



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**EVOLUCIÓN DE LA ACIDEZ EN UN ULTISOL A LA APLICACIÓN DE CAL Y
RESPUESTA EN LA FASE INICIAL DEL CULTIVO DEL CAFÉ (*Coffea arabica L.*), EN
PUEBLO NUEVO DEL CANTÓN LOJA.**

*Tesis de Grado Previa a la
obtención del Título de
Ingeniera Agrícola.*

Rosa del Cisne Rodríguez Sarango.

AUTORA

M.Sc. Miguel Ángel Villamagua.

DIRECTOR

Loja – Ecuador

2019

CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TESIS

M.Sc. Miguel Ángel Villamagua.

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de investigación titulado **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; de la autoría de la señorita egresada Rosa del Cisne Rodríguez Sarango, previo a la obtención de Ingeniera 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, 29 de agosto del 2019



M.Sc. Miguel Ángel Villamagua.

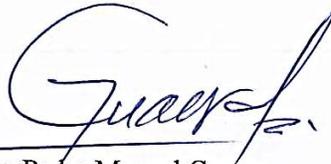
DIRECTOR

CERTIFICACIÓN

El Tribunal Calificador de la tesis, **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**, de autoría de la señorita, **Rosa del Cisne Rodríguez Sarango**, egresada de la Carrera de Ingeniería Agrícola, certificamos que se ha incorporado al trabajo final de tesis, las sugerencias respectivas. Por lo que autorizamos la impresión y publicación.

Loja, octubre del 2019

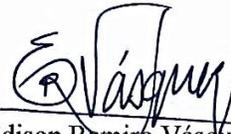
Atentamente,



M.Sc. Pedro Manuel Guaya
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



M.Sc. Omar Augusto Ojeda
VOCAL DEL TRIBUNAL



Ph.D. Edison Ramiro Vásquez
VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTORÍA

Yo, **Rosa del Cisne Rodríguez Sarango**, declaro ser autora 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: 

Autora: Rosa del Cisne Rodríguez Sarango.

C.I.: 1104226244

Fecha: Loja, 16 de octubre del 2019

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, Rosa del Cisne Rodríguez Sarango, declaro ser autora de la tesis titulada **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**, como requisito para optar al grado de INGENIERO AGRÍCOLA, autorizó al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo 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 RDI, 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 de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los dieciséis días del octubre del dos mil diecinueve, firma el autor.

Firma: 

Autora: Rosa del Cisne Rodríguez Sarango.

C.I.: 1104226244

Dirección: Loja – Barrio Turunuma Bajo

Correo Electrónico: rosa_cisrodriguez@hotmail.com

Celular: 0986657220

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: M.Sc. Miguel Ángel Villamagua

Tribunal de Grado: M.Sc. Pedro Manuel Guaya.

M.Sc. Omar Augusto Ojeda

Ph.D. Edison Ramiro Vásquez.

AGRADECIMIENTO

De manera muy especial M.Sc. Miguel Ángel Villamagua, Director de la presente Investigación, por ofrecerme su confianza y la posibilidad de realizar este trabajo bajo su dirección, por su apoyo e infinita paciencia, y en especial por sus continuas dosis de optimismo, de igual manera al Ing. Carlos Valarezo por sus valiosos conocimientos y guiarme hasta la culminación del trabajo investigado.

Al Ph.D. Max Enrique Encalada Córdova, Director del Centro de Investigaciones por su apoyo en el trascurso del proyecto de investigación.

Al personal del Laboratorio de Suelos, Agua y Bromatología y Laboratorio de Topografía por su ayuda valiosa, en todo el desarrollo de la investigación.

Al Dr. Gustavo Samaniego, propietario de la hacienda Cristal, por la colaboración y apertura para la realización del trabajo de investigación.

Mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la Carrera de Ingeniería Agrícola, a toda la Planta Docente y Administrativa, por haberme brindado la formación moral, ética y profesional.

Rosa

DEDICATORIA

De todo corazón el presente proyecto de investigación se lo quiero dedicar de una manera muy especial a Dios por ser el que me ha iluminado dándome la fortaleza e inteligencia para luchar ante los problemas y dificultades que se me han presentado en el diario vivir.

A mis Padres: Raúl y Maricita, fuente inagotable de lucha, perseverancia, honradez y amor, ejemplo infinito de vida y humildad, pilares fundamentales en mi vida, que dando lo mejor de sí, 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 y todo lo que soy hoy en día se los debo a ustedes Que Dios Los Bendiga por todo el amor que me han dado.

A mis hermanos Paola, Melania, Cristhian, sobrinos y más familiares por estar siempre a mi lado, conté siempre con su 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.

Rosa

Contenido

CERTIFICACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL	iii
AUTORÍA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
Contenido.....	viii
Anexos	ix
Resumen.....	xi
1. Introducción.....	1
2. Revisión de literatura.....	4
2.1. Sistemas agroforestales.....	4
2.2. Origen de la acidez del suelo	4
2.3. Clasificación de la acidez	6
2.4. Causas de la acidez	6
2.5. Fuentes de la acidez del suelo.....	8
2.6. Aluminio Intercambiable	9
2.7. Fitotoxicidad del aluminio en la planta.....	9
2.8. Toxicidad del Aluminio	10
2.9. Reacción de Resultados	10
2.10. Propiedades químicas del suelo.....	11
2.11. Desarrollo vegetativo del café.....	12
2.12. Fertilización de cafetales	12
2.13. Encalado	14

2.14.	Duración del efecto de la cal	16
2.15.	Investigaciones sobre acidez del suelo.....	17
3.	Materiales y métodos.....	19
3.1.	Descripción de la zona de estudio	19
3.2.	Materiales y equipos.....	20
3.3.	Metodología.....	21
4.	Resultados y Discusión.....	23
4.1.	Reacción del suelo	23
4.1.1.	Método de incubación.....	23
4.1.2.	Monitoreo de las parcelas demostrativas	26
4.1.2.	Bases intercambiables, y disponibilidad de Ca y Mg	29
4.1.3.	Variables dasométricas	32
5.	Conclusiones.....	36
6.	Recomendaciones	37
7.	Bibliografía.....	38
8.	Anexos	43

Anexos

Anexo 1 .Cuadrados medios y p-valor para el pH_{H_2O} en la prueba de incubación a las diferentes horas.....	43
Anexo 2 .Cuadrados medios del p- valor del Aluminio Intercambiable (Al^{3+} cmol (+) kg^{-1}), en las pruebas de Incubación a las diferentes horas.....	43
Anexo 3 .Cuadrados medios de p – valor para el Acidez Intercambiable ($Al^{3+} + H^+$) cmol (+) kg^{-1}), en las pruebas de Incubación a las diferentes horas.....	44

Anexo 4 .Cuadrados medios y p-valor para el pH en el suelo a diferentes días de la evaluación.	44
Anexo 5 .Cuadrados medios del p- valor del Aluminio Intercambiable (Al^{3+} cmol (+) kg^{-1}), a diferentes días de la evaluación.	45
Anexo 6 .Cuadrados medios del p- valor del Acidez Intercambiable ($Al^{3+} + H^{+}$ cmol (+) kg^{-1}), a diferentes días de la evaluación	45
Anexo 7 . Fertilizantes.	46
Anexo 8. Composición química de los fertilizantes utilizados para la fertilización.....	46
Anexo 9 .Tríptico divulgativo para el día de campo.....	47
Anexo 10 . Planificación del evento de discusión de resultados	49
Anexo 11 .Aplicación de la cal más fertilizantes.....	51
Anexo 12 .Monitoreo de pH , A^{+3} y $A^{+3} + H^{+}$	51
Anexo 13 .Monitoreo de la variables dasométricas.	52
Anexo 14 .Tratamiento de aplicación de la cal más fertilizantes.	53
Anexo 15 .Croquis del acceso al sitio del ensayo, sector Pueblo Nuevo.....	54
Anexo 16. Levantamiento Topografico a la zona de estudio.....	54

**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**

Resumen

El cultivo de café es una de las principales actividades agrícolas que se realizan en el Ecuador, la especie de café Arábigo ocupa el 65% de la producción nacional de café, con una productividad de 0.49 t ha^{-1} . La baja productividad es un problema en la provincia de Loja con un rendimiento de café Arábigo de 0.32 t ha^{-1} y en el cantón Loja con un rendimiento de 0.17 t ha^{-1} , inferiores a otras provincias como Carchi con 0.93 t ha^{-1} (Guerrero, 2017). El principal factor limitante en la producción agrícola es causado por la acidez debido a la variedad de materiales parentales y condiciones ambientales sobre los cuales se desarrollaron, por lo que una vasta área está cubierta por suelos viejos (Ultisoles), por tanto, es necesario controlar la acidez para incrementar y sostener buenos rendimientos agrícolas (Ortega, 2014). La presente investigación se realizó por el método de incubación rápida que consistió en la aplicación de Hidróxido de calcio Ca(OH)_2 , en función del contenido de Al^{3+} intercambiable: 0.0, 1.0, 1.5, 2.0 y $2.5 \text{ cmol}^{(+)} \text{ Kg}^{-1}$, se evaluó el pH y Al^{+3} cada 24, 48, 72, 96 y 120 horas. Los mejores tratamientos fueron el $2 \text{ cmol}^{(+)} \text{ Kg}^{-1}$ y $2.5 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ de suelo incrementando el pH de 4.6 a 5.1 y 5.3, respectivamente; y una reducción de el Al^{+3} de $2.1 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ a $1.2 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$. Los tratamientos de $2 \text{ cmol}^{(+)} \text{ Kg}^{-1}$ y $2.5 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ corresponde a 5.0 y 6.3 t ha^{-1} de cal agrícola respectivamente. En todas las unidades experimentales recibieron (N; P, K; B; Mg y Zn), en la etapa inicial del cultivo de café. A los 120 días después de la aplicación de cal agrícola existió un incremento significativo en el pH de ácido a medianamente ácido; el Al^{+3} disminuyó de muy tóxico a bajo, y el porcentaje saturación de bases paso de alto a muy alto. La altura de planta, diámetro basal, diámetro copa y numero de hojas existió un incremento significativo.

Palabras clave: acidez, pH, incubación, cal agrícola y café.

Abstract

Coffee cultivation is one of the main agricultural activities is done in Ecuador, the Arabica coffee species occupies 65% of the national coffee production, with a productivity of 0.49 t ha⁻¹. Low productivity is a problem in the province of Loja with an Arabica coffee yield of 0.32 t ha⁻¹ and in the Loja canton with a yield of 0.17 t ha⁻¹, lower than other provinces such as Carchi with 0.93 t ha⁻¹. The main limiting factor in agricultural production is caused by acidity due to the variety of parental materials and environmental conditions where they developed, so a vast area is covered by old soils (ultisols), therefore, it is necessary to control acidity to rise and sustain good agricultural yields. The present investigation was done by the rapid incubation method consisted of the application of calcium hydroxide Ca (OH)₂ based on the exchangeable content of Al⁺³: 0.0, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 cmol (+) kg⁻¹, the pH and Al⁺³ were evaluated every 24, 48, 72, 96 and 120 hours. The best treatments were 2 cmol (+) kg⁻¹ and 2.5 cmol (+) kg⁻¹ of soil, rising the pH from 4.6 to 5.1 and 5.3, respectively; and a reduction of Al⁺³ from 2.1 cmol (+) kg⁻¹ to 1.2 cmol (+) kg⁻¹. The treatments of 2 cmol (+) kg⁻¹ and 2.5 cmol (+) kg⁻¹ correspond to 5.0 and 6.3 t ha⁻¹ of agricultural lime, respectively. All experimental units got N, P, K, B, Mg and Zn in the initial stage of coffee cultivation. At 120 days after the application of agricultural lime there was a significant increase in the pH from acid to moderately acidic; Al⁺³ reduced from very toxic to low, and the percentage of base saturation went from high to very high. Plant height, basal diameter, cup diameter and number of leaves there was a significant increase.

Keywords: acidity, incubation, agricultural lime and coffee

1. Introducción

El café es uno de los productos agroindustriales importantes en el comercio internacional y su producción primaria juega un papel fundamental en la economía de muchos países debido a que es una importante fuente de empleo, ingresos y divisas (FIRA, 2015). Según Consejo Cafetalero Nacional (2013) en cuanto a producción, durante el año cafetero 2016-2017 la producción mundial fue de 156 millones de sacos, un 2 % menos con respecto al período de 2015-2016, que comparado con un consumo mundial de 157 millones de sacos representa un déficit global de 1.1 millones de sacos.

El cultivo de café es una de las principales actividades agrícolas que se realizan en el Ecuador las cuales están distribuidas de la especie de café Arábigo el 65 % de la producción y un rendimiento de 0.23 t ha^{-1} , y Robusta el 35 % con una producción de 0.49 t ha^{-1} . También los cantones productores de café son Puyango, Chaguarpamba, Olmedo, Quilanga, Espíndola (Pro Ecuador, 2013), estos 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 Arábigo de 0.32 t ha^{-1} y en el cantón Loja con un rendimiento de 0.17 t ha^{-1} , inferiores a otras provincias más productivas como Carchi con 0.93 t ha^{-1} (Guerrero, 2017).

El cultivo de café fue plantado en un sistema agroforestal en la Hacienda el Cristal, está establecido bajo alisos por regeneración natural, con una sombra del 40 %; el cultivo tenía un período de crecimiento de treinta meses, con un bajo crecimiento y desarrollo.

El principal factor limitante en este sistema de producción agrícola es causado por la acidez debido a la variedad de materiales parentales y condiciones ambientales sobre los cuales está cubierta por suelos viejos (Ultisoles) sinónimo de suelos ácidos, también causa deficiencia de los nutrientes Ca, Mg, Mo, N, P, K, Zn, B; la toxicidad de Fe, Al^{+3} y Mn e incluso, afecta a las características químicas, biológicas y físicas del suelo, y disminución de actividad microbiana, por tanto, es necesario controlar la acidez para incrementar y sostener buenos rendimientos agrícolas (Ortega, 2014).

El empleo del encalado es una práctica que más se utiliza para neutralizar la acidez y corregir los problemas que esta ocasiona, sin embargo, para realizar esta práctica, debe considerarse la cantidad de cal por aplicar, la que va a variar de un suelo a otro, dependiendo de su naturaleza o del cultivo de que se trate, por lo que esta se debe determinar para cada uno en particular (Ribadulla, 2013).

La aplicación es una operación fertilizadora y mejoradora que los agricultores de varias regiones creen conocer perfectamente, aun sin embargo el efecto posterior a su aplicación es cuestión poco conocida, por lo tanto, es importante determinar el porcentaje de CaCO_3 , para saber si no se afectan los suelos al agregar mejoradores calizos o fertilizantes que no puedan ponerse a disposición de las plantas por exceso de cal, por lo tanto su escases en el suelo provoca una deficiencia de éste elemento en las plantas y una acidez en el suelo o baja en el pH y como consecuencia de esta acidez surgirán otros fenómenos que redundaran en la baja producción de los cultivos (Zapata, 2004).

Los objetivos planteados para esta investigación se mencionan a continuación:

Objetivo general

- Generar conocimientos sobre el efecto de la aplicación de cal agrícola en la corrección de la acidez y la disponibilidad de calcio y magnesio, en la zona radicular de los suelos del sistema agroforestal de café (*Coffea Arabica L.*) de La Hacienda El Cristal, en la perspectiva de asegurar los más altos rendimientos y los mejores réditos económicos, que también puedan ser aplicables a zonas cafetaleras de la provincia de Loja con suelos de características similares.

