presencia de la materia orgánica y su mineralización rápida; además, la mayor disponibilidad de P, Cu, Fe está asociada a la aplicación de $CaCO_3$. Mientras que el bajo contenido de S, K y B fueron absorbidos por la planta lo que se puede corroborar en el análisis foliar Anexo 4. El Ca se mantiene en rango medio debido a las enmiendas calcáreas aplicadas. La aplicación de un fertilizante y cal ayudó a que los elementos: Mg, Zn, Mn se mantengan en el rango medio.

6.5. Disponibilidad de nutrientes a nivel foliar

Tabla 8. Avance de los nutrientes disponibles en las hojas después de la aplicación de los tratamientos de 0,0; 5,0 y 6,3 t/ha de $CaCO_3$ a los 800 días

Identificación				%					mg kg^{-1}					
		Días	N	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B	
Testigo:	0,0 t/ha	**800**												
$CaCO_3$			1,86 **B**	0,12 **O**	0,11 **O**	1,46 **B**	0,87 **O**	0,24 **O**	8,49 **B**	7,00 **O**	83,9 **O**	127,9 **A**	18,21 **B**	
5,0			1,91 **B**	0,13 **O**	0,12 **O**	1,51 **B**	0,88 **O**	0,24 **O**	7,49 **B**	7,49 **O**	87,4 **O**	123,4 **A**	39,50 **O**	
6,3			1,89 **B**	0,14 **O**	0,11 **O**	1,36 **B**	0,99 **O**	0,24 **O**	8,50 **B**	7,00 **O**	124 **O**	139,4 **A**	39,80 **O**	

Interpretación: A=alto, B= bajo, O=optimo

Gracias a la aplicación de $CaCO_3$ en el suelo los contenidos de P, S, Ca, Mg, Cu y Fe de las hojas del cafetal se encuentran en óptimas condiciones para el cultivo. Mientras que N, K y Zn se encuentran en el rango bajo. Y el elemento B se encuentra en rango bajo para el testigo y para los tratamiento de 5,0 y 6,3 t/ha se encuentra en óptimas condiciones.

6.6. Plan de fertilización edáfica

Tabla 9. Propuesta de fertilización

Elemento	kg/ha	g/planta	No. Plantas	kg/ensayo		Factor	kg/ensayo	g/planta
N	100	20	1620	32,4	N	1	32,4	20,0
P	17,5	3	1620	6	P2O5	2,29	13,0	8,0
K	125	25	1620	41	K20	1,2	48,6	30,0
Mg	54	11	1620	17,5	MgO	1	17,5	10,8
Zn	3	0,6	1620	0,97	ZnO	1,25	1,2	0,8
B	5	1,0	1620	1,6	B	1	1,6	1,0
S	25	5	1620	8,1	S	1	8,1	5,0

Tabla 10. Fertilizantes recomendados para el cultivo de café

Fertilizantes	kg/ensayo	g/planta	sacos
Urea	59,4	37	1
18-46-0	28,2	17	0,6
ZnSO4	5,3	3	0,1
Boro	14,7	9	0,3
Sulfato de potasio	48,60	30	1,0
Kieserita	360,00	72	7,2

El contenido de fertilizantes en kg/ensayo, g/planta y sacos, se realizó en base a los requerimientos del cultivo de café basados en la evaluación del analisis de suelo, Tabla 3.

Tabla 11. Plan de fertilización para mejorar el crecimiento del cultivo de café.

Año 2022	Primera dosis (Abril)		Segunda dosis (Mayo)	Tercera dosis (Junio)
Fertilizantes	kg/ensayo	g/planta		
Urea	19,8	12	19,8	19,8
18-46-0	28,2	14	-	-
ZnSO4	5,3	3	-	-
Boro	14,7	7	-	-
Sulfato de potasio	48,6	24	-	-
Kieserita	120,0	180	120	120
Total	236,6	240	139,8	139,8

En la tabla 11, se observa todos los fertilizantes que necesita el cultivo de café con las dosis exactas para mejorar el crecimiento, rendimiento y calidad del cafetal.

7. Discusión

7.1. Evolución de la reacción del suelo, pH, acidez y aluminio intercambiable

El pH de la etapa inicial del cultivo de café en el experimento se mantuvo en un rango ácido. A los 300 días se observó un incremento significativo de ácido (pH: 4,9) a ligeramente ácido (pH: 6,3) en los tratamientos de 5,0 y 6,3 t/ha, en el testigo se mantiene el pH el rango de 4,5 y 4,7. El aluminio intercambiable disminuyó de 2,1 cmol kg/ha a ND (no detectado) y el Al^{3+} H^{+} de 3,5 cmol kg/ha a ND (no detectable) (Guayanay, 2021)

Mientras que en la etapa reproductiva el pH se mantiene en el rango ácido; el testigo, los tratamientos de 5,0 y 6,3 t ha^{-1} $CaCO_3$ presentaron un pH de 4,93, 4,99 y 4,89 (equivalente ácido), respectivamente. A los 800 días después de la aplicación de la cal los valores de pH se mantienen en el rango ácido. Es decir que el efecto de la cal agrícola en este período se perdió. Esto se debe a que están influenciados por factores ambientales como: altas precipitaciones de temporada en los meses de marzo y abril, y sobre todo al material parental producto de la descomposición de la roca metamórfica ácida (Filita) compuesta de SiO2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MgO, CaO, Na_2O, K_2O y CO_2, presente en la zona de estudio. La hidrolisis del Al del material parental y la mineralización de la materia orgánica generó iones H, lo que incidió en la acidez de los suelos.

También la descomposición de la materia orgánica influye en la acidez, concuerda con Castellanos (2014), al descomponerse la materia orgánica por la acción de microorganismos del suelo, se libera dióxido de carbono que se transforma fácilmente en bicarbonato, esta reacción libera hidrogeno que acidifica el suelo.

Espinosa y Molina (2015), explican que la materia orgánica del suelo se descompone con la ayuda de microorganismos produciendo un constante suplemento de CO_2 que fácilmente se transforma a ácido cárbonico, combinandose con las bases intercambiables del suelo (K,Ca,Mg) y estos compuestos se lavan del perfil llevando de esta formal al suelo a condiciones que desarrollan acidez.

Además, Según Morgado y Padilla (2020) reportan que el pH óptimo para café es de 5,5 a 6 aunque la planta se encuentra en suelos con pH hasta 5. Un pH entre 4,5 es restrictivo y cuando es inferior a 4,5 es muy limitante, requieren atención.

