



1859

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 EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE
CAFÉ (*Coffea arabica* L.), EN PUEBLO NUEVO DEL CANTÓN LOJA

*Tesis de Grado previa a la
obtención del Título de
Ingeniero Agrícola*

Marvin Gabriel Guayanay Castillo

AUTOR

M.Sc. Miguel Ángel Villamagua

DIRECTOR

LOJA – ECUADOR

2021

CERTIFICACIÓN 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 EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.), EN PUEBLO NUEVO DEL CANTÓN LOJA;** de autoría del señor egresado Marvin Gabriel Guayanay Castillo, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola, el mismo que ha sido dirigido y revisado desde su inicio hasta su culminación dentro del cronograma aprobado; por lo tanto, autorizo su presentación para su correspondiente calificación.

Loja, 4 de septiembre de 2020



Firmado electrónicamente por:

**MIGUEL
ANGEL**

M.Sc. Miguel Ángel Villamagua
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

El Tribunal Calificador del trabajo de tesis titulado: **“EVOLUCIÓN DE LA ACIDEZ EN UN ULTISOL A LA APLICACIÓN DE CAL Y RESPUESTA EN EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.), EN PUEBLO NUEVO DEL CANTÓN LOJA”**; de autoría del señor **Marvin Gabriel Guayanay Castillo**, egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola, certifica que se ha incorporado al trabajo final de tesis, todas las sugerencias efectuadas por el tribunal, por tal motivo se procede a la aprobación y calificación del trabajo de Tesis de Grado. Por lo tanto, se autoriza continuar los trámites pertinentes.

Loja, 16 de marzo de 2021

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
**OMAR AUGUSTO
OJEDA OCHOA**

M.Sc. Omar Augusto Ojeda Ochoa

PRESIDENTE



Firmado electrónicamente por:
**EDISON
RAMIRO**

Dr. Edison Ramiro Vázquez

VOCAL



Firmado electrónicamente por:
**MARIA NARCISA
CHAMBA ONTANEDA**

M.Sc. María Narcisa Chamba Ontaneda

VOCAL

AUTORÍA

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

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

Firma:

Autor: Marvin Gabriel Guayanay Castillo

Cédula: 1105437220

Fecha: Loja, 25 de marzo de 2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **Marvin Gabriel Guayanay Castillo**, declaro ser autor de la tesis titulada: **“EVOLUCIÓN DE LA ACIDEZ EN UN ULTISOL A LA APLICACIÓN DE CAL Y RESPUESTA EN EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.), EN PUEBLO NUEVO DEL CANTÓN LOJA”**, como requisito para optar al grado de INGENIERO AGRÍCOLA, autorizo 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 veinticinco días del mes de marzo de dos mil veintiuno, firma el autor.

Firma:

Autor: Marvin Gabriel Guayanay Castillo

Número de cédula: 1105437220

Dirección: Bellavista – Espíndola

Correo electrónico: mgguayanayc@unl.edu.ec

Celular: 0981423577

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: M.Sc. Miguel Ángel Villamagua

Tribunal de Grado: M.Sc. Omar Ojeda Ochoa Presidente

Dr. Edison Ramiro Vásquez Vocal

M.Sc. María Chamba Ontaneda Vocal

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a Dios por su voluntad durante el transcurso y culminación de la carrera universitaria. De manera especial, agradezco al M.Sc. Miguel Ángel Villamagua, director de la presente tesis, quien me ayudó y orientó con sus valiosos conocimientos durante el desarrollo de la investigación. Al Ph.D. Max Encalada Córdova, Director de Investigación. Al M.Sc. Omar Ojeda, Director del Laboratorio de Suelos, Agua y Bromatología, al personal bajo su dirección por su ayuda en los análisis de laboratorio. Al Dr. Gustavo Samaniego, por su colaboración y haber concedido el terreno para la instalación del experimento.

De igual manera agradezco a los docentes de la Carrera de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Loja, por brindarme su paciencia y sabiduría, y formar parte de este objetivo alcanzado.

A todas aquellas personas quienes me brindaron su apoyo y tiempo; a mis padres, hermanos, compañeros y amigos que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar el trabajo de fin de carrera.

Marvin Guayanay

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo va dedicado primeramente a Dios, por darme las fuerzas necesarias para culminar una de las metas trazadas en el caminar de mi vida.

A mis padres José y Cecilia por haber sido el apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria, por estar conmigo en todo momento y extender su mano cuando más los necesito, por su amor brindado cada día y que han sabido formarme como ser humano con buenos hábitos y valores. De verdad mil gracias.

A mis hermanos y más familiares por su cariño y apoyo incondicional en las diferentes etapas de este proceso, por impulsarme a seguir en la lucha diaria y pueda terminar esta etapa de mi vida con bien.

A mis amigos y compañeros que con su amistad, consejos y palabras de aliento hicieron de mi una mejor persona y que de una u otra forma me han acompañado en el cumplimiento de mis metas.