Objetivos específicos

- Determinar la evolución de la neutralización del Al^{3+} intercambiable frente a dosis crecientes de hidróxido de calcio bajo condiciones de incubación en muestras de suelos de la Hacienda el Cristal
- Evaluar la respuesta del cultivo del café a la aplicación de diferentes dosis de Cal estimadas en función del contenido de aluminio intercambiable en un Ultisol.

- Monitorear el pH, acidez intercambiable y la disponibilidad de Ca y Mg con dosis crecientes de Cal obtenidas del experimento de incubación; en el suelo a la profundidad de la zona radicular del café en la Hacienda el Cristal.

2. Revisión de literatura

2.1. Sistemas agroforestales

Han sido descrito por varios autores como Etienne (2000) quién lo define como ‘la colección de todas las técnicas de uso de la tierra en las cuales componentes leñosos (árboles, arbustos, etc.) crecen en asociación con especies herbáceas (cultivos, pastos) y/o ganado en un diseño espacial, en rotación o sin ésta; que proporcionan beneficios tanto económicos como sostenibles de los componentes forestal y no leñoso en estos sistemas’. Por otra parte, Nagaïke (2002) considera a los sistemas agroforestales como cultivos múltiples que cumplen condiciones de interacción biológica de al menos dos especies de las cuales una es un componente leñoso perenne y la otra debe ser gestionada para la producción de forraje o cultivos anuales o perennes.

Posteriormente, Nair (2005) describe a los sistemas agroforestales como ‘la integración deliberada de árboles con cultivos agrícolas y/o ganado, que puede ser simultánea o secuencial, todos ellos en la misma unidad del territorio’. Finalmente, los sistemas agroforestales también se pueden definir como formas sustentables de manejo del territorio que integran los componentes agrícola y forestal simultáneamente en una misma área (Mosquera-Losada *et al*, 2009).

2.2. Origen de la acidez del suelo

Zapata (2014) El proceso espontaneo que se da durante la Pedogénesis, durante ella ocurre una continua meteorización química, la cual consiste en una pérdida de cationes alcalino y alcalino térreos K^+ , Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} e incremento concomitante de los cationes metálicos Al^{+3} , Fe^{+3} y Mn^{+2} , que pueden sufrir hidrólisis ácidos. Simultáneamente se debe dar una salida de silicio, en forma de $Si(OH)_4$ del suelo durante el anterior proceso.

Acidez. Para obtener los mejores rendimientos de los cultivos de café es necesario determinar la acidez del suelo que limita el desarrollo de las plantas, encontrándose valores críticos en algunas zonas. La propiedad química para valorar la acidez es el pH (potencial de iones hidrógeno H^+ en la solución del suelo), entre más bajo el pH del suelo habrá mayor concentración de aluminio intercambiable Al^{+3} tóxico para las plantas. Es necesario que el pH $>5,5$ para neutralizar el Al^{+3} y deje de ser un problema para el crecimiento de los cafetales. En condiciones de acidez, iones de Al^{+3} y Mn^{+2} aunque estén en bajas concentraciones tienen efectos

en el crecimiento y producción de café; así mismo se alteran las actividades de microorganismos que intervienen en la mineralización de la MO y transformación de N y S, el P deja de estar disponible debido a que forma compuestos insolubles con Al^{+3} (Sadeghian, 2008).

Sadeghian (2008) sostiene que el incremento de la acidez se traduce en una disminución de la CIC, con implicaciones en la fertilidad del suelo y la eficiencia de la fertilización, pues habrá menor capacidad de retención debido a que los aluminios ocupan los sitios de intercambio, menos participación de las bases intercambiables Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} y mayor susceptibilidad de éstos para perderse por lavado.

La MO y arcillas con cargas eléctricas negativas, retienen los elementos cargados positivamente incluidos los de naturaleza ácida Al^{+3} e H^{+} se evita así que se pierdan por lixiviación. Los cationes retenidos en esta fase por fuerzas electroestáticas se intercambian con aquellos que se encuentran en la solución del suelo; fenómeno que se conoce como Capacidad de Intercambio Catiónico. Los suelos que presentan alta CIC tienen la capacidad de retener más cationes ácidos y por lo tanto tienen mayor capacidad de amortiguación. La CICE se refiere a la CIC del suelo a un pH determinado, se calcula sumando los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Al^{3+} (Sadeghian, 2008).

Procesos naturales de acidificación de los suelos. Los minerales que forman las rocas dejan de ser estables cuando quedan sometidos, en la corteza terrestre a unas condiciones distintas a aquellas en las cuales se formaron. Los iones que conforman los minerales, al encontrarse en la superficie cambian lentamente a estados químicos más estables.

La reacción de hidrólisis y el tiempo de residencia del agua determinan la composición de las fases acuosa y sólida de estos sistemas (Padilla, 2007).

Los materiales finales que se forman en la fase sólida son, predominantemente arcillas del tipo 1:1, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio asociada a una progresiva acidificación del suelo (Zapata, 2004).

2.3. Clasificación de la acidez

Acidez activa. Concentración del Hidrógeno disociado en la solución en el suelo y proveniente de diferentes fuentes (Espinosa y Molina, 1999).

Acidez intercambiable. Padilla (2017) afirma que la acidez intercambiable ha sido considerada a la presencia de los iones H^+ y iones Al^{3+} fijados o adsorbidos en forma intercambiable por las cargas negativas de los coloides inorgánicos y orgánicos del suelo y que pueden ser extraídos por medio de una sal en solución tal como la de cloruro de potasio en una concentración uno normal.

Acidez potencial. Se refiere a la acidez de intercambio tomando en cuenta a los iones H^+ no intercambiables, estos iones han sido retenidos por enlaces covalentes y al adicionar iones OH^- al sistema, mediante un enclamiento, son neutralizados y pueden ser removidos en forma de agua (Padilla, 2007).

2.4. Causas de la acidez

Generan la acidez del suelo se encuentran: el lavado de bases intercambiables por la lluvia y su reemplazo por cationes de carácter ácido Al^{3+} e H^+ , la descomposición de la materia orgánica, la oxidación del azufre, la nitrificación del amonio NH_4^+ y la liberación de H^+ por las raíces cuando absorben Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ . Adicionalmente, los aniones NO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^- , provienen de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos, que se unen a las bases intercambiables de la solución del suelo y los arrastran más allá del alcance de las raíces, utilizando como transporte en el agua (Navas, 2016).

La acidificación, en amplio sentido, puede considerarse como la sumatoria de los procesos naturales y antropogénicos que disminuyen el pH de un suelo en su revisión bibliográfica citando a varios autores divide las causas de acidificación en dos grandes grupos, procesos naturales y procesos antropogénicos, (causados por el hombre) donde destacan en cada uno de ellos los siguientes factores.

Los procesos naturales incluyen factores edáficos, climáticos y biológicos; este efecto acumulativo de estos sobre la acidificación del suelo generalmente llega a ser importante luego de un período largo de tiempo. Dentro de los procesos antropogénicos destaca el manejo agrícola que se refiere básicamente al uso de fertilizantes acidificantes, agricultura extractiva en término de bases de intercambio, laboreo y cambio de uso del suelo (Aguirre, 2001).

Según Aguirre, 2001; manifiesta las causas de acidificación de los suelos por:

Procesos naturales:

- **Factores edáficos:** Están determinados por el material parental que origina al suelo.
- **Factores climáticos:** Se refiere al proceso de lixiviación causado por las precipitaciones pluviales, que producen el lavado de bases a través del tiempo.
- **Factores biológicos:** están determinados por la acción de microorganismos, que a través de sus procesos vitales generan un aumento de la concentración de H^+ .

Procesos antropogénicos:

- **Uso de fertilizantes acidificantes:** Dentro de estos destacan como los más usados los amoniacales, que afectan tanto el pH del suelo como la pérdida de cationes básicos.
- **Agricultura extractiva:** En los ecosistemas naturales no existe exportación de material vegetal, mientras que, en la agricultura intensiva, existe gran cantidad de exportación de restos vegetales del sistema, con ello se exporta las bases de intercambio; en un proceso natural las pérdidas son sólo por lixiviación.
- **Cambio de uso de suelo:** El cambio de una condición anaeróbica del suelo a una condición aeróbica del mismo conlleva a un proceso de acidificación.
- **Laboreo intensivo del suelo:** dejar el suelo descubierto aumenta las pérdidas por lixiviación, por otro lado, la preparación de suelo provoca un aumento en la tasa de descomposición de la materia orgánica, la que en su descomposición genera iones hidrógeno.

- **Lluvia ácida:** Precipitación que tiene un pH de 4.0 y 4.5 aunque puede llegar a pH 2.0 y se produce en zonas donde se emiten gases a la atmósfera con contenidos de nitrógeno y azufre por la combustión de carbón, leña, gasolina y otros combustibles fósiles usados por el hombre.

2.5. Fuentes de la acidez del suelo

Ocurren mediante la meteorización química, la cual consiste en una pérdida de cationes alcalino y alcalinotérreos K^+ , Na^+ , Mg^{2+} e incremento constante de cationes metálicos Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , que pueden sufrir hidrólisis ácida; este proceso espontáneo se da mediante la pedogénesis (Zapata, 2004).

La fertilización de cultivos también produce acidez sustancial en el suelo. El uso continuo de fertilizantes de amoníaco puede provocar condiciones ácidas mediante la intervención de los microorganismos que propician la siguiente reacción: $NH_4 + 2O_2 = NO_3^- + 2H^+ + H_2O$. Además, este mismo autor afirma que la acidez se produce por residuos vegetales o desperdicios orgánicos que se descomponen en condiciones un tanto reductoras, propiciando la formación de ácidos orgánicos, los cuales generan en parte la disolución y movimiento del hierro, aluminio y manganeso a través del perfil del suelo, por tanto, la formación de complejos por las moléculas orgánicas solubles también contribuyen al transporte de metales a través de suelo (Bohn, 2002).

La acidez del suelo es el resultado de siete causas principales: material parental según su relación $Al^{3+} : Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$, lixiviación de bases intercambiables del suelo, remoción de Ca, Mg y K por los cultivos, composición de la materia orgánica del suelo, uso de fertilizantes, acidez generada por las raíces de las plantas y lluvia ácida, además, menciona la acidez de los suelos proviene de diferentes fuentes que pueden ceder protones: Grupos ácidos de los minerales arcillosos, grupos ácidos de la materia orgánica, ácidos solubles (Zapata, 2004).

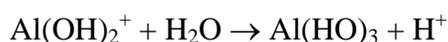
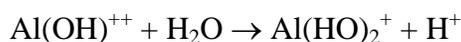
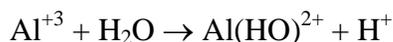
La arcilla puede someterse a hidrólisis que provoca la desestabilización de las 02:01 celosías, lo que resulta en algunos de los cationes Al^{+3} de la capa octaédrica que pasa en posiciones intercambiables. Así los cationes intercambiables de superficie disminuyen

gradualmente y el aluminio domina las cargas negativas, el pH del suelo cae hacia 4,0 y fenómenos de disolución no congruente puede ocurrir (Pasu y Gautheyrou, 2006).

2.6. Aluminio Intercambiable

En la solución del suelo es el principal factor en el desarrollo de la acidez. El Al^{+3} , desplazado desde las arcillas por otros cationes se hidroliza y forma complejos monoméricos y poliméricos hidroxiluminicos, las reacciones de hidrólisis del Al^{+3} liberan H^+ contribuyendo a la acidificación del suelo

Las siguientes ecuaciones describen el proceso de hidrólisis de las formas monoméricas del Al^{+3} .

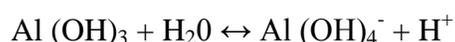
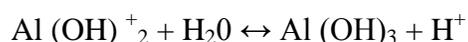
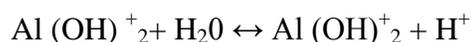


El Al^{+3} reduce el crecimiento de las raíces de la planta presentando dificultades en la absorción de nutrientes y agua, por lo tanto, el real problema de la acidez se centra principalmente en la concentración de aluminio intercambiable en la solución del suelo y no en la concentración de iones de H^+ (Espinosa y Molina, 1999).

2.7. Fitotoxicidad del aluminio en la planta

Narváez (2010) indica que el primer efecto que se da por fitotoxicidad del aluminio es la inhibición del desarrollo radicular detectado a las dos horas de la exposición del aluminio seguido de la inhibición de la síntesis DNA. Zapata (2004) también se reporta engrosamiento anormal y pigmentación café del extremo de la raíz cese de formas mitóticas en la región meristemática de la raíz de acuerdo a Padilla (2007) daño de la epidermis en el extremo de la raíz, reducción de la respiración y acumulación de aminoácidos libres en la raíz como resultado de un efecto no específico del aluminio en el metabolismo del nitrógeno, principalmente en el metabolismo de proteínas (Espinosa y Molina, 1999).

Narváez (2010) señala que el aluminio tiene la capacidad de hidrolizarse, produciendo H^+ según las siguientes reacciones:



Las formas de aluminio que predominan en el suelo en función del pH son las siguientes:

El Al^{3+} predomina en suelo con $pH < 5$

$Al(OH)^{2+}$ y $Al(OH)^{3+}$ predominan en suelos con $pH 5 - 6$

La forma $Al(OH)^{4-}$ puede existir en suelos con $pH > 8$

2.8. Toxicidad del Aluminio

En condiciones de acidez, iones como Al^{3+} y Mn^{2+} se encuentran en la solución del suelo. Estos elementos, aunque estén en bajas concentraciones, tóxicos para la mayoría de los cultivos. El término toxicidad en el caso del aluminio se refiere a varios aspectos que afectan el normal desarrollo de las plantas sensibles a la acidez, lo que reduce su crecimiento y desarrollo (INIA, 2006).

La presencia de altas concentraciones de Al^{3+} en la solución del suelo inhiben también la absorción de Ca y Mg por las plantas (Iñiguez, 2001).

2.9. Reacción de Resultados

En general se le atribuye mucho valor al conocimiento del pH de un suelo ya a veces se trata de inferir demasiado de un dato aislado. Sin restarle importancia, realmente aquella toma sentido cuando se lo relaciona con otros aspectos analíticos y con las particularidades del suelo. Otro aspecto es la reacción del suelo y su relación con la clasificación taxonómica, donde hay en general una correspondencia entre suelos u horizontes lixiviados y en consecuencia una menor

saturación con bases, que se corresponde mayormente con la disminución en los valores de pH.

Por otro lado, los suelos de permeabilidad y drenaje excesivo con mucha arena, por su pobre saturación con bases, son normalmente muy acidas y con pH bajos (Norberto, 1986).

La concentración de iones H^+ usualmente se expresa como pH, que es la expresión matemática que tiene por finalidad evitar el uso de exponentes o de cantidades con muchos ceros: $pH = -\log H^+$. Esto es, pH es el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno.

A medida que disminuye la concentración de iones hidrógeno aumenta el pH y viceversa. Esto quiere decir que, si el pH de un suelo es bajo, tiene una alta concentración de H^+ y si tiene un pH alto posee una baja concentración de iones H^+ . La reacción del suelo, sea acida o alcalina, es importante porque influye en sus propiedades químicas, físicas y microbiológicas (Aguirre, 2001).