La acidez intercambiable (Al^{+3} + H^{+}) y el aluminio intercambiable (Al^{+3}) 700 días después de la aplicación de la cal agrícola presentaron valores muy altos: entre 6,6; 8,07 y 7,12 meq /100g; mientras que a los 800 días después de la aplicación de 5,0 y 6,3 t ha^{-1} $CaCO_3$ dichos valores disminuyeron a 4,6; 4,50 y 5,75 meq/ 100 ml suelo manteniéndose en un rango muy tóxico (>1,5 cmol (+)/kg). Esta disminución probablemente es por la aplicación de cal adicional en las dosis señaladas anteriormente. Según el estudio de Calva y Espinoza (2017) reportan que con la aplicación de carbonato de calcio en dosis de 0, 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3, 4 y 6 t ha^{-1} se obtuvo valores de 0,5; 0,49; 0,40; 0,35; 0,29; 0,18; 0,1 y 0 meq/100 gr suelo respectivamete y para aluminio intercambiable obtuvo valores de 0,35; 0,27; 0,23; 0,15; 0,12; 0,1; 0,05 y 0 meq/10 gr suelo, los valores son similares, sin embargo se observa la reducción en el contenido de acidez y aluminio intercambiable.

La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) presentó valores bajos entre 4,45; 7,00 y 7,89 meq/100 g suelo a los 800 días después de la aplicación de 0,0; 5,0 y 6,3 t ha^{-1} $CaCO_3$, manteniéndose en el rango de bajo. La capacidad de intercambio catiónico efectiva se encuentra con valores bajos debido al aumento de la acidez. Y como existe el incremento de acidez, promueve la presencia de más Al^{+3} concuerda con Espinosa y Molina (2015), de que los iones de Al^{+3} desplazados de los minerales arcillosos por otros cationes se hidrolizan para formar complejos monoméricos y poliméricos; y cada una de estas reacciones liberan H^{+} y baja el pH incrementando acidez con presencia de Al^{+3}. El incremento de la carga negativa ha sido neutralizado con el Al^{+3} (Sadeghian Khalajabadi,2016).

Existió una alteración por parte de los propietarios en el que probablemente aplicaron esta dosificación (0,243; 1,62 y 2,04 t ha^{-1} de $CaCO_3$), a los tratamientos de 0,0; 5,0 y 6,3 t ha^{-1} de $CaCO_3$ respectivamente.

7.2. Evolución de variables Dasométricas

Con la aplicación de $CaCO_3$ en el crecimiento de los cafetales existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para las variables: altura de planta, diámetro basal y número de hojas. En altura de planta el tratamiento de 5,0 t ha^{-1} $CaCO_3$ presentó una mayor tasa de crecimiento de 0,11 cm/día con un incremento de 8,66 cm mientras que, el testigo tiene una tasa de crecimiento de 0,06 cm/día con un incremento de 4,72 cm. López y Urbina (2018) reportan que con la aplicación de 500 kg ha^{-1} de cal y fertilización (N-P 30-28 gr por planta) en el cultivo de café (*Coffea arabica* L) se muestran diferencias estadísticas significativas en altura de planta, en donde se tienen tasas de crecimiento que superan los 34,1 y 16,8 cm respectivamente.

Para diámetro basal los tratamientos de 5,0 y 6,3 t ha^{-1} $CaCO_3$ presentaron una tasa de crecimiento de 0,032 y 0,038 cm/día con un incremento de 2,4 y 2,87; el testigo obtuvo una tasa de crecimiento de 0,028 cm/día con un incremento de 2,14 cm. En relación con lo que menciona, López y Urbina (2018) al aplicar 500 kg ha^{-1} de cal, para la variable diámetro de tallo, el tratamiento con la aplicación de 500 kg ha^{-1} de cal supera en crecimiento de 3,41 cm al testigo que tiene un valor no mayor de 1,06 cm. Asi mismo en una investigación, desarrollada en el municipio de Andes, se demostró que plantas de café de un año tuvieron mayor diámetro de tallo y ramas largas al aplicar 60 gr por planta de cal (Sadeghian Khalajabadi, 2016)

En cuanto al número de hojas el tratamiento de 5,0 t ha^{-1} $CaCO_3$ presentó una mayor tasa de crecimiento de 2,01 hojas/día con un incremento de 151,4. Mientras que el testigo obtuvo una tasa de crecimiento de 1,19 hojas/día con un incremento de 89,86. Los resultados obtenidos ayudan a reiterar que la aplicación de cal si ayuda al crecimiento de la planta siempre y cuando se utilice la dosificación correcta de cal.

7.3. Evolución de de la capacidad de intercambio catiónico efectiva, saturación de bases y relación de cationes.

La disminución de la CICE de 5,3 a 4,45; 8,7 a 7,07 y 9,1 a 7,89, sin embargo, permanece en el rango bajo en todos los tratamientos. El decrecimiento de la carga eléctrica se debe que la misma ha sido neutralizada probablemente con la presencia de iones H^+ y Al^{+3}, debido a la acidez intercambiable.

En la saturación de bases el testigo presentó valores muy bajos en Ca y Mg, Na permanece en bajo, mientras que K se encuentra en rango moderadamente alto y Al pasan del rango alto a muy alto. En el tratamiento de 5,0 t ha^{-1} $CaCO_3$ presentó valores muy bajos para Ca,

moderadamente bajo para Mg y Na, K pasó de moderadamente bajo a medio y Al se mantiene en rango muy alto. En el tratamiento de 6,3 t ha^{-1} $CaCO_3$, Ca se encuentra muy bajo, Mg en el rango medio, K moderadamente alto, Na pasó de moderadamente bajo a medio. Al se mantiene en rango muy alto. En relación con lo que menciona Sadeghian y Díaz (2020), al aplicar enmiendas calcáreas con cinco dosis de cal (0; 1,25; 2,50; 5,00 y 10 g dm^{-3}) los tratamientos afectaron diferencialmente a los suelos en la saturación de bases y relación de cationes.

Para suma de bases (SB) en el testigo, tratamiento de 5,0 y 6,3 t ha^{-1} $CaCO_3$ se obtienen valores muy bajos (2,3; 2,07; 3,39); valores que presentan menos posibilidad de retener cationes en el suelo.

El % de saturación de bases (%SB) el testigo y el tratamiento de 5,0 t ha^{-1} $CaCO_3$ presentó valores bajos (38,0; 29,0) y el tratamiento de 6,3 t ha^{-1} $CaCO_3$ presentó 43 %, se lo considera en el rango medio. Ese mínimo incremento se debe a la aplicación del fertilizante. Espinosa y Molina (2015), sugieren que el % de saturación de bases en el suelo sea al menos de 60 % para llegar a una buena producción de café.

A pesar de que el testigo fue alterado con 0,243 t ha^{-1} de cal y fertilizante por planta evaluada, sus bases intercambiables disminuyeron, presenta 33.8 % para SB se lo considera bajo y la relación de cationes se encuentra en el rango bajo para el cultivo.

7.4. Evolución de la disponibilidad de nutrientes.

Existe un rango alto en la disponibilidad de los siguientes nutrientes: N, P, Cu, Fe en todos los tratamientos. En el rango medio Ca, Mg, Zn, Mn; la evolución de los nutrientes mencionados se debe a la aplicación de $CaCO_3$ y un fertilizante (N: 20kg/ha; P: 6 kg/ha; K: 17 kg/ha; Mg: 3 kg/ha; S: 4 kg/ha y B: 1kg/ha). Los contenidos disponibles de S y B disminuyeron de alto a bajo mientras que K disminuyó de medio a bajo, a pesar de que se obtuvo disminución de los nutrientes mencionados, no afectó el crecimiento de las plantas de café.