Marvin Guayanay

ÍNDICE GENERAL

| Contenido | Pág. |
|--|-------------|
| PORTADA | I |
| CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS..... | II |
| CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO | III |
| AUTORÍA..... | IV |
| CARTA DE AUTORIZACIÓN..... | V |
| AGRADECIMIENTO..... | VI |
| DEDICATORIA..... | VII |
| ÍNDICE GENERAL..... | VIII |
| ÍNDICE DE TABLAS | X |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XI |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | XII |
| TÍTULO DE LA TESIS | XIII |
| RESUMEN..... | XIV |
| ABSTRACT | XV |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA | 5 |
| 2.1. Acidez del suelo..... | 5 |
| 2.1.1. Causas de la acidez | 6 |
| 2.2. Aluminio intercambiable..... | 7 |
| 2.3. Clasificación de la acidez..... | 7 |
| 2.3.1. Acidez activa..... | 7 |
| 2.3.2. Acidez intercambiable..... | 7 |
| 2.3.3. Acidez no intercambiable..... | 8 |
| 2.3.4. Acidez potencial..... | 8 |
| 2.4. Relación de cationes | 8 |
| 2.4.1. Porcentaje de saturación de bases | 8 |
| 2.4.2. Saturación por bases..... | 9 |

| | |
|--|----|
| 2.5. Encalado..... | 10 |
| 2.5.1. Materiales de encalado..... | 11 |
| 2.5.2. Reacción de la cal en el suelo..... | 11 |
| 2.5.3. Tamaño de partícula de la cal..... | 12 |
| 2.5.4. Respuesta del café al encalamiento..... | 13 |
| 2.6. Efecto de la acidez en la disponibilidad de nutrientes..... | 13 |
| 2.7. Desarrollo vegetativo del café..... | 15 |
| 2.8. Resultados de otras investigaciones..... | 15 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 19 |
| 3.1. Descripción del área de estudio..... | 19 |
| 3.2. Materiales y equipos..... | 20 |
| 3.3. Metodología..... | 20 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 23 |
| 4.1. Monitoreo de las propiedades químicas..... | 23 |
| 4.1.1. Reacción del pH..... | 23 |
| 4.1.2. Acidez intercambiable..... | 24 |
| 4.1.3. Aluminio intercambiable..... | 25 |
| 4.1.4. Capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables..... | 26 |
| 4.1.5. Disponibilidad de nutrientes..... | 27 |
| 4.2. Variables dasométricas..... | 28 |
| 4.2.1. Altura de la planta..... | 28 |
| 4.2.2. Número de hojas..... | 30 |
| 4.2.3. Diámetro de copa..... | 31 |
| 4.2.4. Diámetro basal..... | 32 |
| 5. CONCLUSIONES..... | 34 |
| 6. RECOMENDACIONES..... | 35 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA..... | 36 |
| 8. ANEXOS..... | 39 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Valores óptimos generales de la CIC | 8 |
| Tabla 2. Porcentajes óptimos de las bases de cambio | 8 |
| Tabla 3. Porcentajes generales de saturación por bases | 9 |
| Tabla 4. Relación Ca/Mg | 9 |
| Tabla 5. Relación Mg/K | 10 |
| Tabla 6. Relación (Ca + Mg)/K..... | 10 |
| Tabla 7. Eficiencia relativa granulométrica de la cal con base en el tipo de malla..... | 12 |
| Tabla 8. Niveles del factor tratamiento aplicados en el experimento | 20 |
| Tabla 9. Medias y prueba de Tukey al 5 % para el pH _{H2O} | 23 |
| Tabla 10. Medias de acidez intercambiable (Al ³⁺ + H ⁺) cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹ | 24 |
| Tabla 11. Medias de aluminio intercambiable (Al ³⁺) cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹ | 25 |
| Tabla 12. Bases intercambiables, relación de cationes, % SB y CIC | 26 |
| Tabla 13. Contenidos disponibles de los nutrientes en el suelo | 27 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Diferencias entre un suelo ácido y acidez adecuada para café | 6 |
| Figura 2. Disponibilidad de los nutrientes en relación al pH | 14 |
| Figura 3. Efecto del pH en la fijación de P en los suelos dominados por arcillas 2:1. | 15 |
| Figura 4. Ubicación geográfica del proyecto de investigación, Hacienda El Cristal..... | 19 |
| Figura 5. Evolución de la altura de planta en relación a enmienda + fertilización | 28 |
| Figura 6. Evolución del número de hojas en relación a enmienda + fertilización | 30 |
| Figura 7. Evolución del diámetro de copa en relación a enmienda + fertilización | 31 |
| Figura 8. Evolución del diámetro basal en relación a enmienda + fertilización | 32 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Análisis de varianza de pH_{H_2O} | 39 |
| Anexo 2. Dosis de elementos aplicados por planta y fuentes utilizadas | 39 |
| Anexo 3. Análisis de suelo a los 120 días de la instalación del experimento | 40 |
| Anexo 4. Análisis de suelo a los 300 días de la instalación del experimento | 41 |
| Anexo 5. Análisis de varianza de la altura de planta | 45 |
| Anexo 6. Análisis de varianza del número de hojas | 45 |
| Anexo 7. Análisis de varianza del diámetro de copa | 45 |
| Anexo 8. Análisis de varianza del diámetro basal | 45 |
| Anexo 9. Monitoreo de las propiedades químicas | 46 |
| Anexo 10. Monitoreo de las variables dasométricas | 46 |
| Anexo 11. Poda del cafeto..... | 47 |
| Anexo 12. Diferentes tratamientos con aplicación de cal + fertilización..... | 48 |