2.10. Propiedades químicas del suelo

pH. Indica la concentración de iones H^+ en una disolución, se trata de una medida de la acidez de la disolución, influyen en la fertilidad del suelo, indica si contiene niveles tóxicos de Al^{3+} y Mn , si es bajo el contenido de elementos básicos como el Ca y el Mg, y si se le puede regular con la adición de sustancias como el CaO. La disponibilidad de otros nutrientes esenciales para la planta depende de los valores de pH. Conociendo el valor de pH del suelo es posible diagnosticar problemas de nutrientes para un buen desarrollo de las plantas. La acidificación de los suelos reduce el crecimiento de las plantas, por la disminución de la disponibilidad de algunos nutrimentos como Ca, Mg, K y P, lo que favorece la solubilidad de elementos tóxicos en el suelo, perjudicando las plantas, estos elementos pueden ser como el Al^{3+} y Mn^{2+} .

La toxicidad por Al^{3+} es el principal factor, con efectos directos en el metabolismo de las plantas, incluyendo una interferencia con la transferencia de iones y agua a través de las membranas celulares de la raíz, así obstruyendo la alimentación de nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas (Rivera, Sánchez, y Domínguez, 2018).

Capacidad de Intercambio Catiónico. Se define como la cantidad total iones de carga negativa por unidad de masa de suelo o como la suma total de los cationes intercambiables neutralizando esta carga por unidad de masa. Esto es expresado en cmol kg^{-1} de suelo o $\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$ de suelo.

Se considera que los suelos con alta CIC $> 20 \text{ meq} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de suelo, son categorizados como más fértiles, ya que pueden retener más nutrientes que fueron absorbidos por las plantas o lixiviados fuera de la zona radicular (Padilla, 2007).

2.11. Desarrollo vegetativo del café

La fase vegetativa del cafeto es bastante compleja, debido a que el crecimiento vegetativo ocurre durante toda la vida del vegetal; por ejemplo, la formación de hojas, nudos, ramas y generación de nuevas raíces. De esta manera el desarrollo netamente vegetativo del café comprende tres etapas: germinación a trasplante (2 meses), almácigo (5-6 meses) y siembra definitiva a primera floración (11 meses), y de ahí en adelante, ocurre simultáneamente el crecimiento vegetativo y reproductivo transcurren (Enríquez y Duicela, 2014).

2.12. Fertilización de cafetales

Implica la aplicación de abonos en forma racional, en diferentes etapas del cultivo, como: en viveros, al momento de plantar, en la etapa de crecimiento (hasta los 18 meses después del establecimiento) y en la etapa de producción.

Las recomendaciones de fertilización deben adaptarse a los objetivos de caficultor, si se trata de producción convencional se pueden usar los abonos orgánicos y químicos, si se trata de la producción orgánica hay que cumplir los estándares de los países consumidores y usar solo los abonos, enmiendas y sustancias permitidas por la agencia certificadora. Para fertilizar cafetales se deben tener en cuenta los siguientes aspectos: requerimientos el cultivo, grado de acidez del suelo, composición química de los fertilizantes y enmiendas, compatibilidad de los fertilizantes, topografías del terreno, época de aplicación, recomendaciones técnicas y otras formas de mejorar la fertilidad.

Requerimientos de nutrimentos. La cantidad de fertilizantes y las fuentes de macro y micronutrientes a ser aplicados en lo cafetales se determinan en función de los análisis del suelo,

en cafetales en crecimiento, hasta los 18 meses de edad el campo, se aplica la mitad de la dosis recomendada para cafetales en producción, a continuación, se indican los requerimientos de macro nutrientes y micro nutrientes, de acuerdo a la interpretación del análisis químico del suelo alto, medio y bajo (Enríquez y Duicela, 2014).

Tabla 1. *Requerimientos de macro y micro nutrientes en cafetales en producción*

Autores	I	N	P	K	S	Ca	M	Zn	Cu	Fe	Mn	B
							g					
Enríquez y Duicela, 2014	Bajo	200	60	150	150	340	15	3	3	3	1.5	10
COFENAC y Dublinsa, 2012		300	60	150	150	340	15	3	-	3	1.5	3
Iñiguez, 2007		286	74	291	-	-	-	-	-	-	-	-
INIAP, 1993		100	17	75	-	-	-	-	-	-	-	-
Enríquez y Duicela, 2014	Medio	100	40	50	50	150	10	1.5	1.5	1.5	0.8	5
COFENAC y Dublinsa, 2012		200	40	50	50	150	10	1.5	-	1.5	0.8	1
Iñiguez, 2007		208	57	216	-	-	-	-	-	-	-	-
INIAP, 1993		50	9	37	-	-	-	-	-	-	-	-
Enríquez y Duicela, 2014	Alto	50	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0
COFENAC y Dublinsa, 2012		100	20	20	0	0	0	0		0	0	0
Iñiguez, 2007		130	40	140	-	-	-	-	-	-	-	-
Valarezo, 2014		25	15	25	0	-	20	-	-	-	-	-

I= interpretación de los análisis químicos

Relaciones entre cationes intercambiables. Con los resultados cuantitativos de los análisis químicos, se calculan las relaciones de los cationes intercambiables: Ca/Mg, Mg/K, (Ca+Mg) /K. partiendo de esta información se evalúa el balance de cationes y se toman decisiones pertinentes referidas a la adición de los fertilizantes que se encuentran en desequilibrio (Enríquez y Duicela, 2014).

Tabla 2. *Relaciones entre cationes intercambiables adecuadas para el café*

Relaciones entre cationes	Rangos óptimos (meq/100 ml)	Nivel crítico (meq/100 ml)	Recomendación
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

Fuente: Enríquez y Duicela, 2014.

2.13. Encalado

El efecto del encalado sobre la producción de diversos cultivos es uno de los temas de investigación más trabajados en todo el mundo. Dado que sus resultados son contrastantes, la discusión sobre su uso en el mejoramiento de la productividad de los suelos tropicales aún es muy criticado.

Zapata (2004) el interés primario del encalado reside en neutralizar los iones H^+ intercambiables, antes que los que se encuentran en solución, debido a que estos últimos necesitan poca cantidad de enmienda por la disolución en que se encuentran; mientras, Narváez (2010) toman como propósito fundamental de la aplicación de cal en los suelos, corregir la acidez y suministrar calcio y magnesio; mediante esta práctica el suelo aumentara su estado de saturación de bases.

La acidez de los suelos, tanto en zonas tropicales como en regiones templadas, se ha reconocido como una de las mayores limitantes en la producción de los cultivos. Son dos los factores que limitan la fertilidad en suelos ácidos; deficiencias de P, Mo, S, K, Ca, Cu, o Zn y la presencia de sustancias fitotóxicas Al^{3+} y Mn^{2+} solubles.

La práctica del encalado es comúnmente empleada para reducir los niveles fitotóxicos de Al^{3+} y Mn^{2+} en algunos suelos. Otra razón por la que se recurre al encalado es para elevar la disponibilidad del P

Efecto del beneficio del encalado. Bajo condiciones experimentales se ha demostrado la acción del encalado en las diversas propiedades de los suelos y éstos a su vez en el desarrollo de los cultivos. Los efectos directos e indirectos tienen relación con las propiedades físicas, químicas y biológicas y con aspectos de desarrollo y producción de los mismos.

Zapata (2004) el encalado consiste en la aplicación al suelo de un material capaz de neutralizar la acidez del mismo, generalmente se emplean sales de calcio, en los cuales el anión es una base conjugada (aceptor de protones), proveniente de un ácido débil.

Cuando el encalado se suministra al suelo en dosis adecuadas, puede brindar los siguientes beneficios:

- Inactiva el Al intercambiable en solución; Reduce el efecto tóxico del Al^{3+} , Fe^{3+} y el Mn^{2+} .
- Mejora la disponibilidad del P, estimula la nitrificación y promueve la fijación del N.
- Mejora la disponibilidad de algunos nutrientes.
- Incrementa la capacidad de intercambio catiónico.
- Reduce la fijación de P.
- Aumento en el valor del pH del suelo.
- Mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.
- Mejoramiento del sistema radicular.
- Aumenta el contenido de Ca y Mg.
- Mejora la actividad microbiana.
- Mejora la eficacia en el aprovechamiento de fertilizantes.
- Aumenta el proceso de nitrificación y mineralización de la materia orgánica (Girón, 2018).

Fuente de materiales encalantes. El proceso de aplicar cales o enmiendas al suelo para corregir su acidez, en este proceso se dan reacciones de neutralización, es decir, la cal atrapa H^+ de las diferentes fuentes de acidez, aumentando el pH del suelo.

Según Molina (1999), las siguientes fuentes de materiales encalantes: CaCO_3 , CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, MgCO_3 , MgO y $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Según Iñiguez (2001) explicó que el encalado ha sido insatisfactorio en el África tropical por dos razones: una, la posibilidad de que la adición de cal crea una deficiencia de micro nutrimentos y; la otra, que cuando los suelos son bajos en cationes y bajos en su capacidad amortiguadora, la adición de cal crea un desbalance nutrimental.

También mal uso de cales, puede tener efectos negativos para el suelo y el cultivo, el sobre encalamiento es la utilización de dosis mayores de cal a las determinadas luego del análisis de suelos, provocando efectos negativos, entre estos:

- Deficiencia de Zn, Mn, B y P y posiblemente de K, al causar un desbalance de Ca y Mg.
- Reduce la productividad de los cultivos.
- Deterioro de la estructura, al formar agregados más pequeños, que reducen la infiltración, favoreciendo la erosión del suelo.

2.14. Duración del efecto de la cal

El efecto de la cal es muy variable y depende de la dosis de aplicación, del tipo de suelo (textura suelos arenosos retienen menos a diferencia de suelos más arcillosos, capacidad Tampón, entre mayor sea más difícil de modificar el pH del suelo), el clima (a mayor precipitación, menos duración del efecto), topografía (suelos con mayor pendiente son susceptibles a mayor lavado) y depende del tipo de cultivo (las leguminosas son exigentes en Ca, acidifican el suelo)

Generalmente se espera que los efectos benéficos del encalamiento de suelos ácidos duren varios años, Sin embargo, los efectos residuales por lo general duran menos en las regiones tropicales que en las templadas debido a la mayor precipitación y a las temperaturas más altas. La estimación de los efectos residuales de encalamiento de suelos ácidos es un factor primordial de manejo de suelos de bosques tropicales y de sabana. La duración del efecto residual también dependerá del ecosistema En general los suelos ácidos en los bosques húmedos tropicales presentarán efectos residuales más cortos que la sabana debido a la liberación más rápida de aluminio de los complejos de materia orgánica y a la mayor remoción de bases por las

plantas en sistemas anuales de producción de cultivos y quizás a mayores pérdidas por lixiviación en los bosques húmedos (Ortega, 2014).

2.15. Investigaciones sobre acidez del suelo

Asqui (2018) estudio el efecto de encalado en la producción de papa (*solanum tuberosum l.*) en un suelo ácido, aplicó 6 t ha⁻¹ cal agrícola e incremento el pH de 5.0 a 5.8 y disminuyó el a Al³⁺ intercambiable de 1.6 a 0.5 cmol (+) kg⁻¹ de suelo y optimizo disponibilidad de Ca⁺⁺, Mg²⁺ y K⁺, obteniendo un rendimiento de 41.70 t ha⁻¹ referente al testigo con 33.69 t ha⁻¹.

Chamba (2013) aplicó cinco niveles de cal agrícola 0, 5, 10, 15 y 20 t ha⁻¹, bajo tres densidades de siembra con cedrón, logro incrementar el pH de 4.6 a 6.8 con 20 t ha⁻¹ de cal agrícola; y disminuyó la Al³⁺+ H⁺ intercambiable de 1.68 a 0.28 cmol (+) kg⁻¹ de suelo, sin embargo, las dosis de 5, 10, 15 t ha⁻¹ fueron estadísticamente iguales con un pH de 4.6 a 6.2 y un rendimiento de 1.72 t ha⁻¹ con 10 y 5 t ha⁻¹ superior al testigo con 1.32 t ha⁻¹ a los a los 210 días.

Ayerve y Yaguachi (2009) evaluó diferentes niveles de cal agrícola y abono orgánico (Humus) en el cultivo de la uvilla en la Argelia, Loja, logrando incrementarse el pH de 5.5 a 6.1 con 6 t ha⁻¹ de cal + 24 t ha⁻¹ de humus y de 5.5 a 7.6 con 8 t ha⁻¹ de cal + 24 t ha⁻¹ de humus y disminuye el Al³⁺ intercambiable de 1.9 a 0.6 cmol (+) kg⁻¹ de suelo, alcanzando un rendimiento de 16 t ha⁻¹ en comparación al testigo con 10 t ha⁻¹.

Méndez (2011) utilizo dos enmiendas calcáreas sobre un suelo ácido y el desarrollo vegetativo de cafetales (*Coffea arabica L.*), se elevó el pH de 4.4 a 4.8 con una aplicación de 2 t ha⁻¹ de cal agrícola; y disminuyó la Al³⁺+ H⁺ intercambiable de 8.3 a 6.5 cmol (+) kg⁻¹ de suelo y con 2 t ha⁻¹ de cal dolomita, se incrementó de 4.4 a 5.2 de; y disminuye Al³⁺+H⁺ la intercambiable de 8.3 a 5.5 cmol (+) kg⁻¹ de suelo, también se mejoró la disponibilidad de Ca⁺⁺, Mg⁺ y K⁺, incrementando de 1.2 a 3.1 cmol (+) kg⁻¹ de suelo; 0.80 a 1.40 cmol (+) kg⁻¹ de suelo y 0,7 a 1,3 cmol (+) kg⁻¹ de suelo, con cal dolomita y 1.2 a 2.5 cmol (+) kg⁻¹de suelo, 0.75 a 1.0 cmol (+) kg⁻¹ y 0,7 a 1,1 cmol (+) kg⁻¹ de suelo, con cal agrícola respectivamente ; por lo tanto aplicando (112-42-47) N-P₂O₅-K₂O incrementó de 10 a 13 cm en la variables dasométricas.

Mite, Maite y Espinoza (2009) estudio del efecto de la corrección del pH en el rendimiento de la piña en suelos volcánicos de Quevedo, mediante el método de incubación obtuvo un incremento de pH de 4.4 a 5.2 y de 4.4 a 5.5 con las dosis de 1.5 y 2.5 cmol (+) kg^{-1} de Ca, respectivamente; el Al^{3+} disminuyó significativamente de 1.8 a 0.3 cmol (+) kg^{-1} de suelo y $\text{Al}^{3+} + \text{H}^{+}$ de 4.5 a 1.1 cmol kg de suelo a los 30 días después de la aplicación.

Braeuner, Ortiz y MacVean (2005) investigo el efectos de la cal dolomítica y yeso agrícola en cafetales (*Coffea arabica*) afectados con Mal de Viñas en Guatemala; el pH del suelo se incrementó desde 4.0 a 4.8 y 4.0 a 5.2 con la aplicación de 5 y 10 t ha^{-1} de cal dolomítica y el Al^{3+} disminuyó desde 14 % a 5 % y 14 % a 3 % respectivamente de suelo con las dosis de cal dolomita (5 a 10) t ha^{-1} ; los rendimientos logrados fueron de 4.3 y 4.8 t ha^{-1} , respectivamente referente al testigo que fue de 2.35 t ha^{-1} .