Astorga y Barrera (2018), realizaron un estudio en cultivo de café con 104 reportes de suelos analizados para determinar el nivel de fertilidad de los suelos, mencionaron que el K es absorbido por la planta de forma iónica (K^+) ayuda a la fructificación, maduración y calidad de los frutos. Por esa razón el K disminuyó de medio a bajo porque el cafetal se encontraba en etapa de fructificación.

Los nutrientes que presentaron baja disponibilidad (B,S) es porque la planta absorbió lo que necesitaba en la etapa reproductiva, concuerda con Sadeghian, (2021), al iniciar la fase

reproductiva la planta aumenta su velocidad de crecimiento y con ello se incrementa la demanda de nutrientes.

Finalmente, para que los cafetales se encuentran en buenas condiciones en cuanto a los nutrientes disponibles es necesario realizar monitoreos anuales, para que el suelo esté en optimas condiciones y asi obtener buen rendimiento, calidad en el grano de café.

7.5. Disponibilidad de nutrientes a nivel foliar

Los nutrientes que presentan baja disponibilidad (N, K, Zn) en el testigo y en los tratamientos de 5 y 6,3 t ha^{-1} $CaCO_3$, se debe a que el cafetal ya estaba formando el fruto, por lo que estos nutrientes favorecieron al crecimiento, llenado del fruto y maduración. Concuerda con Marín Garza (2020), mediante estudios, mostraron que durante los primeros 90 días posteriores a la floración se acumula en las hojas el 50 % de los requerimientos totales de los nutrimentos y que una vez que las hojas finalizan su expansión se convierten en potenciales exportadoras de nutrientes hacia órganos de demanda como frutos y con la consecuente disminución de estos nutrientes en la hoja. Por esa razón existe la baja disponibilidad de N, K y Zn.

Además, Sadeghian y Salamanca (2015), observaron que en plantaciones de café durante el tiempo comprendido entre la floración y cosecha de frutos, ocurrieron cambios en las concentraciones foliares de Mn, Fe, B, Zn, Cu, estos cambios podrían atribuirse a las fluctuaciones de estos elementos en la solución del suelo, afectadas por la lluvia. Tiene relación con el elemento B del testigo que se encuentra en condiciones bajas.

Según Marschner (1993) la disponibilidad del Zn en la solución se afecta por el pH del suelo, ya sea por valores altos o bajos. Castro Tanzi, (2017), realizó un estudio sobre el manejo intensivo de fertilizantes en ultisoles en zonas cultivados de café con tendencia a pH ácidos en donde los suelos muestreados con aplicación de fertilizantes presentaron una asociación entre el tejido foliar con la disponibilidad de K, Zn, Ca, Mg en el suelo. Esto demuestra de que los nutrientes foliares si estan asociados con los nutrientes del suelo.

Gracias a la fertilización edáfica (N: 20kg/ha; P: 6 kg/ha; K: 17 kg/ha; Mg: 3 kg/ha; S: 4 kg/ha y B: 1kg/ha), los elementos disponibles foliares: P, S, Ca, Mg, Cu, Fe se mantienen en rango óptimo para el cultivo de café.

7.6. Plan de fertilización edáfica

El plan de fertilización se realizó de acuerdo a las necesidades del cultivo para ello es necesario evitar errores en la operación de la fertilización ya que en gran medida la producción un déficit de nutrientes inhiben el crecimiento vegetal (Moreno Pérez, 2011)

Si el contenido de nutrientes requerido por la planta es bajo, indica que las dosis de fertilización de macro y micronutrientes se deben programar anualmente. Los nutrimentos pueden proporcionarse al aplicar diferentes fertilizantes (Tandazo, 2019).

8. Conclusiones

- Con la aplicación de 0,0, 5,0 y 6,3 t ha^{-1} $CaCO_3$, a los 800 días después de la aplicación, el pH se encuentra en el rango de ácido. La acidez intercambiable y aluminio intercambiable se encuentran en el rango tóxico, la capacidad de intercambio catiónico (CICE) en el rango bajo; el porcentaje de saturación de bases se incrementó de 34 % a 43 %. El contenido de los elementos disponibles (N, P, Cu, Mn y Fe) evolucionó al rango alto, a excepción de Ca, Mg, Zn que permanecieron en el rango medio, S y K pasaron de medio a bajo mientras que B pasó de alto a bajo.

- La aplicación de cal favoreció al crecimiento del cultivo en las variables de altura de planta (8,66 cm), diámetro basal (2,87 cm) y número de hojas (151,4 cm) mientras que el testigo presentó los valores más bajos para las variables antes mencionadas.

- Con el análisis foliar se pudo ver los elementos disponibles, los que presentan baja disponibilidad (N, K, Zn) y los que se encuentra en óptimas condiciones para el cultivo de café (P,S,Ca,Mg,Cu,Fe).
- Propuesta de aplicación de nutrientes para el cultivo de café en crecimiento, aplicar los siguientes elementos con las siguientes cantidades: N 100; P 17,5; K 125; Mg 54; Zn 3; B 5 y S 25 kg/ha.

9. Recomendaciones

- Al realizar fertilización en el suelo es recomendable que vaya acompañado por una fertilización foliar para mejor la calidad del cultivo y del fruto.

- Es necesario aplicar cal con frecuencia cada cierto tiempo ya que la cal no queda permanente en el suelo, de acuerdo a los análisis de suelo hay que realizar una aplicación de cal dolomita (3052,2 Kg cal dolomita) para todo el ensayo.

- Evitar que exista escasez de nutrientes en los suelos aptos para cultivos para que no se vea afectada la planta.

- Las prácticas de manejo en el sector de estudio como limpieza de malezas y poda de árboles son indispensables para el desarrollo de los cafetales. Evitando la competencia de nutrientes.

- De acuerdo a las deficiencias nutricionales foliares, es recomendable aplicar Terranova Complex (N,K, Zn), acompañado de un micro nutriente quelatado EDTA para mejorar el grado de asimilación por los tejidos vegetales.

10.Bibliografía

Abad, V. (2016). *EVALUACIÓN DE CUATRO FUENTES Y TRES DOSIS DE FERTILIZANTE FOLIAR SOBRE EL DESARROLLO VEGETATIVO DE LAS PLÁNTULAS DE CAFÉ ROBUSTA (Coffea robusta L.) A NIVEL DE VIVERO. .* Guayaquil .

ANACAFÉ. (2015). Importancia del muestreo de suelos en el cultivo de café. *El Cafetal (La revista del caficultor)*, 4.

Anecafe. (2020). Producción de café. *Anecafe*, 2.

Astorga, & Barrera, C. (2018). Fragilidad de los suelos en la Amazonía ecuatoriana y potenciales alternativas agroforestales para el manejo sostenible. *Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana, Nº2* , 82-90.

Calva, C., & Espinoza, J. (2017). Effect of four liming materials on acidity control of a soil from Loreto, Orellana.

Castellanos, J. (2014). Acidez del Suelo y su corrección. *Intagri*, 4 p.

Castro Tanzi, S. (2017). El calcio es un nutriente limitante en cafetales bajo manejo intensivo de fertilizantes en ultisoles. *scielo*, 109-117.

CIA. (2014). Acidez de suelos y uso de enmiendas. *CIA (Centro de Investigaviones Agronómicas, Facultad de Ciencias Agrolimentarias)*, 3-4.

Duicela , & Enríquez Calderón, G. (2014). Guía técnica para la producción y poscosecha del café robusta. *COFENAC, SICA*, 259p.

Duicela Guambi, L. A. (2018). Gestión del conocimiento e innovación organizacional para reactivar la cadena productiva del café robusta, Ecuador. *ESPACIENCIA*, 62.

Espinosa , J., & Molina, E. (2015). *Acidez y encalado de los suelos (Soil acidity and liming).* Quito-Ecuador: Primera Edición.

Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos.* Quito-Ecuador: Primera Edición.

FCD. (enero de 2011). El retorno al café. *Fondo Ecuatoriano de Cooperación para el Desarrollo*.

Guayanay, M. (2021). Efecto del encalado sobre la acides del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del cafeto (Coffea arabica L.) en Pueblo Nuevo, cantón Loja, Ecuador. *Latindex*, 166.

Guerrero, M. . (2016). Rendimiento de café grano seco en el Ecuador 2016. *Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acucultura y Pesca. Dirección de Análisis y procesamiento de información.*, 10.

López Báez, w., & Urbina Hernández, L. (2018). Efectos del encalado en suelo ácido cultivado con café (Coffea arabica L.) en la reserva de la biósfera el Triunfo,Chiapas, México. *Agroproductividad*, 55-60.

MAG. (2017). 6425 hectáreas de café son renovadas en la provincia de Loja. *Ministerio de Agricultura y Ganadería*.

MAGAP. (2016). Proyecto de Reactivación de la Caficultura Ecuatoriana. *Ministerio de Agricultura y Ganadería*.

Marín Garza, T. (2020). Bioactive composition of coffee leaves during an annual cycle. *Scielo*.

Marschner. (1993). Zinc in soils and plants. *Developments in Plant and Soil Sciences*, 59-77.

Moreno Pérez, R. (2011). Fertilización y correción edáfica de suelos agrícolas con productos orgánicos. *Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*, 30.

Morgado, R., & Padilla, G. (2020). *DIAGNÓSTICO, PRODUCTIVIDAD Y AMBIENTE EN CAFETALES Estudios regionales y de caso.* México.

Osorno H., H., & Osorno B., L. (2010). Determinación de los requerimientos de cal. *Suelos Ecuatoriales*, 31.

Piedrahíta, O. (2009). Acidez del suelo. *Magnesios Heliconia S.A.*, 5.

Ponce Vaca, L. A. (2018). El sistema agroforestal cafetalero. Su importancia para la seguridad agrolimentaria y nutricional en Ecuador. *CFORES (Revista Cubana De Ciencias Forestales)*, 124.

Puentes, R., & Menjivar. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3) .

Ramírez, V. (2014). La fenología del café, una herramienta para apoyar la toma de decisiones. *Cenicafé*.

Rodríguez Sarango, 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 la Hacienda El Cristal del cantón Loja (Tesis de grado).

Rosas Patiño, G., Puentes Páramo, Y., & Menjivar Flores, J. (2019). Liming effect on macronutrient intake for cacao (Theobroma cacao L.) in the Colombian Amazon. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 05-16.

Sadeghian Khalajabadi, S. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. *Cenicafé*, 32.

Sadeghian Khalajabadi, S. (2016). La acidez del suelo una limitante común para la producción del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 6.

Sadeghian Khalajabadi, S., & Díaz Marín, C. (2020). Corrección de la acidez del suelo: Alteraciones Químicas del Suelo. *Cenicafé*, 8.

Sadeghian Khalajabadi, S., & Salamanca Jiménez, A. (2015). Micronutrientes en frutos y hojas de café. *Cenicafé*, 73-87.

Sadeghian, S. (2021). Nutrición de cafetales . *cenicafe*, 101.

Sánchez Torres, J. (2012). Acidez de los suelos y su manejo . *CENIBANANO*, 1.

soil-acidity. (2019). La acidez del suelo . *SMART Fertilizer Software*.

Tandazo, K. (2019). Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café de los sectores Chaguarpamba y Lozumbre. 50.

Varela, M. (2012). Elaboración de café (pergamino y tostado para exportación). *FLACSO-MIPF (Centro de Investigaciones Económicas y de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa)*, 6.

Villamagua, M. A., Guayanay Castillo, M. G., & Rodríguez Sarango, R. d. (2021). Efecto del encalado sobre la acidez del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento del cafeto (Coffea arabica L.) en Pueblo Nuevo, cantón Loja, Ecuador. . *Bosques Latitud Cero*, 172.

Zárate , & Gamonal. (2016). Estudio comparativo de la aplicación de dos enmiendas calcáreas sobre un suelo acido y el desarrollo vegetativo (coffea arabica L.), en la provincia de Satipo.

11. Anexos

Anexo 1. Floración del café

Bloque 1

Tratamiento 1

Pre-antesis	Indiferenciado	Diferenciado	Latencia	Flor

Tratamiento 2

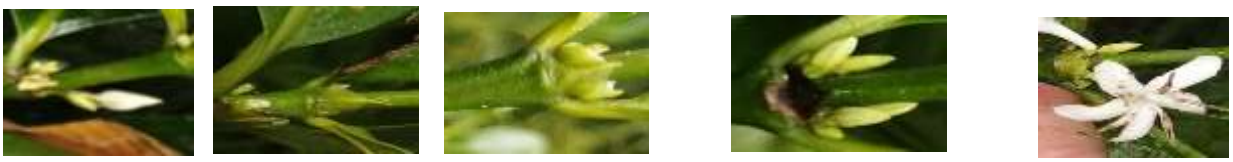
Pre-antesis	Indiferenciado	Diferenciado	Latencia	Flor

Bloque 2

Tratamiento 1

Pre-antesis	Indiferenciado	Diferenciado	Latencia	Flor

Tratamiento 2



Pre-antesis	Indiferenciado	Diferenciado	Latencia	Flor

Bloque 3

Tratamiento 1

Pre-antesis	Indiferenciado	Diferenciado	Latencia	Flor

Tratamiento 2

Pre-antesis	Indiferenciado	Diferenciado	Latencia	Flor

Anexo 2. Monitoreo de variables dasométricas

Bloque 1

Testigo	Tratamiento 1	Tratamiento 2

Bloque 2

Testigo	Tratamiento 1	Tratamiento 2

Bloque 3

Testigo	Tratamiento 1	Tratamiento 2

Anexo 3. Análisis de suelo (antes y después)