Calva y 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, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 y 6.0 t ha^{-1} , por el método de incubación en los suelos de Orellana , las 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 $\text{Al}^{3+} + \text{H}^{+}$ de 0.5 cmol (+) kg^{-1} de suelo, no detectado (ND) en un periodo de 45 días.

Zárate y Gamonal (2016) utilizó dos enmiendas sobre un suelo ácido y el desarrollo vegetativo 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 8.3 a 5.5 cmol (+) kg^{-1} de suelo y $\text{Al}^{3+} + \text{H}^{+}$ de 74 a 51 % ; en comparación a la cal dolomita se incrementó el pH 4.4 a 4.8 de 2 t ha^{-1} y el Al^{3+} disminuyó desde 8.3 a 6.1 cmol (+) kg^{-1} de suelo y $\text{Al}^{3+} + \text{H}^{+}$ 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-P₂O₅-K₂O a su vez también se logró el incremento las variables dasométricas de 4 a 10 cm referente al testigo en la plantas de café e incrementó la producción de 93.89 qq ha^{-1} referente al testigo de 50 qq ha^{-1} , esto se logró

en la primera cosecha que fue a los 3 años después de la aplicar la ϵ correspondiente.

3. Materiales y métodos

3.1. Descripción de la zona de estudio

Se encuentra ubicada en la provincia de Loja, cantón Loja, Parroquia Malacatos, entre los barrios de Pueblo Nuevo y Tres Leguas. La entrada principal a la hacienda se encuentra a 3 km aproximadamente de la entrada al Sendero la Cascarilla, vía Malacatos.

La zona donde se realizó la investigación fue en La Hacienda El Cristal se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas: Norte: 700424 m, Sur: 9544493 m, Altitud: 2071 msnm

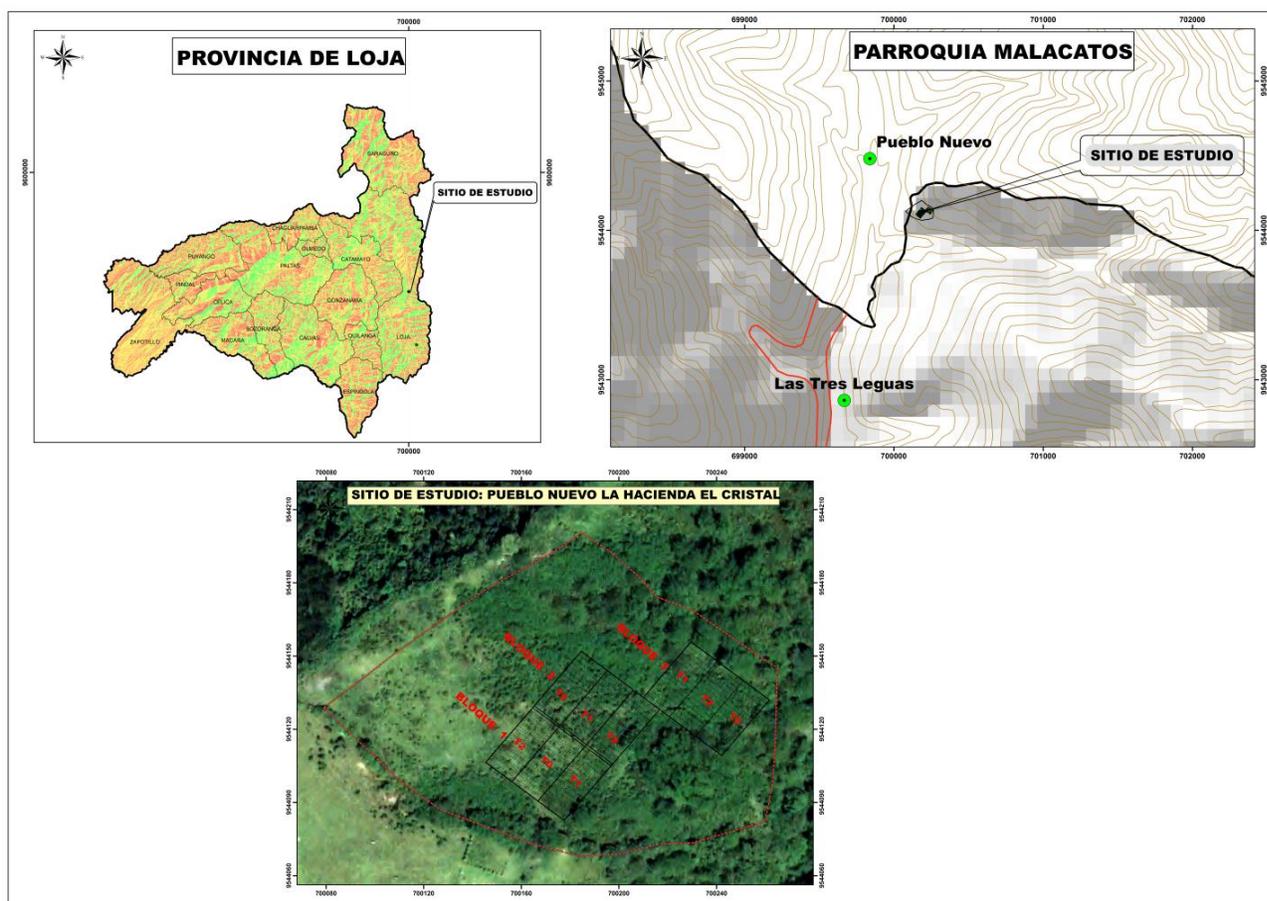


Figura 1 Ubicación Geográfica de sector de estudio
Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano

Clasificación climática. Según Koppen, (1936) posee un clima temperado húmedo, vegetación de bosque nativo, cuenta con temperaturas media de 16 °C, con precipitaciones anuales de 1200 mm; cuyos meses secos son septiembre, octubre y noviembre. De acuerdo Holdridge (1987) corresponde a una zona de vida Matorral Seco Tropical (MST).

Geología. Geológicamente la zona de estudio se encuentra en la formación Rocas Metamórficas Indiferenciadas, caracterizada por lutitas, filitas, cuarcitas, esquistos e intrusivas, areniscas, limonita y tobas, esta formación ocupa toda la zona de estudio.

Suelos. El orden del suelo corresponde a una clasificación taxonómica preliminar USDA suelo Kandiodults (Ultisol), el terreno se encuentra la plantación, presenta, son suelos muy profundos (120 cm); por las siguientes horizontes: una ligera capa orgánica de 2-3 cm, que pertenece a un suelo orgánico; un horizonte Ap de 8 cm de espesor, franco limoso; un horizonte AE de 20 cm de espesor, franco limoso; un horizonte Bt1 de 20 cm de espesor, franco arcillo limoso; un horizonte Bt2 de 20 cm de espesor, franco arcillo limoso, y un horizonte C de 50 cm de espesor, franco arcilloso. Sin presencia de manchas en los 4 primeros horizontes. Las raíces son medianas, finas y muy finas se observan hasta los 70 cm de profundidad, además presenta una pedregosidad baja, drenaje bueno, no presenta sales, su tipo de fertilidad regular y un pH de 4,5 y su Al^{+3} 2.1.

3.2. Materiales y equipos

Cal Agrícola ($CaCO_3$), con el 95% de pureza, Kieserita, Sulpomag, Fertilizantes, Urea (46% de pureza), Fosfato diamónico (18-46-0), Boxas, Sulfato de Zinc, Muestras de suelo, Cilindros Koppecky de 100cc, Barreno tornillo, GPS, Estación Total, Flexómetro, Balanza, Herramientas de labranza, Sacos, Baldes, Muestras de suelos, Estufa, Capsulas, Balanza de precisión 0.1g, Ollas de presión, Hidróxido de Calcio, Soluciones buffer pH 4, pH 7, pH 10, Hidróxido de Sodio 0.01 Cloruro de Potasio 1 N, Fenolftaleína 0.05%, Computadora con software, Calculadora y potenciómetro.

3.3. Metodología

3.3.1. Objetivo 1: Evolución de la neutralización del Al^{3+} intercambiable frente a dosis crecientes de hidróxido de calcio bajo condiciones de incubación en muestras de suelos de la Hacienda el Cristal

Se probaron tres factores (Tabla 3), con un diseño de bloques a lazar con tres replicas, las variables analizadas fueron pH, Al^{+3} y $\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$; se aplicó la siguiente relación por kg de suelo.

Tabla 3. *Dosificaciones de hidróxido de calcio*

Factores	
1 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Al^{3+}	Testigo
1 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Al^{3+}	1 $\text{cmol}^{(+)}$ de Ca
1 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Al^{3+}	1,5 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Ca
1 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Al^{3+}	2,0 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Ca
1 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Al^{3+}	2,5 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Ca

Se tomaron muestras alteradas, a 25 cm de profundidad de cada bloque y analizo: textura, pH, CIC, Al^{+3} y así se conoció la situación inicial del suelo.

El método de incubación rápida consiste en colocar 80 g de suelo en una cápsula con distintas dosis de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, en función del contenido de Al^{3+} : 0.0, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 $\text{cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$ de suelo, los tratamientos se colocaron en una estufa a 30°C, se evaluó el pH, Al^{+3} y $\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$, cada 24 horas hasta que estos valores sean constates, una vez evaluado, se seleccionó los mejores tratamientos para la aplicación de cal agrícola. El análisis estadístico se realizó mediante la prueba de Tukey utilizando el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*,2008).

3.3.2. Objetivo 2: Evaluar la respuesta del cultivo del café a la aplicación de diferentes dosis de Cal estimadas en función del contenido de aluminio intercambiable en un Ultisol

De los resultados del método de incubación rápida, se seleccionó las dosis que incrementó el pH de 4.5 a 5.1 y 4.5 a 5.3 con las respectivas dosis de 2 y 2.5 $\text{cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$ para su aplicación en el campo los cuales corresponden a 5.0 y 6.3 t ha^{-1} de cal agrícola respectivamente.

Se aplicaron las dosis en base al diseño de bloques completamente al azar con tres réplicas de acuerdo al siguiente (Tabla 4).

Tabla 4. Factores aplicar en experimento

Dosis	Cal agrícola
$\text{Ca}_1 = 0,0 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ de Ca + Fertilizante	Testigo
$\text{Ca}_2 = 2 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ de Ca + Fertilizante	5.0 t ha^{-1}
$\text{Ca}_3 = 2.5 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ de Ca + Fertilizante	6.3 t ha^{-1}

En cada tratamiento se aplicó al voleo en doble recorrido las dosis de cal agrícola requerida, previamente el área de intervención que estuvo libre de malezas y hojarasca en 50 cm de radio.

Para el cálculo de la fertilización se consideró los nutrientes disponibles en el suelo y los requerimientos del cultivo N, P_2O_5 , K_2O , S, Ca, Mg, B y la eficiencia de los fertilizantes. Además, se consideró la relación de cationes para el cultivo de café siendo Ca/Mg: 2.6-8 meq/100ml; Mg/K: 7,5-15 meq/100ml; (Ca+Mg) /K 27.5-55 meq/100ml (Tabla 2).

3.3.3. Objetivo 3: Monitoreo del pH, acidez intercambiable y la disponibilidad de Ca y Mg con dosis crecientes de Cal obtenidas del experimento de incubación.

Se tomaron submuestras del suelo hasta 25 cm de profundidad en cada bloque, en área de 16 m^2 , las submuestras se tomaron del norte de cada planta, se mezclaron y se tomó una muestra de 1kg de suelo.

Para cada tratamiento se procedió a determinar pH, CIC, Al^{+3} , saturación de bases a los

30, 60, 75, 90, 105, y 120 días después de la aplicación de la cal agrícola y fertilizantes.

Las variables dasométricas de la planta del café se monitorio: altura de planta, diámetro basal, diámetro de copa y numero de hojas.

Los resultados obtenidos de pH, CIC, Al^{+3} , $Al^{+3} + H^{+}$ y saturación de bases en transcurso del experimento se los analizó mediante el análisis de varianza y la prueba de significancia, se utilizó el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008).

4. Resultados y Discusión

4.1. Reacción del suelo

4.1.1. Método de incubación

Se observaron diferencias significativas para pH del suelo en el método de incubación, a las 48, 72, 96 y 120 horas. Los valores registrados a las 0 y 24 horas de la evaluación no manifestaron significancia estadística. El coeficiente de variación osciló entre 0.99 % y 2.03 %, lo cual indica homogeneidad del suelo para esta variable (Anexo 1).

El pH al inicio, 24 y 48 horas no reporto. un incremento de pH; lo cual se mantuvo en el rango muy ácido; sin embargo, a 72 hasta 120 horas se observa un incremento de muy ácido a ácido; con las dosis de 2 y 2.5 $cmol^{(+)} kg^{-1}$, excepto el tratamiento testigo; esto se debió a la aplicación del hidróxido de calcio que actúan por disociación iónica en iones Ca^{2+} e OH^{-} , la neutralizaron los iones H^{+} y Al^{3+} (Tabla 5); sin embargo como manifiesta Espinoza y Molina (1999) estos factores de 0.5 a 2.5 $cmol^{(+)} kg^{-1}$ de suelo; se los utiliza según el tipo de suelo y las características que presente el cultivo, estos valores pueden ser modificados y afinados según investigaciones que se realizaron mediante este método; de acuerdo a estos resultados obtenidos los valores difieren según García (2015) que aplicó dosis de 1.5 y 2.5 $cmol^{(+)} kg^{-1}$ de Ca, incrementándose el pH de 5.4 a 6.0 y 5.4 a 6.5, respectivamente a las 75 horas; además Mite *et al.* (2009) obtuvo un incremento de pH de 4.4 a 5.2 y de 4.4 a 5.5 con las dosis de 1.5 y 2.5 $cmol^{(+)} kg^{-1}$ de Ca, respectivamente a los 30 días.

Tabla 5. Prueba de Tukey al 5% para el promedio de pH_{H_2O} en la prueba de incubación a las diferentes horas

Dosis de hidróxido de calcio	Tiempo de incubación (Horas)					
	0	24	48	72	96	120
2.5 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Ca	4.2	4.6	4.9 a	5.1 a	5.3 a	5.3 a
2.0 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Ca	4.2	4.5	4.8 ab	4.9 ab	5.1 ab	5.1 ab
1.5 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Ca	4.2	4.5	4.7 abc	4.8 abc	4.9 bc	4.9 bc
1 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Ca	4.2	4.5	4.7 bc	4.8 bc	4.8 c	4.8 c
Testigo	4.2	4.5	4.6 c	4.6 c	4.6 d	4.6 d

o intercambiable

• Aluminio

Se observaron diferencias significativas en los tratamientos con diferentes dosis de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, para el Al^{+3} intercambiable, a las 120 horas, no se observa diferencias al inicio del experimento. El coeficiente de variación osciló entre 2.16 % y 3.79 %, lo cual indica homogeneidad del suelo para esta variable (Anexo 2).

Al inicio del experimento el Al^{+3} se mantuvo en el rango de tóxico, mientras que a las 120 horas la dosis 2 y 2.5 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Ca, disminuyó significativamente el Al^{+3} frente al testigo, pasando del rango tóxico a medio, esta disminución se debió a la aplicación del hidróxido de calcio que estos actúan por disociación iónica en iones Ca^{2+} e OH^{-1} , neutralizaron los iones Al^{+3} en forma Al OH (Tabla 6); de acuerdo a estos resultados obtenido en el método de incubación; estos valores difieren según García (2015) aplicó dosis de 1.5 y 2.5 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Ca, disminuyó el Al^{3+} ; de 1.6 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de suelo a no detectado (ND) a las 75 horas; también Mite et al. (2009) utilizó 1.5 y 2.5 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de Ca y Al^{+3} disminuyó significativamente de 1.8 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ a no detectado (ND) y $\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$ de 4.5 a 1.1 cmol kg de suelo respectivamente a los 30 días.

Tabla 6 .Prueba de Tukey al 5% para el promedio de Aluminio intercambiable (Al^{+3}) $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$, en la prueba de incubación a las diferentes horas

Dosis de hidróxido de calcio	Tiempo de incubación	
	Inicio	120 horas
2.5 cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹ de Ca	2.1	1.2 a
2.0 cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹ de Ca	2.1	1.4 b
1.5 cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹ de Ca	2.1	1.5 c
1 cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹ de Ca	2.1	1.7 d
Testigo	2.1	2.1 e

- **Acidez intercambiable**

Se observaron diferencias significativas en los tratamientos con diferentes dosis de Ca(OH)₂, para el Al³⁺ + H⁺, a las 120 horas, no se observa diferencias al inicio del experimento. El coeficiente de variación osciló entre 0.96 % y 1.19 %, lo cual indica homogeneidad del suelo para esta variable (Anexo 3).

Al inicio del experimento el Al³⁺ + H⁺ intercambiable se mantuvo en el rango de tóxico, mientras que a los 120 días la dosis 2 y 2.5 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ Ca, disminuye significativamente el Al³⁺ + H⁺ frente al testigo, tóxico a medio, esta disminución se produjo por la aplicación del hidróxido de calcio que estos actúan por disociación iónica en iones Ca²⁺ e OH⁻, neutralizaron los iones Al³⁺ en forma Al OH (Tabla 7); de acuerdo a estos resultados obtenidos del método; estos valores difieren según García (2015) aplicó dosis de 1.5 y 2.5 cmol(+) kg⁻¹ de Ca, disminuyó el Al³⁺ + H⁺ de 1.6 cmol (+) kg⁻¹ de suelo a no detectado (ND) a las 75 horas; Mite *et al.* (2009) utilizó 1.5 y 2.5 cmol(+) kg⁻¹ de Ca, el Al³⁺ + H⁺ disminuyó de 3.5 a 1.5 cmol (+) kg⁻¹ suelo respectivamente a los 30 días.

Tabla 7. Prueba de Tukey al 5% para Acidez Intercambiable ($Al^{3+} + H^+$) $cmol (+) kg^{-1}$, en las pruebas de incubación a las diferentes horas.

Dosis de Hidróxido de calcio	Tiempo de incubación	
	Inicio	120 horas
2.5 $cmol^{(+)} kg^{-1}$ de Ca	3.5	2.2 a
2.0 $cmol^{(+)} kg^{-1}$ de Ca	3.5	2.3 b
1.5 $cmol^{(+)} kg^{-1}$ de Ca	3.5	2.4 c
1 $cmol^{(+)} kg^{-1}$ de Ca	3.5	2.9 d
Testigo	3.5	3.5 e

4.1.2. Monitoreo de las parcelas demostrativas

Las condiciones iniciales del suelo fueron: pH 4.5 en un rango muy ácido, $Al^{3+} + H^+$ de 3.5 $cmol k^{-1}$ de suelo equivalente a muy tóxico y A^{3+} 2.1 $cmol k^{-1}$ de suelo corresponde a tóxico. Se tomó cada 15 días las muestras en la capa de 00 - 25 cm en cada tratamiento; además se monitorio las variables dasométricas (altura, diámetro basal, diámetro de copa y número de hojas).

- **Reacción del suelo pH**

Se observaron diferencias significativas para pH del suelo a diferentes días 0, 30, 45, 60, 75, 90, 105 y 120. Los valores registrados a los 30 días de la evaluación manifestaron significancia estadística por lo cual se procedió a fertilizar. El coeficiente de variación osciló entre 0.06 % y 0.75 %, lo cual indica homogeneidad del suelo para esta variable (Anexo 4).

El pH al inicio del experimento se mantuvo en un rango de muy ácido, después de la aplicación de 5.0 y 6.3 $t ha^{-1}$ cal agrícola con sus respectivas dosis de 2 y 2.5 $cmol^{(+)} kg^{-1}$ de suelo, se observó un incremento de pH a partir de los 30 días del rango muy ácido a ácido; sin embargo, a partir de esa fecha se mantuvo hasta los 90 días, a los 120 días se observa un incremento significativo en los tratamientos de muy ácido a mediamente, se incrementó en una unidad, excepto el testigo, este incremento se debió a la aplicación de carbonato de calcio por cuanto los iones carbonato generan iones OH^- y estos son los responsables de neutralizar lo iones H^+ del suelo y consecuentemente se incrementó de la carga negativa (Tabla 8); sin embargo

como manifiesta Zapata (2014), recomienda subir de 1 a 2 unidades de pH en la primera enmienda para sí evitar un sobre encalado y dañar las propiedades físicas – químicas y biológicas del suelo e inducir las deficiencias de Zn, B y Mn; también puede dispersar los coloides al afectar la agregación de las partículas del suelo, haciendo que se taponen los poros del suelo y exista una lenta infiltración; de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación los valores no difieren significativamente según Asqui (2018) aplicó 6 t ha⁻¹ cal agrícola e incremento el pH de 5.0 a 5.8 y un rendimiento de 41.70 t ha⁻¹ referente al testigo con 33.69 t ha⁻¹ de papa ; sin embargo Chamba (2013) logra un incremento de pH de 4.6 a 6.2 con 5, 10, 15 t ha⁻¹ y un rendimiento de 1.72 t ha⁻¹ con 10 y 5 t ha⁻¹ superior al testigo con 1.323 kg ha⁻¹ a los 210 días de cedrón ; Méndez (2011) elevó el pH de 4.4 a 4.8 con una aplicación de 2 t ha⁻¹ de cal agrícola ; Braeuner *et al.* (2005) incrementó el pH de 4.0 a 4.8 y 4 a 5.2 con la aplicación de 5 y 10 t ha⁻¹ de cal dolomítica y los rendimientos logrados fueron de 4.25 y 4.80 t ha⁻¹, respectivamente referente al testigo que fue de 2.35 t ha⁻¹ de café y 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 93.89 qq ha⁻¹ referente al testigo de 50 qq ha⁻¹ de café.

Tabla 8 .Promedios y prueba de Tukey al 5% para pHH₂O en los diferentes días de evaluación.

Dosis de cal agrícola + Fertilizante	Tiempo de evaluación (días)							
	0	30	45	60	75	90	105	120
6.3 t ha ⁻¹	4.5	5.2 a	5.2 a	5.3 a	5.4 a	5.5 a	5.5 a	5.6 a
5.0 t ha ⁻¹	4.5	5.1 b	5.1 b	5.2 a	5.4 a	5.5 b	5.5 b	5.6 b
Testigo	4.5	4.5 c	4.5 c	4.5 b	4.6 b	4.6 c	4.6 c	4.6 c

- **Aluminio intercambiable**

Se observaron diferencias significativas para Al⁺³ a diferentes días 0, 30, 45, 60, 75, 90, 105 y 120. Los valores registrados a los 30 y 90 días de la evaluación manifestaron significancia estadística, pero a los 105 y 120 días ya no se pudo determinar el Al⁺³ dando unos valores ya no

detectados en el laboratorio. El coeficiente de variación osciló entre 0.4 % y 3.6 %, lo cual indica homogeneidad del suelo para esta variable (Anexo 5).

El Al^{3+} intercambiable al inicio del experimento se mantiene en el rango tóxico a los 30, 45 y 60 días pasa de rango tóxico a medio con la aplicación de 5.0 y 6.3 t ha^{-1} con 2 y 2.5 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de suelo, disminuye significativamente el Al^{3+} frente al testigo; a los 75 días con la aplicación de 6.3 t ha^{-1} de rango tóxico a bajo y con 5 t ha^{-1} se mantiene en el mismo rango de medio; sin embargo, a los 90 días con 6.3 t ha^{-1} ya no se detectó el Al^{3+} , mientras que con 5 t ha^{-1} se mantiene en el rango bajo; no obstante no se siguió registrado los valores de Al^{3+} motivo que a los 105 y 120 días ya no se detectó Al^{3+} , referente al testigo la disminución se debió a la aplicación del carbonato de calcio que estos actúan por disociación iónica en iones Ca^{2+} e OH^- , neutralizaron los iones Al^{3+} en forma Al OH (Tabla 9) de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación los valores no difieren significativamente según Asqui (2018) disminuyó el Al^{3+} intercambiable de 1.6 a 0.5 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de suelo; sin embargo Calva *et al.* (2017) Al^{3+} disminuyó significativamente de 0.38 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de suelo a no detectado (ND) y Zárata *et al.* (2016) Al^{3+} intercambiable disminuyó desde 8.3 a 5.5 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ de suelo, lo que confirma que la aplicación de cal disminuye el Al^{3+} soluble en el suelo.

Tabla 9 .Prueba de Tukey al 5% para el promedio de Aluminio intercambiable (Al^{3+}) $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$, en los días de evaluación.

Dosis de Cal agrícola + Fertilizante	Tiempo de evolución (días)					
	0	30	45	60	75	90
6.3 t ha^{-1}	2.1	1.5 a	1.2 a	1.1 a	0.3 a	ND
5.0 t ha^{-1}	2.1	1.6 a	1.5 b	1.3 b	1.1 b	0.8 b
Testigo	2.1	2.0 b	2.0 c	1.9 c	1.9 c	1.9 c

- **Acidez intercambiable**

Se observaron diferencias estadísticas altamente significativas en los tratamientos con diferentes dosis de CaCO_3 , para el $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$, a los 90 días, no se pudo determinar a los 105 y 120 días la $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$. El coeficiente de variación osciló entre 0.5 % y 2.1 %, lo cual indica homogeneidad del suelo para esta variable (Anexo 6).

El $Al^{3+} + H^{+}$ al inicio del experimento se mantiene en el rango tóxico a los 30, 45 y 60 días pasa de rango tóxico a medio con la aplicación de 5.0 y 6.3 t ha⁻¹ con 2 y 2,5 cmol (+) kg⁻¹ de suelo, disminuye significativamente el $Al^{3+} + H^{+}$ frente al testigo; a los 75 días con la aplicación de 6.3 t ha⁻¹ de rango tóxico a medio y con 5.0 t ha⁻¹ se mantiene en el mismo rango de medio; sin embargo, a los 90 días con 6.3 t ha⁻¹ ya no se detectó el $Al^{3+} + H^{+}$, mientras que con 5 t ha⁻¹ se mantiene en el rango bajo; no obstante no se siguió registrado los valores de $Al^{3+} + H^{+}$ motivo que a los 105 y 120 días ya no se detectó $Al^{3+} + H^{+}$, referente al testigo la disminución se debió a la aplicación del carbonato de calcio que estos actúan por disociación iónica en iones Ca^{2+} e OH^{-} , neutralizaron los iones Al^{3+} en forma $Al OH$ (Tabla 9)

Tabla 10. Prueba de Tukey al 5% para Acidez Intercambiable ($Al^{3+} + H^{+}$) cmol (+) kg⁻¹, en los diferentes días de evaluación.

Dosis cal agrícola + fertilizantes	Tiempo de evaluación (días)					
	0	30	45	60	75	90
6.3 t ha ⁻¹	2.1	1.4 a	1.2 a	1.1 a	0.3 a	ND
5.0 t ha ⁻¹	2.1	1.6 a	1.4 b	1.3 b	1.1 b	0.5 b
Testigo	2.1	2.0 b	2.0 c	1.9 c	1.9 c	1.9 c

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

Las bases intercambiables $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+}$ al inicio del experimento se mantuvieron en un rango bajo, a los 60 días después de la aplicación de cal agrícola más fertilización, las bases paso del rango bajo al medio. El porcentaje de saturación de bases se incrementó del rango alto a muy alto, a los 120 días los valores se conservan en los mismos rangos, este incremento se

debe a la aplicación de la cal agrícola que generó carga eléctrica negativa y por la aplicación, enmienda: Ca: 2016 kg ha⁻¹ , Ca: 2520 kg ha⁻¹, con 2 y 2.5 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ respectivas, Mg:119 y K:41 Kg ha⁻¹; fertilización: N:100, P:60, S:25, B:5 y Zn: 3 Kg ha⁻¹; en el (Anexo 8) se observa los fertilizantes y porcentaje de elemento que contiene cada uno.

Tabla 11. *Capacidad de intercambio catiónico efectiva, Bases intercambiables y % de Saturación de Bases*

Tratamiento	Dosis de Cal Agrícola	Días	Bases Intercambiables $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$							Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva %					SB %
			Ca	Mg	K	Na	Al ⁺³	CICE	SB	Ca	Mg	K	Na	Al ⁺³	
Testigo	0 t ha ⁻¹	0	1.9	0.8	0.5	0.1	1.9	5.2	3.2	36.4	14.9	8.7	2.3	37.6	62.4
		60	1.6	3.0	0.5	0.1	0.8	5.9	5.2	27.7	49.8	7.8	1.7	13.0	87.0
		120	2.1	1.2	0.3	0.2	0.5	4.2	3.7	49.9	27.4	7.4	3.8	11.5	88.5
2,0 $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$	5.0 t ha ⁻¹	60	2.4	2.5	0.4	0.1	0.6	6.0	5.3	40.4	42.2	5.9	1.0	10.6	89.4
		120	8.3	4.2	0.5	0.4	0.5	14.0	13.5	59.5	30.1	3.9	2.9	3.7	96.3
2,5 $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$	6.3 t ha ⁻¹	60	7.9	3.0	0.4	0.1	0.4	11.7	11.4	67.5	25.1	3.2	1.0	3.2	96.8
		120	7.4	3.7	0.7	0.4	0.23	12.4	12.1	59.66	29.75	5.34	3.40	1.86	98.14

- **Relación de cationes**

Al realizar la relación de cationes Ca/Mg, Mg/K, (Ca+Mg)/K no está en el rango adecuado, basándose en la tabla 2, se debe agregar Ca y Mg, para suplir este elemento se agregó cal agrícola y kieserita, en el anexo 8, indica el porcentaje de Ca y Mg que presenta estos compuestos químicos

Tabla 12. *Enmienda y relación de cationes en los rangos óptimos del suelo en estudio*

SB(%)	Enmienda				Relación de cationes			
	Antes	Después	R. óptimo (%)		Antes	Agregar	Después	R. óptimo
Ca	35	60	(60-70)	Ca/Mg	2.44	Ca	2.00	2,6 -8
K	8	6	(15-25)	Mg/K	1.71	Mg	5.29	7,5-15
Mg	14	30	(5-10)	(Ca+Mg)/K	5.9	Ca-Mg	15.9	27,5-55

- **Disponibilidad de Ca y Mg**

Al realizar la fertilización el contenido de Ca disponible se incrementó de bajo a medio; Mg disponible de bajo a alto; este incremento se debió a la enmienda, con cal agrícola, kieserita y sulfomag

Tabla 13. *Disponibilidad de Ca y Mg antes y después de la enmienda.*

Tratamientos	Interpretación	Rango óptimo	Ca cmol (+) kg ⁻¹		Rango óptimo	Mg cmol (+) kg ⁻¹	
			Antes	Después		Antes	Después
2.5 cmol (+) kg ⁻¹	Alto	> 9			> 2.3		3.7
	Medio	5 -9		7.4	1.6 - 2.3		
	Bajo	< 5	0.7		< 1.6	0.2	
2 cmol (+) kg ⁻¹	Alto	> 9			> 2.3		
	Medio	5 -9		8.3	1.6 - 2.3		2.3
	Bajo	< 5	0.7		< 1.6	0.2	
Testigo	Alto	> 9			> 2.3		
	Medio	5 -9			1.6 - 2.3		
	Bajo	< 5	0.7	2.0	< 1.6	0.	1.0

4.1.3. Variables dasométricas

Altura de planta

Se evidenció observaron diferencias significativas ($p < 0.001$) para los tratamientos en todas las fechas de evaluación 0, 30, 45, 60, 75, 105 y 120 días después de la aplicación de cal más fertilizante) y diferencia significativa ($p < 0.04$). El coeficiente de variación se presentó en el rango de 5.64 % a 1.48 %.