MC-LASPA-2201-01

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
Tfs. (02) 3007284 / (02)2504240
Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec

INFORME DE ENSAYO No: 21-0210

NOMBRE DEL CLIENTE: Briceño Aguilar Thalia Anahy
PETICIONARIO: Briceño Aguilar Thalia Anahy
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Briceño Aguilar Thalia Anahy
DIRECCIÓN: Manuel Zambrano Entre Malvinas y Cuba

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 24/03/2021
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 11:38
FECHA DE ANÁLISIS: 29/03/2021
FECHA DE EMISIÓN: 01/04/2021
ANALISIS SOLICITADO: S3 + ACI.INTER. + CIC

Análisis			N		P		S		B		K		Ca		Mg		Zn		Cu		Fe		Mn		Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO		CO.*	Textura (%)*				IDENTIFICACIÓN
Unidad	PH		ppm		ppm		ppm		ppm		meq/100g		meq/100g		meq/100g		ppm		ppm		ppm		ppm					meq/100g	%		%	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	
21-0839	4,67	M.Ac	131	A	30	A	16,6	M	0,65	A	0,27	M	1,43	M	0,53	M	3,9	M	6,0	A	993	A	14,1	M	2,68	1,96	7,22	2,22	8,0	A						Muestra 1 Tratamiento (T0)
21-0840	4,64	M.Ac	123	A	34	A	25,4	A	0,67	A	0,21	M	1,53	M	0,38	M	3,7	M	6,0	A	599	A	8,5	M	4,03	1,81	9,10	2,12	7,5	A						Muestra 2 Tratamiento (T1)
21-0841	4,80	M.Ac	124	A	22	A	14,7	M	0,56	A	0,19	B	2,25	M	0,46	M	2,7	B	5,8	A	959	A	13,1	M	4,89	2,42	14,26	2,90	7,6	A						Muestra 3 Tratamiento (T2)

Análisis	Al+H		Al*		Na *		C.E. *		N. Total*		N-NO3 *		K H2O*		P H2O*		Cl*	
Unidad	meq/100g						dS/m		%		ppm		ppm		ppm		ppm	
21-0839	6,62	A																
21-0840	8,07	A																
21-0841	7,12	A																

OBSERVACIONES:

*** Ensayos no solicitados por el cliente**

METODOLOGIA USADA			
pH =	Suelo-Agua (1:2,5)	P K Cu Mg =	Olsen Modificado
L.F =	Fosfato de Calcio	Ca Fe Mn Zn =	Olsen Modificado
		N =	Carvalhito

INTERPRETACION					
pH				Elemento	
Ac = Acido	N = Neutro			B = Bajo	
LAc = Liger. Acido	LAl = Liger. Alcalino			M = Medio	
PN = Proc. Neutro	Al = Alcalino			A = Alto	
RC = Requieren Cal				T = Tóxico (Boro)	

ABREVIATURAS	
C.E =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA	
C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Dicromato de Potasio
Al+H =	Titulación NaOH

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

Firmado electrónicamente por:
JOSE ALONSO LUCERO MALATAY

LABORATORISTA

Firmado electrónicamente por:
IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA

RESPONSABLE DE LABORATORIO

MC-LASPA-2201-01

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
Tlfs. (02) 3007284 / (02)2504240
Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec

INFORME DE ENSAYO No: 21-0210

NOMBRE DEL CLIENTE:	Briceño Aguilar Thalia Anahy	**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:**	24/03/2021
PETICIONARIO:	Briceño Aguilar Thalia Anahy	**HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:**	11:38
EMPRESA/INSTITUCIÓN:	Briceño Aguilar Thalia Anahy	**FECHA DE ANÁLISIS:**	29/03/2021
DIRECCIÓN:	Manuel Zambrano Entre Malvinas y Cuba	**FECHA DE EMISIÓN:**	01/04/2021
		ANALISIS SOLICITADO:	**CIC**

N° muestra	K	Ca	Mg	Na	Suma de bases	Saturación de bases	CIC	Identificación de la muestra
	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo	(%)	meq/100 g suelo	
21-0839	0,3	1,47	0,56	0,05	2,4	33,8	7,0	Muestra 1 Tratamiento (TO)
21-0840	0,245	1,56	0,4	0,05	2,3	32,0	7,0	Muestra 2 Tratamiento (T1)
21-0841	0,22	2,3	0,5	0,05	3,1	41,7	7,4	Muestra 3 Tratamiento (T2)

RESPONSABLES DEL INFORME

Firmado electrónicamente por:
JOSE ALONSO LUCERO MALATAY

LABORATORISTA

Firmado electrónicamente por:
IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Provincia:	Loja	**FECHA DE INGRESO:**	29-06-2021
Cantón:	Loja	**FECHA DE EGRESO:**	02-08-2021
Parroquia:	Malacatos	**RESPONSABLE:**	Sra. Thalia Anahy Bricefio Aguilar
Sector:	Pueblo Nuevo		
Tesis:	"Evolución de la Acidez del Suelo en la fase reproductiva (*Coffea arábica L.*) en la hacienda El Cristal Pueblo Nuevo, cantón Loja"		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Cam.	pH		CIC	Al^{+++}+ H^{+}	Al^{+++}
		1:2.5 Suelo-agua	1:2.5 KCl (1N)	meq/100ml	meq/100ml suelo	
2720	B1T0	4.96	3,97	22,4	3,60	2,50
2721	B1T1	4.71	3,91	20,0	4,80	3,00
2722	B1T2	4.80	3,89	28,8	4,00	2,30
2723	B2T0	4.99	4,01	20,0	3,30	1,75
2724	B2T1	4.72	3,89	20,4	5,80	4,50
2725	B2T2	4.76	3,92	23,3	5,75	3,35
2726	B3T0	4.68	3,82	15,1	5,10	2,95
2727	B3T1	4.98	4,01	17,8	4,50	2,90
2728	B3T2	4.68	3,89	18,2	6,55	4,50

1. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Cam.	pH		CIC	Al^{+++}+ H^{+}	Al^{+++}
		1:2.5 Suelo-agua	1:2.5 KCl (1N)	meq/100ml	meq/100ml suelo	
2720	B1T0	Muy Ácido	Muy Ácido	Medio	Tóxico	Tóxico
2721	B1T1	Muy Ácido	Muy Ácido	Medio	Tóxico	Tóxico
2722	B1T2	Muy Ácido	Muy Ácido	Medio	Tóxico	Tóxico
2723	B2T0	Muy Ácido	Muy Ácido	Medio	Tóxico	Tóxico
2724	B2T1	Muy Ácido	Muy Ácido	Medio	Tóxico	Tóxico
2725	B2T2	Muy Ácido	Muy Ácido	Medio	Tóxico	Tóxico
2726	B3T0	Muy Ácido	Muy Ácido	Bajo	Tóxico	Tóxico
2727	B3T1	Muy Ácido	Muy Ácido	Bajo	Tóxico	Tóxico
2728	B3T2	Muy Ácido	Muy Ácido	Medio	Tóxico	Tóxico

OMAR AUGUSTO OJEDA OCHOA

Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Ciudad Universitaria "Guillermo Falconí Espinosa" Casilla letra "S"
Laboratorio.suelos@unl.edu.ec
Teléfono: 2547 – 252 Ext. 112

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
Tlfs. (02) 3007284 / (02)2504240
Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec

INFORME DE ENSAYO No: 21-0960

NOMBRE DEL CLIENTE: Ortega Jumbo Numan Orlidan
PETICIONARIO: Ortega Jumbo Numan Orlidan
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Ortega Jumbo Numan Orlidan
DIRECCIÓN: Loja, Pinda, s/n

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 07/12/2021
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 15:45
FECHA DE ANÁLISIS: 13/12/2021
FECHA DE EMISIÓN: 17/12/2021
ANALISIS SOLICITADO: S2 + CIC

Análisis	pH		N		P		S		B		K		Ca		Mg		Zn		Cu		Fe		Mn		Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Bases *	MO *	CO.	Textura (%) *				IDENTIFICACIÓN
Unidad			ppm		ppm		ppm		ppm		meq/100g		meq/100g		meq/100g		ppm		ppm		ppm		ppm					meq/100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	
21-3450	4,99	M Ac	171	A	17	M	11	B	0,32	B	0,10	B	1,46	M	0,22	B	5,7	M	5,2	A	874	A	8,9	M	6,78	2,11	16,44	1,78							Suelo 1 (T1)
21-3451	4,89	M Ac	177	A	33	A	12	B	0,16	B	0,19	B	2,21	M	0,41	M	3,6	M	6,3	A	1198	A	34,5	A	5,44	2,11	13,55	2,80							Suelo 2 (T2)

Análisis	Al+H		Al		Na *		C.E. *		N. Total*	*	K H2O*	P H2O*	Cl*		IDENTIFICACION
Unidad	meq/100g						dS/m		%	ppm	ppm	ppm	ppm		
21-3450	4,50	M	5	T											Suelo 1 (T1)
21-3451	5,75	M	4,5	T											Suelo 2 (T2)

OBSERVACIONES:

*** Ensayos no solicitados por el cliente**

METODOLOGIA USADA				
pH =	Suelo: Agua (1:2,5)	P K Ca Mg =	Olsen Modificado
S,B =	Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn =	Olsen Modificado
		B =	Curcumina

INTERPRETACION					
pH				Elemento	
Ac = Acido	N =	Neutro		B =	Bajo
LAc = Liger. Acido	LAl =	Lige. Alcalino		M =	Medio
PN = Prac. Neutro	Al =	Alcalino		A =	Alto
RC = Requieren Cal				T =	Tóxico (Boro)

ABREVIATURAS	
C.E =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA	
C.E. =	Pasta Saturada
M.O. =	Dicromato de Potasion
Al+H =	Titulación NaOH

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

Firmado electrónicamente por:
JOSE ALONSO LUCERO MALATAY
LABORATORISTA

Firmado electrónicamente por:
IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

MC-LASPA-2201-01

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
Tlfs. (02) 3007284 / (02)2504240

INFORME DE ENSAYO No: 21-0960

NOMBRE DEL CLIENTE: Ortega Jumbo Numan Orlidan
PETICIONARIO: Ortega Jumbo Numan Orlidan
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Ortega Jumbo Numan Orlidan
DIRECCIÓN: Loja, Pinda, s/n

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 07/12/2021
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 15:45
FECHA DE ANÁLISIS: 13/12/2021
FECHA DE EMISIÓN: 17/12/2021
ANALISIS SOLICITADO: CIC

N° muestra	K	Ca	Mg	Na	Suma de bases	Saturación de bases	CIC	Identificación de la muestra
	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo	(%)	meq/100 g suelo	
21-3450	0,10	1,50	0,25	0,22	2,07	34,1	6,08	Suelo 1 (T1)
21-3451	0,20	2,23	0,47	0,19	3,09	44,7	6,92	Suelo 2 (T2)

RESPONSABLES DEL INFORME

Firmado electrónicamente por:
JOSE ALONSO LUCERO MALATAY
LABORATORISTA

Firmado electrónicamente por:
IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 4. Análisis foliar

AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO02
		Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS FOLIAR	Hoja 1 de 1

Informe N°: LN-SFA-E21-1044
Fecha emisión Informe: 19/07/2021

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante[1]: Thalia Briceño Aguilar

Dirección[1]: ----

Teléfono[1]: 0996555996 – 2574334
Correo Electrónico[1]: thalibri3@gmail.com

Provincia[1]: Loja **Cantón[1]:** Loja

N° Orden de Trabajo: 11-2021-219
N° Factura/Documento: 012-001-0964

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra[1]: Foliar	**Conservación de la muestra:** Lugar fresco y seco	
Cultivo[1]: ----		
Provincia[1]: Loja	**Coordenadas[1]:**	**X:** N700424 m
Cantón[1]: Loja		**Y:** S9544493 m
Parroquia[1]: Cristal		**Altitud:** 2071 msnm
Muestreado por[1]: ----		
Fecha de muestreo[1]: ----	**Fecha de inicio de análisis:** 06-07-2021	
Fecha de recepción de la muestra: 06-07-2021	**Fecha de finalización de análisis:** 19-07-2021	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA[1]	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-21-1069	TD	Cenizas	Gravimétrico PEE/SFA/42	%	4,6
		Materia orgánica	Gravimétrico PEE/SFA/42	%	95,4
		Nitrógeno	Dumas PEE/SFA/60	%	1,86
		Fósforo	Colorimétrico PEE/SFA/37	%	0,12
		Potasio	Absorción atómica PEE/SFA/38	%	1,46
		Calcio	Absorción atómica PEE/SFA/38	%	0,87
		Magnesio	Absorción atómica PEE/SFA/38	%	0,24
		Hierro	Absorción atómica PEE/SFA/39	mg/kg	83,94
		Manganeso	Absorción atómica PEE/SFA/39	mg/kg	127,91
		Cobre	Absorción atómica PEE/SFA/39	mg/kg	7,00
		Zinc	Absorción atómica PEE/SFA/39	mg/kg	8,49
		Boro	Colorimétrico PEE/SFA/40	mg/kg	38,21
		Azufre	Colorimétrico PEE/SFA/41	%	0,11

Analizado por: Katty Pastás, Pablo Atapuma

AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO02 Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS FOLIAR	Hoja 1 de 1

Informe N°: LN-SFA-E21-1045
Fecha emisión Informe: 19/07/2021

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante[1]: Thalia Briceño Aguilar