La evolución de la altura de planta incremento 12 cm con las dosis de 2 cmol (+) kg⁻¹ y con la dosis de 2.5 cmol (+) kg⁻¹ con un incremento de 11cm, que correspondes a 5.0 t ha⁻¹ y 6.3 t ha⁻¹ respectivamente; inferiores al testigo con 7 cm, este efecto de debió a la aplicación de cal agrícola más fertilización en las diferentes fechas de registro se ilustra en las Figuras 3.

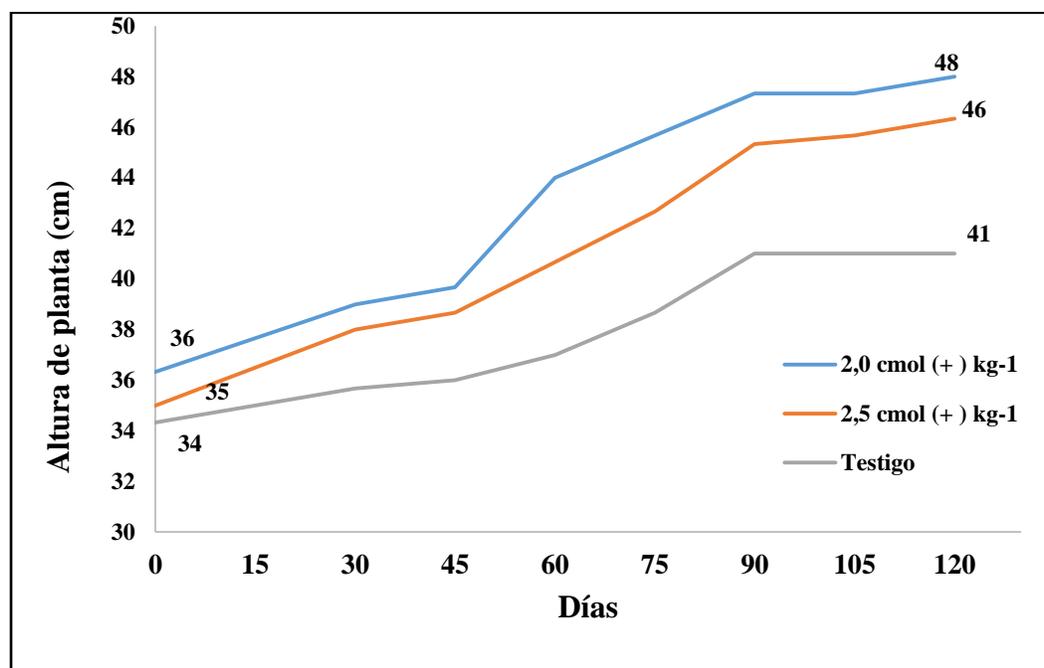


Figure 2 .Crecimiento del café en relación a enmienda más fertilización

- **Diámetro de copa**

Para diámetro de copa se observaron diferencias significativas ($p < 0.001$) para el factor fertilización en todas las fechas de registro. Además, se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para el factor cal agrícola más fertilizante 30, 45, 60, 75, 90, 105 y 120 días, después de la aplicación de cal agrícola más fertilización El Coeficiente de variación está en el rango de 5.4 % a 4.6 %.

La evolución diámetro copa incremento 12 cm con las dosis de 2 cmol (+) kg⁻¹ y con la dosis de 2.5 cmol (+) kg⁻¹ con un incremento de 9 cm que correspondes a 5.0 t ha⁻¹ y 6.3 t ha⁻¹ respectivamente; referente al testigo con 3 cm este efecto de debió a la aplicación de cal agrícola más fertilización en las diferentes fechas de registro se ilustra en las Figuras 4.

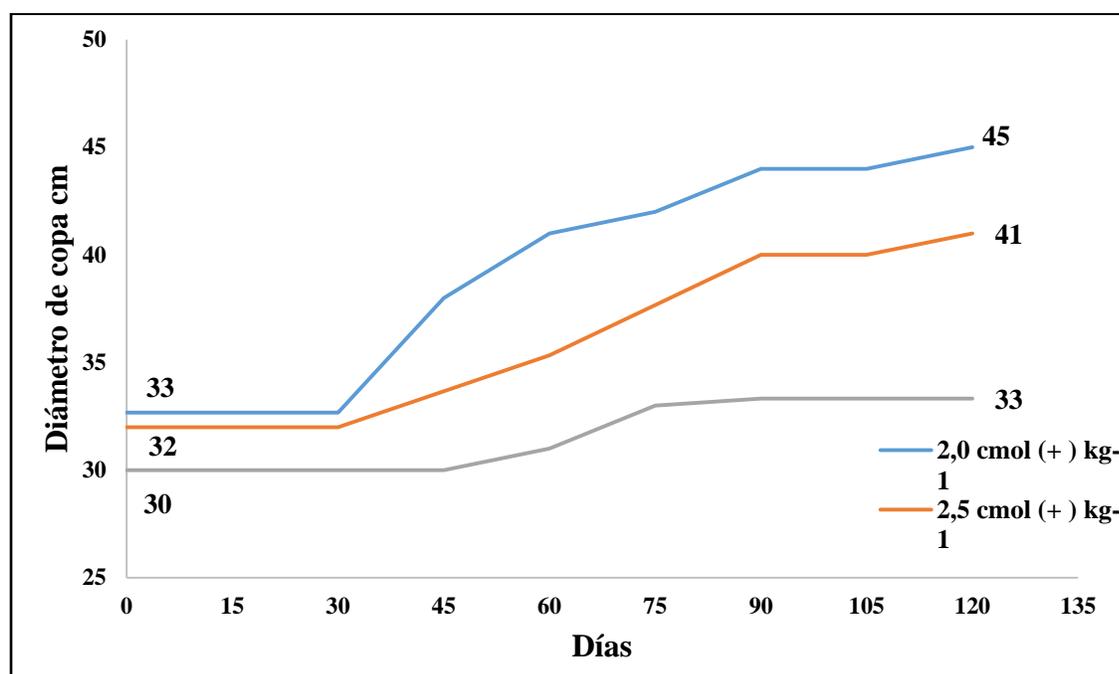


Figure 3. Crecimiento del café en relación a enmienda más fertilización

- **Diámetro basal**

Para diámetro basal se observaron diferencias significativas ($p < 0.001$) para el factor fertilización en todas las fechas de registro. Además, se detectaron diferencias significativas ($p < 0.004$) para el factor cal agrícola más fertilizante 30, 45, 60, 75, 90, 105 y 120 días, después de la aplicación de cal agrícola más fertilización El Coeficiente de variación está en el rango de 1.2 % a 9.0 %.

La evolución diámetro basal incremento 0.57 cm con las dosis de 2 cmol (+) kg⁻¹ y con la dosis de 2.5 cmol (+) kg⁻¹ con un incremento de 0.31 cm que correspondes a 5.0 t ha⁻¹ y 6.3 t ha⁻¹ respectivamente; referente al testigo con 0 cm este efecto de debió a la aplicación de cal agrícola más fertilización en las diferentes fechas de registro se ilustra en las Figuras 5.

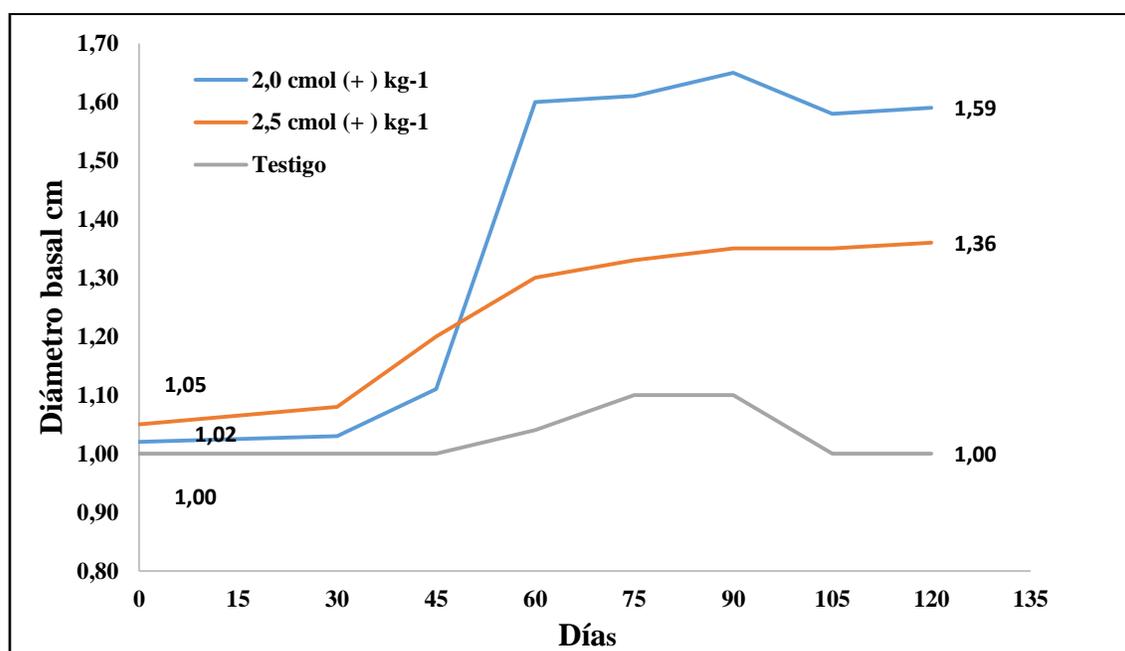


Figure 4. Crecimiento del café en relación a enmienda más fertilización

- **Numero de hojas**

Se evidenció diferencias significativas ($p < 0.001$) para los tratamientos en todas las fechas de evaluación (0, 30, 45, 60, 75, 105 y 120 días después de la aplicación de cal más fertilizante) y diferencia significativa ($p < 0.05$). El coeficiente de variación se presentó en el rango de 19.6 % a 9.2 %

El número de hojas incremento 12 cm con las dosis de 2 cmol (+) kg^{-1} y con la dosis de 2.5 cmol (+) kg^{-1} con un incremento de 10 cm que correspondes a 5.0 t ha^{-1} y 6.3 t ha^{-1} respectivamente; referente al testigo con 3 cm este efecto de debió a la aplicación de cal agrícola más fertilización en las diferentes fechas de registro se ilustra en las Figuras 6.

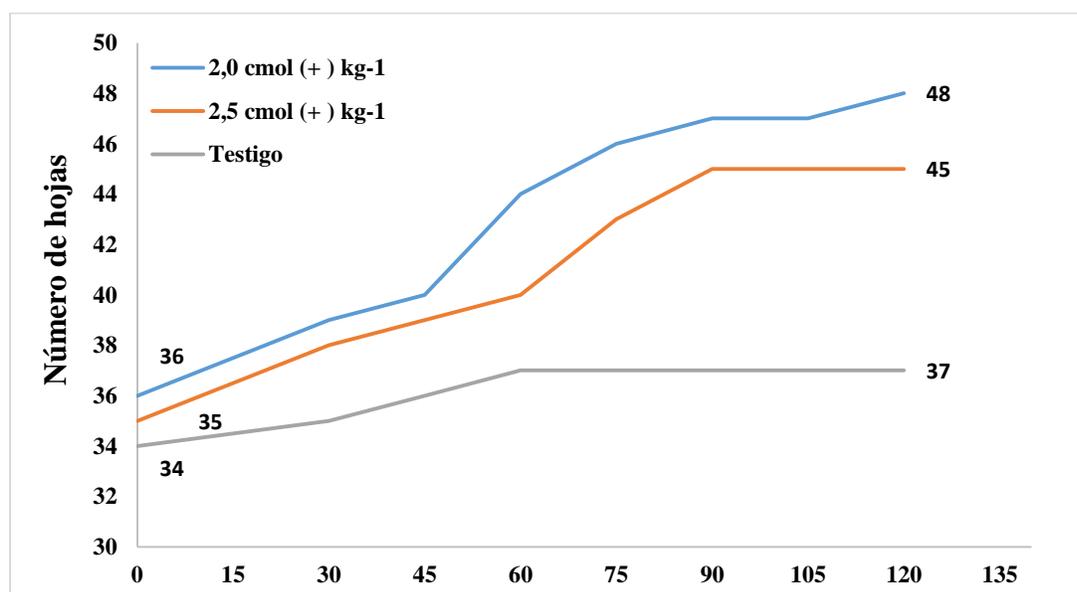


Figure 5. Crecimiento del café en relación a enmienda más fertilización

La diferencia altura, diámetro basal, diámetro de copa y número de hojas de la planta por efecto de la aplicación de cal agrícola y fertilización, se atribuye al efecto combinado de los nutrientes aplicados enmienda: Ca :2016 kg ha^{-1} , Ca:2520 kg ha^{-1} con 2 y 2.5 cmol(+) kg^{-1} respectivas, Mg:119 y K:41 Kg ha^{-1} ; fertilización: N:100, P:60, S:25, B:5 y Zn: 3 Kg ha^{-1} y del ion CO_3 , que facilita la absorción de los nutrientes, especialmente del fósforo, debido al incremento del pH (Valarezo ,2004); también Zárate *et al.* (2016) a la aplicación de (200-45-60) N-P₂O₅-K₂O, logró el incremento las variables dasométricas del cultivo de café de 4 a 10 cm y Méndez (2011) aplicó (112-42-47) N-P₂O₅-K₂O e incrementó de 10 a 13 cm en las variables dasométricas.