Dirección[1]: ----

Teléfono[1]: 0996555996 – 2574334
Correo Electrónico[1]: thalibri3@gmail.com

Provincia[1]: Loja **Cantón[1]:** Loja

N° Orden de Trabajo: 11-2021-219
N° Factura/Documento: 012-001-0964

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra[1]: Foliar	**Conservación de la muestra:** Lugar fresco y seco	
Cultivo[1]: ----		
Provincia[1]: Loja	**Coordenadas[1]:**	**X:** N700424 m
Cantón[1]: Loja		**Y:** S9544493 m
Parroquia[1]: Cristal		**Altitud:** 2071 msnm
Muestreado por[1]: ----		
Fecha de muestreo[1]: ----	**Fecha de inicio de análisis:** 06-07-2021	
Fecha de recepción de la muestra: 06-07-2021	**Fecha de finalización de análisis:** 19-07-2021	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA[1]	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-21-1070	T1	Cenizas	Gravimétrico PEE/SFA/42	%	4,8
		Materia orgánica	Gravimétrico PEE/SFA/42	%	95,2
		Nitrógeno	Dumas PEE/SFA/60	%	1,91
		Fósforo	Colorimétrico PEE/SFA/37	%	0,13
		Potasio	Absorción atómica PEE/SFA/38	%	1,51
		Calcio	Absorción atómica PEE/SFA/38	%	0,88
		Magnesio	Absorción atómica PEE/SFA/38	%	0,24
		Hierro	Absorción atómica PEE/SFA/39	mg/kg	87,44
		Manganeso	Absorción atómica PEE/SFA/39	mg/kg	123,41
		Cobre	Absorción atómica PEE/SFA/39	mg/kg	7,49
		Zinc	Absorción atómica PEE/SFA/39	mg/kg	7,49
		Boro	Colorimétrico PEE/SFA/40	mg/kg	39,52
		Azufre	Colorimétrico PEE/SFA/41	%	0,12

Analizado por: Katty Pastás, Pablo Atapuma

AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO02
		Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS FOLIAR	Hoja 1 de 1

Informe N°: LN-SFA-E21-1046
Fecha emisión Informe: 19/07/2021

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante[1]: Thalia Briceño Aguilar

Dirección[1]: ----

Teléfono[1]: 0996555996 – 2574334
Correo Electrónico[1]: thalibri3@gmail.com
N° Orden de Trabajo: 11-2021-219
N° Factura/Documento: 012-001-0964

Provincia[1]: Loja **Cantón[1]:** Loja

DATOS DE LA MUESTRA:

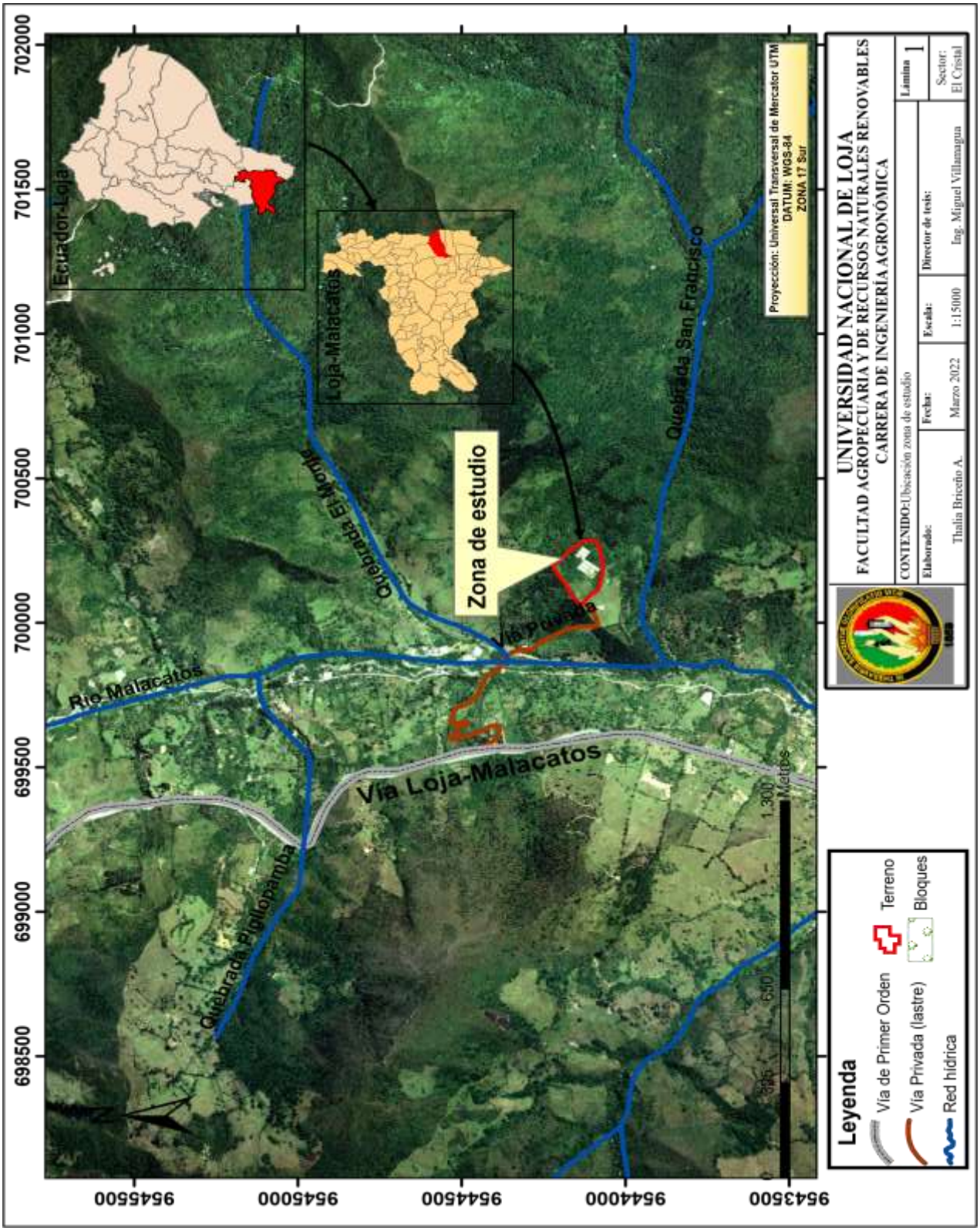
Tipo de muestra[1]: Foliar	**Conservación de la muestra:** Lugar fresco y seco	
Cultivo[1]: ----		
Provincia[1]: Loja	**Coordenadas[1]:**	**X:** N700424 m
Cantón[1]: Loja		**Y:** S9544493 m
Parroquia[1]: Cristal		**Altitud:** 2071 msnm
Muestreado por[1]: ----		
Fecha de muestreo[1]: ----	**Fecha de inicio de análisis:** 06-07-2021	
Fecha de recepción de la muestra: 06-07-2021	**Fecha de finalización de análisis:** 19-07-2021	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