5. Conclusiones

- En la prueba de incubación rápida la aplicación de hidróxido de calcio a las 120 horas el pH incrementó de 4.5 a 5.3, el Al^{3+} disminuyó de 2.1 cmol kg^{-1} a 1.2 cmol kg^{-1} y la $\text{Al}^{3+} \text{ H}^+$ de 3.5 cmol kg^{-1} a 2.2 cmol kg^{-1} .
- La aplicación de cal más la fertilización, mejoró las características dasométricas de altura de planta, número de hojas, diámetro basal y diámetro de copa, en la etapa de crecimiento del cultivo de café.
- La aplicación de cal más la fertilización se logró incrementar el pH desde 4.5 a 5.6 el Al^{3+} disminuyó de 2.1 cmol kg^{-1} a ND (no detectado) y la $\text{Al}^{3+} \text{ H}^+$ de 3.5 cmol kg^{-1} a ND (no detectado).
- La aplicación de cal más la fertilización incremento el porcentaje de saturación de bases fue 62.3 % a 96.3 % que corresponde de alto a muy alto.
- La disponibilidad del Ca incrementó de 0.7 cmol kg^{-1} a 8.3 cmol kg^{-1} de bajo a medio y Mg de 0.2 cmol kg^{-1} a 3.7 cmol kg^{-1} de bajo a alto.

6. Recomendaciones

- En el método de incubación rápida al momento de colocar agua en la muestra de suelo, se debe llegar a capacidad de campo y no saturarla, porque la evaluación de la variable es cada 24 horas hasta las 120 horas, por efecto de la evapotranspiración se pierde el agua dando como resultado una muestra muy compactada y se daña la muestra.
- Instalar una estación meteorológica principalmente un pluviómetro para poder registrar las altas precipitaciones de la zona de estudio.

7. Bibliografía

- Aguirre. (2001). *Estudio de la adición de aluminio a los suelos de la Zona Sur de*.
file:///C:/Users/usuario/Downloads/Asqui_Saraza_Christiam_Rudy.pdf.
- Alarcó, A. (2011). *Modelo de gestión productiva para el cultivo de café (Coffea arábica L.) en el sur de Ecuador. Maestría. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid:*
<https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fimgv2-2-f.scribdassets.com%2Fimg%2Fdocument%2F307102184%2Foriginal%2F538559576c%2F1549541635%3Fv%3D1&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.scribd.com%2Fdocument%2F307102184%2FEncalado-de-Suelos&docid=Iplsy5rpcvunQM>.
- Bohn. (2002). *Química de suelo*. México Grupo Noriega pp. 155 – 165.:
<https://outlook.live.com/mail/inbox/id/AQQkADAwATZiZmYAZC1lZjlkLWU1ZDktMDACLTAwCgAQAMSc8W2JtiRPvkfyax%2Bv5s%3D>.
- Carmen Calva, J. E. (2017). *Effect of four liming materials on acidity control of a soil from Loreto, Orellana*. file:///C:/Users/usuario/Downloads/505-Manuscrito-1918-1-10-20180908%20(4).pdf.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Ecuador, B. C. (2014). *Reporte de coyuntura sector agropecuario*. Banco Central del Ecuador, Vol.2, no. 87, pp. 31-36, ISSN: 1390-0579.
- Ecuador, P. (2013). *ANÁLISIS SECTORIAL DE CAFÉ*. Consultado: el 03 de julio del 2018
e:http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/05/PROEC_AS2013_CAFE.pdf.
- Enríquez, G., y va Duicela, L. (2014). *Guía técnica para la producción y poscosecha de café*.

- FAO. (2017). Los fertilizantes y su empleo. Recuperado de /factor-intensidad-de-los-nutrientes.html
- Enríquez, G. &. (2014). *Guía técnica para la producción y poscosecha del café . robusta*. Cofenac.
- Etienne, M. (2000). *Milvopastoral management in temperate and Mediterranean areas*.
https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2826/9788498874297_content.pdf?sequence=1.
- Francisco Mite, L. M. (2009). *Efecto de la Correccion de pH en los rendimientos de piña en los suelos volcanicos .*
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/140/3/03%20AGP%2075%20BIBLIOGRAFIA%20CITADA.pdf>.
- Gautheyrou, P. y. (2006). *Corrección de suelos acidificados mediante enmiendas*.
<https://www.cenicafe.org/es/publications/AVT0466.pdf>.
- Girón, J. (2018). *Enmiendas de suelo en el cultivo de café*. Colombia : Centro de Investigaciones en Café de Anacafé –Cedicafé–.
- Guerrero, M. (2017). *RENDIMIENTOS DE CAFÉ*. Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información coordinación General del Sistema de Información Nacional Ministerio de Agricultura y Ganadería: Quito Ecuador .
- Koppen, W. (1936). *Das geographische system der klimate*. Berlin: Handbuch der Klimatologie,
- Holdridge, L. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. San José: Editorial IICA, pp. 216
- López, H. y. (2018). *EFECTOS DEL ENCALADO EN SUELO ÁCIDO CULTIVADO CON CAFÉ (Coffea arabica L.) EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA EL TRIUNFO, CHIAPAS, MÉXICO*. file:///C:/Users/unsuario/Downloads/270-Texto%20del%20art%C3%ADculo-449-1-10-20180601%20(1).pdf.

- Mario Braeuner, R. O. (2005). *Efectos de la aplicación de cal dolomítica y yeso agrícola en cafetales (Coffea arabica) afectados con Mal de Viñas en Guatemala*.
<http://www.traderargentina.com.ar/cafetales.pdf>.
- Molina, J. E. (1999). *Acidez y Encalado de los suelos*.
<https://es.scribd.com/document/178504221/Acidez-y-Encalado-de-Suelos-Libro-Por-J-Espinoza-y-E-Molina>.
- Mosquera-Losada, R.-B. S.-D.-N.-R. (2009). *Biodiversity and silvopastoral Systems use change in very acid soils. Agriculture, ecosystems and environment*.
https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=nMi1HgPHgOwC&oi=fnd&pg=SL2-PA141&dq=tesis+sobre+encalado&ots=txysS6MdfS&sig=C4FuS2QUBveBmSp_fIUhbNBY_q0#v=onepage&q=tesis%20sobre%20encalado&f=false.
- Nacional, C. C. (2013). *Situación del sector cafetalero ecuatoriano*. Portoviejo, Ecuador. pp.71. :
https://www.ecuadorencifDDras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Informe_Ejecutivo_ESPAC_2017.pdf.
- Nagaike, T. (2002). *Different in plant species diversity in between conifers (Larix*.
https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347,,/6194/pg_067-080_nacc2.pdf?sequence=1.
- Nair, K. R. (2005). *Silvopasture as an approach to reducing nutrient*.
<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6425/A1740e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Narváez. (2010). *cultad de Ciencias Básicas*. Docente Ocasional. Fa.Universidad de la Amazonía. Email: hematita@latinmail.com.

Navas, A. (2016). *Las causas de la acidez de suelos*. Colombia:

<https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/5-causas-de-la-acidez-de-suelos-y-la-forma-de-enmendar>.

Norberto. (1986). *Reacción del suelo*. . Estación experimental agropecuaria Rafaela.

Ortega, J. (2014). *MANEJO DE LA ACIDEZ Y ENCALAMIENTO DE LOS SUELOS* .

<https://core.ac.uk/download/pdf/132690849.pdf>.

Osler Antonio, O. A. (2014). *Efecto de encalamiento y fertilización en dos suelos con cultivo de café, Las Manos, Nueva Segovia, Nicaragua*.

<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3514/1/CPA-2014-061.pdf>.,

Osorno. (2012). *La Acidez Del Suelo*.

[https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/6194/pg_067-](https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/6194/pg_067-080_nacc2.pdf?sequence=1)

[080_nacc2.pdf?sequence=1](https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/6194/pg_067-080_nacc2.pdf?sequence=1).

Padilla, W. (2007). *Manejo de la química y fertilidad de los suelos (4.a ed.)*. . Clinica agrícola:

[https://books.google.com.ec/books?id=DVdgAAAAMAAJ&q=padilla+Clinica+agrícola](https://books.google.com.ec/books?id=DVdgAAAAMAAJ&q=padilla+Clinica+agrícola&dq=padilla+Clinica+a.gricola&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwi05-H4o_jAhWFv1kKHdMsAs8Q6AEIMDAB)
&dq=padilla+Clinica+a.gricola&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwi05-
H4o_jAhWFv1kKHdMsAs8Q6AEIMDAB.

Pérez, T. L. (2011). *Producción de café (Coffea arabica). Cultivo, beneficio, plagas y enfermedades*. . Puebla, México.:

[https://dspace.unl.edu.ec/jmmspui/bitstream/123456789/19043/1/JORGE%20LUIS%20J](https://dspace.unl.edu.ec/jmmspui/bitstream/123456789/19043/1/JORGE%20LUIS%20JARAMILLO%20CONDOLLO.pdf)
ARAMILLO%20CONDOLLO.pdf.

Ribadulla, S. (2013). *Encalado sobre propiedades químicas*.

[http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0002-](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0002-192X2003000200007&script=sci_arttext&tlng=es)

[192X2003000200007&script=sci_arttext&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0002-192X2003000200007&script=sci_arttext&tlng=es).

Sadeghian. (2008). *La Acidez Del Suelo*.

<https://es.scribd.com/document/242020183/INTRODUCCION-acidez-docx>.

Sanchez. (2008). *Suelos ácidos*.

York[http://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/Referenc](http://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/Referenc).

Valarezo, C. (2014). Gestión de la fertilidad del suelo en el trópico húmedo, en la Región Amazónica Ecuatoriana bajo sistemas agroforestales. Universidad Nacional de Loja. CEDAMAZ Y PROMSA, Loja-Ecuador. p 27-29.

Zapata, R. (2004). *Química de la acidez del suelo*. Universidad Nacional de Colombia Medellín.:

<http://www.sidalc.net/cgi->

[bin/wxis.exe/?IsisScript=oet.xis&method=post&fo.rmato=2&cantidad=1&expresion=mf n=016301](http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=oet.xis&method=post&fo.rmato=2&cantidad=1&expresion=mf n=016301).

Zárate, G. y. (2016). *ESTUDIO COMPARATIVO DE LA APLICACIÓN DE DOS ENMIENDAS CALCÁREAS SOBRE UN SUELO ÁCIDO Y EL DESARROLLO VEGETATIVO (Coffea arabica L.), EN LA PROVINCIA DE SATIPO*.

<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1903/Mendez%20Paitan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

8. Anexos

Anexo 1 .Cuadrados medios y p-valor para el pHH_2O en la prueba de incubación a las diferentes horas.

Fuente de Variación	Gl	0 horas		24 horas		48 horas		72 horas		96 horas		120 horas	
		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor
Dosis de Hidróxido de Calcio	4	0.010	0.188	0.003	0.126	0.060	0.003	0.100	0.003	0.190	<0.001	0.190	<0.001
Bloques	2	0.030	0.004	0.010	0.053	0.010	0.410	0.005	0.622	0.020	0.063	0.010	0.256
Error Experimental	8	0.003		0.002		0.010		0.010		0.004		0.010	
Coefficiente de Variación %		1.3		1.0		1.6		2.0		1.3		1.5	

Anexo 2 .Cuadrados medios del p- valor del Aluminio Intercambiable (Al^{3+} $cmol (+) kg^{-1}$), en las pruebas de Incubación a las diferentes horas.

Fuente de Variación	Gl	0 horas		120 horas	
		CM	p-valor	CM	p-valor
Dosis de Hidróxido de Calcio	4	0.007	0.976	0.370	<0.0001
Bloques	2	0.010	0.300	0.002	0.2401
Error Experimental	8	0.010		0.001	
Coefficiente de Variación %		3.8		2.2	

Anexo 3 .Cuadrados medios de p – valor para el Acidez Intercambiable ($Al^{3+} + H^+$) $cmol (+) kg^{-1}$), en las pruebas de Incubación a las diferentes horas.

Fuente de Variación	Gl	0 horas		120 horas	
		CM	p-valor	CM	p-valor
Dosis de Hidróxido de Calcio	4	0.010	0.082	0.970	<0.0001
Bloques	2	0.001	0.537	0.002	0.134
Error Experimental	8	0.002		0.006	
Coefficiente de Variación %		1.2		0.9	

Anexo 4 .Cuadrados medios y p -valor para el pHH_2O en el suelo a diferentes días de la evaluación.

Fuente de Variación	Gl	0 horas		30 horas		45 horas		60 horas		75 horas		90 horas		105 horas		120 horas	
		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor
Dosis de Cal agrícola + Fertilizante	2	0.004	0.066	0.37	<	0.42	<	0.49	<	0.7	<	0.880	<	0.910	< 0.001	0.970	< 0.001
				0	0.001	0	0.001	0	0.001	10	0.001		0.001				
Bloques	2	0.002	0.149	0.00	0.790	0.00	0.392	0.00	0.912	0.0	0.542	0.000	0.111	0.0001	0.21	0.00001	0.444
				01		04		01		01		4					
Error Experimental	4	0.001		0.00		0.00		0.00		0.0		0.000		0.0006		0.00001	
				04		03		14		01		1					
Coefficiente de Variación %		0.62		0.14		0.38		0.75		0.73		0.06		0.15		0.06	

Anexo 5. Cuadrados medios del p- valor del Aluminio Intercambiable (Al^{3+} cmol (+) kg^{-1}), a diferentes días de la evaluación.

Fuente de Variación	Gl	0 horas		30 horas		45 horas		60 horas		75 horas		90 horas	
		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor
Dosis de Cal agrícola + Fertilizante	2	0.004	0.309	0.260	0.001	0.500	< 0.001	0.530	< 0.001	2.030	0.0037	2.740	< 0.001
Bloques	2	0.004	0.309	0.010	0.160	0.001	0.444	0.0009	0.536	0.070	0.444	0.00001	0.444
Error Experimental	4	0.003		0.003		0.001		0.0012		0.070		0.00001	
Coefficiente de Variación		2.5		3.5		2.1		2.5		3.6		0.4	

Anexo 6. Cuadrados medios del p- valor del Acidez Intercambiable ($Al^{3+} + H^{+}$ cmol (+) kg^{-1}), a diferentes días de la evaluación

Fuente de Variación	Gl	0 horas		30 horas		45 horas		60 horas		75 horas		90 horas	
		CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor	CM	p-valor
Dosis de Cal agrícola + Fertilizante	2	0.004	0.301	0.250	0.001	0.500	< 0.001	0.540	< 0.001	2.031	0.0038	2.742	< 0.001
Bloques	2	0.004	0.301	0.010	0.160	0.001	0.444	0.0008	0.540	0.075	0.445	0.00001	0.442
Error Experimental	4	0.003		0.003		0.001		0.0012		0.070		0.00001	
Coefficiente de Variación		1.8		1.9		2.1		2.0		2.1		0.5	

Anexo 7 . Fertilizantes.

Fertilizantes	Primera		Segunda	Tercera
	kg/ensayo	g/planta		
Urea	11.0	7	7	7
18-46-0	48.4	30	-	-
ZnSO4	5.3	3	-	-
Borax	14.7	9	-	-
Sulopmag	84.8	52	-	-
Kieserita	194.4	120	-	-
Total	347.6	221	-	-

Anexo 8. Composición química de los fertilizantes utilizados para la fertilización.

Fertilizante	Contenidos de Nutrientos (%)							
	N	P2O5	K2O	Ca	Mg	S	Zn	B
DAP (18-46) (50 kg)	18	46	-	-	-	-	-	-
Urea (50 kg)	46	-	-	-	-	-	-	-
ZnSO4 (25 kg)	-	-	-	-	-	4	23	-
Bórax (25 kg)	-	-	-	-	-	-	-	11
Kieserita (50 kg)	-	-	-	-	15	20	-	-
Cal agrícola (50 Kg)	-	-	-	40	-	-	-	-

Anexo 9 .Tríptico divulgativo del día de campo.

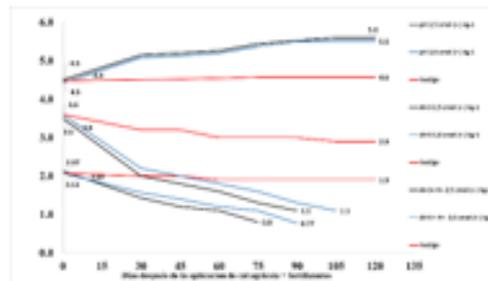
	ANTES	DESPUÉS	Relación Óptima*
% Ca	35.34	77.19	
% K	8.459	6.28	
% Mg	14.47	15.01	
Ca/Mg	2.44	5.1	2,6-8
Mg/k	1.71	2.4	7,5-15
Ca+Mg/k	5.9	14.7	27,5-55

Altura de planta Numero de hojas Diámetro copa Diámetro basal

Monitoreo del pH, la acidez, intercambiable y bases intercambiables, en la zona radicular de sistemas agroforestal café, tratados con dosis crecientes de cal agrícola

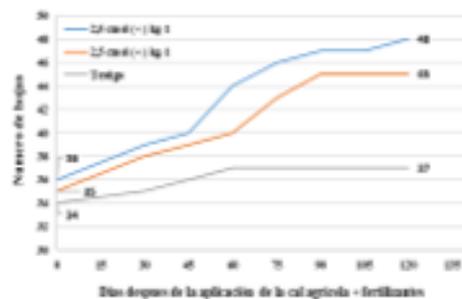
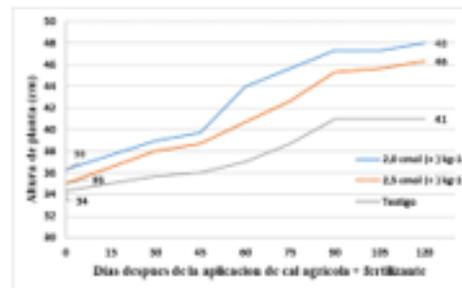
Se determinó: pH, Al^{3+} , bases intercambiables y CIC. A los 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, d.d.a.c + fertilización.

4. RESULTADOS



Días después de la aplicación de cal agrícola + Fertilización

CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS



5. CONCLUSIONES.

- La aplicación de cal más la fertilización, mejoró las características dasométricas de altura de planta, número de hojas, diámetro basal y diámetro de copa, en la etapa inicial del cultivo de café.
- La aplicación de cal más fertilización incrementó el pH_{H_2O} desde muy ácido a ligeramente ácido.
- La aplicación de cal más fertilizantes disminuyó la acidez intercambiable ($Al^{3+} H^+$) desde el rango tóxico a medio.
- La aplicación de cal + la fertilización incremento el % de saturación de bases paso del 62.40% al 96.85 % de alta a muy alta.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE
RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

"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 CANTON LOJA."



TESISTA: Rosa Rodríguez Sarango.

DIRECTOR: Ing. Miguel Villamagua

LOJA – ECUADOR
Agosto -2019

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de café es una de las principales actividades agrícolas que se realizan en el Ecuador de las cuales están distribuidas de la especie de café Arábigo el 65% de la producción nacional de café, con un rendimiento de 0.23 t ha⁻¹, y de café Robusta al 35% del total producido a nivel nacional, con una productividad de 0.49 t ha⁻¹.

También los cantones productores de café son Puyo, Chaguarumbo, Olmedo, Quilanga, Espíndola (Pro Ecuador, 2015), estos presentan condiciones edafoclimáticas favorables para la producción de café. Sin embargo, la baja productividad siempre ha sido un problema a enfrentar en la caficultura lojana en la cual en la provincia de Loja con un rendimiento de café Arábigo de 0.32 t ha⁻¹ y en el cantón Loja con un rendimiento de 0.17 t ha⁻¹, inferiores a otras provincias más productivas como Carchi con 0.93 t ha⁻¹ (Guarseo, 2017).

El principal factor limitante en la producción agrícola es causado por la acidez debido a la variedad de materiales parentales y condiciones ambientales sobre los cuales se desarrollaron, por lo que una vasta área está cubierta por suelos viejos (Ultisoles) sinónimo de suelos ácidos, por tanto, es necesario controlar la acidez para incrementar y sostener buenos rendimientos agrícolas (Ortega, 2014).

La acidez del suelo, unida a la poca disponibilidad de nutrientes, es una de las mayores limitantes que pueden inducir la baja productividad de suelos ácidos. Aunque la acidificación es un proceso natural, la agricultura, la población y otras actividades humanas aceleran este proceso (Sanchez, 2008).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Generar conocimientos sobre el efecto de la aplicación de cal agrícola en la corrección de la acidez y la disponibilidad de Ca y Mg, en la zona radicular de los suelos del sistema agroforestal de café (*Coffea Arabica L.*) de La Hacienda El Cristal, en la perspectiva de asegurar los más altos rendimientos y los mejores réditos económicos, que también puedan ser aplicables a zonas

cafetaleras de la provincia de Loja con suelos de características similares.

2.2. Objetivos específicos

- > Determinar la evolución de la neutralización del Al³⁺ intercambiable frente a dosis crecientes de hidróxido de calcio bajo condiciones de incubación en muestras de suelos de la Hacienda el Cristal
- > Evaluar la respuesta del cultivo del café a la aplicación de diferentes dosis de Cal estimadas en función del contenido de aluminio intercambiable en un Ultisol
- > Monitorear el pH, acidez intercambiable y la disponibilidad de Ca y Mg con dosis crecientes de Cal obtenidas del experimento de incubación; en el suelo a la profundidad de la zona radicular del café en la Hacienda el Cristal.

3. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del ensayo

En la provincia de Loja, cantón Loja, Parroquia Malacatos, entre los barrios de Pueblo Nuevo y Tres Leguas, con una temperatura media de 18 °C, precipitación media anual de 1.200 mm y una altitud: 1900 – 2100 msnm

3.2. Materiales

- > Hidróxido de calcio; Cal agrícola; Kieserita
- > Sulfomag; Borax; Urea y fosfato diamónico

3.3. Metodología

Evaluación de la neutralización del Al intercambiable de los suelos frente a dosis crecientes de hidróxido de calcio bajo condiciones de incubación

Identificación de la zona en estudio y toma de muestras alteradas a 25cm de profundidad

Tratamientos que se aplicó en el método de incubación Los tratamientos en una estufa a 30°C, se evaluó el pH, cada (24, 48, 72, 96 y 120) horas y Al³⁺ a las 120 horas

Evaluación de la respuesta del cultivo del café a la aplicación de diferentes dosis de cal

TRATAMIENTOS	Ca(OH) ₂ kg Mg	PH/ALUMINIO
1.000 ¹ kg ¹ /M	Ca 0.00	
1.000 ² kg ¹ /M	1.000 ² kg ¹ Ca	pH
1.000 ³ kg ¹ /M	1.5.000 ³ kg ¹ Ca	Al ³⁺
1.000 ⁴ kg ¹ /M	2.0.000 ⁴ kg ¹ Ca	
1.000 ⁵ kg ¹ /M	2.5.000 ⁵ kg ¹ Ca	

Elementos	Dosis de Cal Agrícola
Ca= 0.0.000 ¹ kg ¹ Ca + Fertilizante	
Ca= 2.000 ² kg ¹ Ca + Fertilizante	Trelega 3 t ha ⁻¹
Ca= 2.5.000 ³ kg ¹ Ca + Fertilizante	4.3 t ha ⁻¹

La cal se aplicó al voleo en doble recorrido en 50 cm de radio.

FERTILIZACIÓN Y ENMIENDAS PARA LA ETAPA INICIAL DEL CAFE

ENMIENDAS					
Aplicó	kg/ha	g/planta	No. Plantas	kg/ensayo	Sacos
Selbomag	201.8	52.95	1020	54.82	2
Kieserita	600	120	1020	194.4	4
	kg/ha	kg/m ²	Kg/hilera	kg/ensayo	Sacos
Cal agrícola	5040	0.504	6	810	21
	6300	0.63	7.5	1013	26

Elementos	Kg ha ⁻¹	g/planta	Fuente
N	100	20	Urea
P	60	12	Fosfato diamónico
Zn	3	0.6	Sulfato de Zinc
B	5	1	Borax
S	25	5	

Anexo 10. Planificación del evento de discusión de resultados

Tipos de eventos: Día de Campo

Tema: 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.

Lugar: Ciudad de Loja

Participantes: Director de tesis, tesista, docentes y estudiantes de la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables



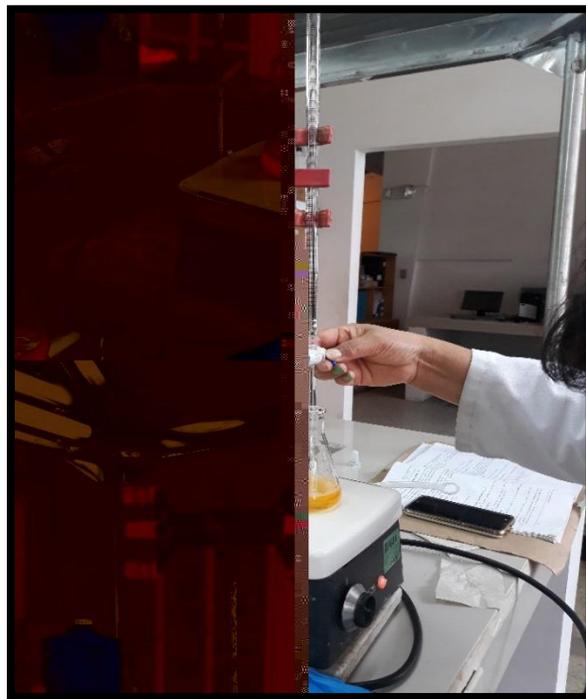


Anexo 11 .Aplicación de la cal más fertilizantes.



Anexo 12 .Monitoreo de pH , A^{+3} y $A^{+3} + H^{+}$





Anexo 13 .Monitoreo de la variables dasométricas.



Anexo 14 .*Tratamiento de aplicación de la cal más fertilizantes.*

INICIO

- Testigo + fertilizantes



- Tratamiento 2 cmol kg⁻¹ (5.0 t ha⁻¹) + fertilizantes



- Tratamiento 2,5 cmol kg⁻¹ (6.3 t ha⁻¹) + fertilizantes



30 días

- Testigo + fertilizantes



- Tratamiento 2 cmol kg⁻¹ (5.0 t ha⁻¹) + fertilizantes



- Tratamiento 2,5 cmol kg⁻¹ (6.3 t ha⁻¹) + fertilizantes



60 días

- Testigo + fertilizantes



- Tratamiento 2 cmol kg⁻¹ (5.0 t ha⁻¹) + fertilizantes



- Tratamiento 2,5 cmol kg⁻¹ (6.3 t ha⁻¹) + fertilizantes



90 días

- Testigo + fertilizantes



- Tratamiento 2 cmol kg⁻¹ (5.0 t ha⁻¹) + fertilizantes



- Tratamiento 2,5 cmol kg⁻¹ (6.3 t ha⁻¹) + fertilizantes



120 días

- Testigo + fertilizantes



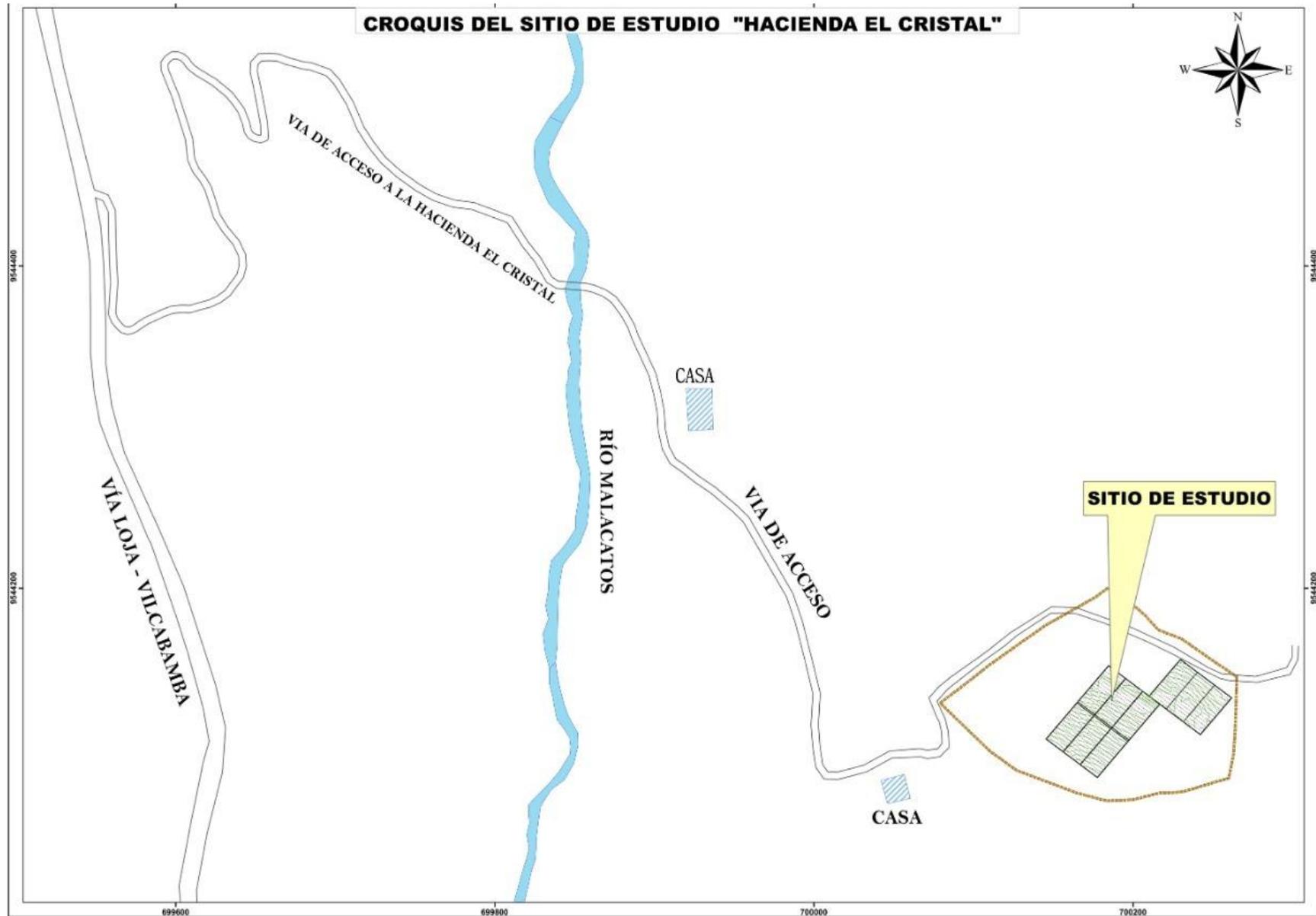
- Tratamiento 2 cmol kg⁻¹ (5.0 t ha⁻¹) + fertilizantes



- Tratamiento 2,5 cmol kg⁻¹ (6.3 t ha⁻¹) + fertilizantes



Anexo 15 .Croquis del acceso al sitio del ensayo, sector Pueblo Nuevo.



Anexo 16. Levantamiento Topografico a la zona de estudio