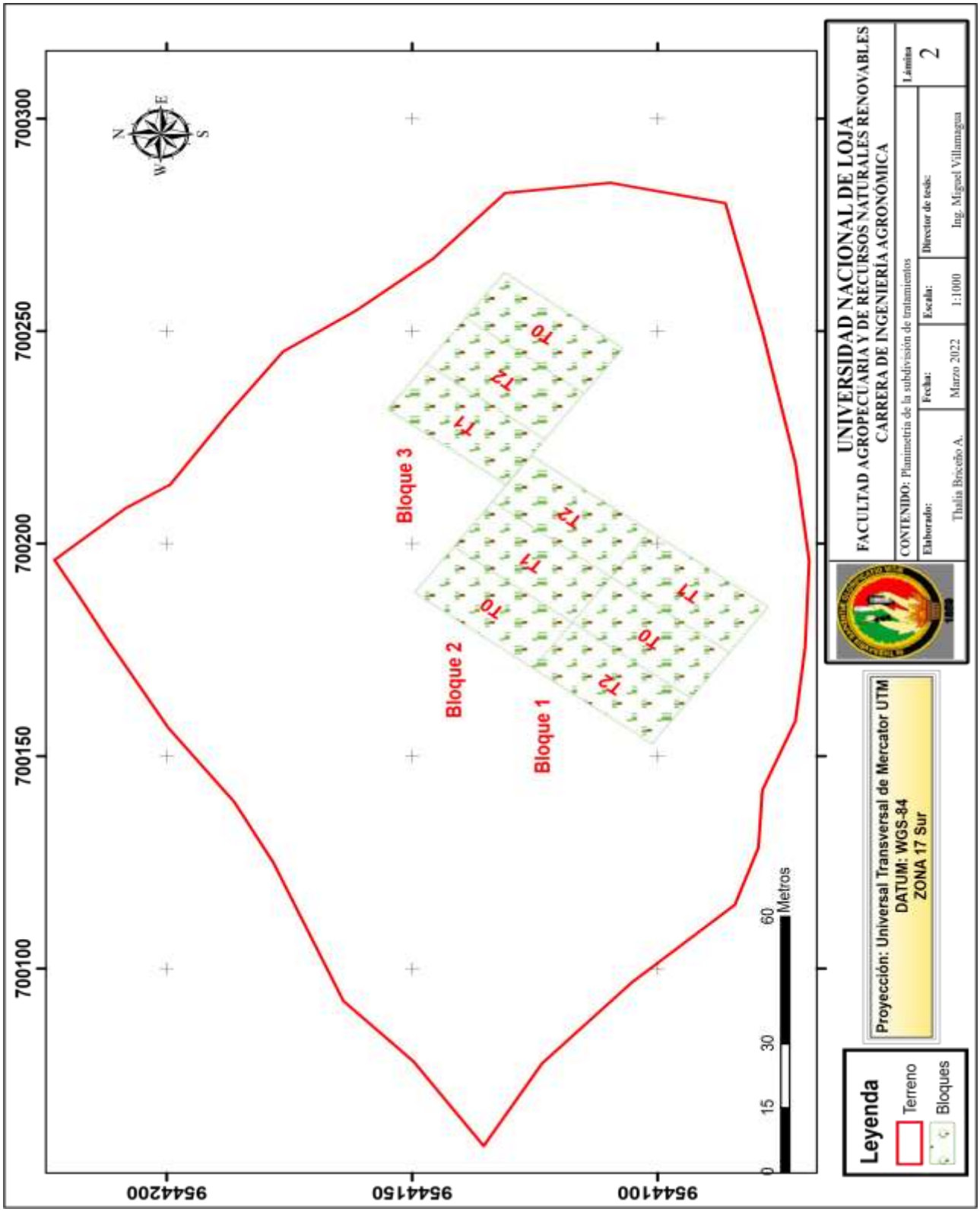
CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA[1]	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-21-1071	T2	Cenizas	Gravimétrico PEE/SFA/42	%	4,8
		Materia orgánica	Gravimétrico PEE/SFA/42	%	95,2
		Nitrógeno	Dumas PEE/SFA/60	%	1,89
		Fósforo	Colorimétrico PEE/SFA/37	%	0,14
		Potasio	Absorción atómica PEE/SFA/38	%	1,36
		Calcio	Absorción atómica PEE/SFA/38	%	0,99
		Magnesio	Absorción atómica PEE/SFA/38	%	0,24
		Hierro	Absorción atómica PEE/SFA/39	mg/kg	124,45
		Manganeso	Absorción atómica PEE/SFA/39	mg/kg	139,44
		Cobre	Absorción atómica PEE/SFA/39	mg/kg	7,00
		Zinc	Absorción atómica PEE/SFA/39	mg/kg	8,50
		Boro	Colorimétrico PEE/SFA/40	mg/kg	39,81
		Azufre	Colorimétrico PEE/SFA/41	%	0,13

Analizado por: Katty Pastás, Pablo Atapuma

Anexo 5. Ubicación del lugar de estudio



Anexo 6. Planimetría del lugar de estudio



Anexo 7. Laboratorio

Secado de muestras de suelo.	Agitador de muestras de suelo, 400 revoluciones por 5 minutos.	Obtención de pH	Obtención de Al+H

Anexo 8. Muestreo de suelo y hojas.

Primer muestreo de suelo	Segundo muestreo de suelo	Muestreo foliar

Anexo 9. Certificación del tribunal de grado

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Una vez cumplida la reunión del tribunal de calificación del trabajo final de tesis titulado: "Evolución de la acidez del suelo en la fase reproductiva (*Coffea arabica* L.), en la Hacienda El Cristal, Pueblo Nuevo, cantón Loja" de la autoría de la señora Thalia Anahy Briceño Aguilar, egresada de la carrera de Ingeniería Agronómica.

En tal virtud, nos permitimos certificar que, en el trabajo final consolidado de investigación, se ha incorporado las sugerencias efectuadas por los miembros del tribunal y está acorde con los requerimientos de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, por tal motivo se procede a la aprobación y calificación del trabajo de Tesis de Grado, y se autoriza continuar con los trámites pertinentes.

Loja, 16 de junio del 2022

Ing. Klever Chamba

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dra. Marlene Molina

VOCAL

Ing. Freddy Tinoco

VOCAL

Anexo 10. Certificado del resumen en inglés

Formar

wei - LOJA Nº 001250

Yo, Freddy P. Castillo H., profesor de wei ENGLISH INSTITUTE;

Certifico:

Que tengo el conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés y que las traducciones de los siguientes:

RESUMEN DE TESIS DEL TEMA:

"Evolución de la acidez del suelo en la fase reproductiva (Coffea arábica L.), en la hacienda El Cristal, Pueblo Nuevo, cantón Loja"

para: BRICEÑO AGUILAR THALIA ANAHY

es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender, sin haber cambiado, aumentado o disminuido su sentido en ninguna línea o párrafo del mismo.

Firmado en Loja al vigésimo día del mes de junio de 2022

FORMAR CÍA. LTDA.
LOJA - ECUADOR

wei
ENGLISH INSTITUTE
DIRECCIÓN ACADEMICA

Elaborado por: FC

CENTRO DE CAPACITACIÓN PROFESIONAL

Segundo Cueva Celi 03 - 04 y Clodoveo Carrión / 07 - 2573489 - 2579934 - 0991037032