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

RESUMEN

La producción cafetalera constituye una de las principales actividades económicas en la provincia de Loja, misma que ocupa el 13,5 % de las 199 215 ha cultivadas en Ecuador, con productividad de 0,25 t.ha⁻¹; el bajo rendimiento causado por la acidez y falta de reposición de la fertilidad del suelo, es una problemática que afecta las zonas cafetaleras de la provincia. El trabajo de investigación se desarrolló de septiembre de 2019 a febrero de 2020, en el sector Pueblo Nuevo del cantón Loja, en un suelo ácido con 40 % de pendiente que se clasifica como Kandiudults, con la finalidad de generar conocimientos sobre el efecto de la aplicación de cal agrícola (CaCO₃) en la corrección de la acidez y la disponibilidad de nutrientes en el sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.), para ello se monitoreó las propiedades químicas del suelo y las variables dasométricas del café, en un diseño experimental de bloques al azar, con 0, 5,0 y 6,3 t.ha⁻¹ de CaCO₃ y tres réplicas, las unidades experimentales recibieron dosis iguales de fertilización (N, P, K, Mg, S, Zn y B). Los resultados muestran que las dosis de 5,0 y 6,3 t.ha⁻¹ de CaCO₃ no presentaron diferencias significativas: el pH evolucionó de 5,6 a 6,2; se redujo la acidez y aluminio intercambiable a niveles no detectables, la CIC pasó de bajo a medio y el porcentaje de saturación de bases incrementó a rango de suelo medio, los contenidos de N, P, S, K, Ca, Mg, Cu, Zn y B permanecen en rango alto, mientras el Fe y Mn se reducen. En cuanto al monitoreo de las variables dasométricas se encuentra similitud entre los valores obtenidos en los tratamientos con aplicación de cal y diferencias estadísticas significativas respecto al testigo.

Palabras clave: acidez, cal agrícola, *Coffea arabica* L., pH, variables dasométricas.

ABSTRACT

Coffee production constitutes a of the main economic activities in the province of Loja, which occupies 13,5% of the 199 215 ha cultivated in Ecuador, with productivity of 0,25 t.ha⁻¹; the low yield caused by acidity and lack of replacement of soil fertility is a problem that affects the coffee growing areas of the province. The research work was developed of September 2019 to February 2020, in the Pueblo Nuevo sector of the Loja canton, in an acid soil with 40 % slope that is classified as Kandiudults, with the purpose to generate knowledge about the effect of the application of agricultural lime (CaCO₃) in the correction of acidity and the availability of nutrients in the agroforestry system of coffee (*Coffea arabica* L.), for this, the chemical properties of the soil and the dasometric variables of coffee were monitored, in an experimental design of random blocks, with 0, 5,0 and 6,3 t.ha⁻¹ of CaCO₃ and three replicates, the experimental units received equal doses of fertilization (N, P, K, Mg, S , Zn and B). The results show that the doses of 5,0 and 6.3 t.ha⁻¹ of CaCO₃ did not present significant differences: the pH evolved from 5,6 to 6,2; acidity and interchangeable aluminum were reduced to undetectable levels, the CIC went from low to medium and the percentage of base saturation increased to medium soil range, the contents of N, P, S, K, Ca, Mg, Cu, Zn and B remain in high range, while Fe and Mn are reduced. As for the monitoring of dasometric variables there is similarity between the values obtained in the treatments with application of lime and significant statistical differences with respect to the control.

Keywords: acidity, agricultural lime, *Coffea arabica* L, pH, dasometric variables.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de café desempeña un papel importante en la economía mundial, en varios países las exportaciones de café representan gran parte de sus ingresos en divisas por su alto valor económico (Flores, 2015). En Ecuador, la producción cafetalera tiene relevancia sustancial en lo económico, social y ambiental. En lo económico para el 2015 representó ingresos de USD 145 354 370,31 según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador (Duicela-Guambi et al., 2017).

El café constituye un rubro importante en la exportación y agroindustria. Duicela-Guambi (2016), indica que a finales de 2014, la caficultura ecuatoriana se resumía en los siguientes datos: producción anual estimada en 30 000 t, consumo interno de 12 000 t, requerimiento de la industria 72 000 t, capacidad instalada para exportación de café en grano 30 000 t. Lo que supone una necesidad de 114 000 t, por tanto, un déficit anual aproximado de 84 000 t. Frente al crecimiento de un mercado insatisfecho, uno de los retos de la agricultura moderna radica en satisfacer la demanda mundial de café que seguirá creciendo a tasas anuales del 2,5 % e incluso podría superar la oferta, con un promedio superior a los 8 700 000 t (Flores, 2015).

En el Ecuador, el cultivo de café según el Consejo Cafetalero Nacional (COFENAC, 2013) cuenta con 199 215 ha, con una participación del 0,49 % de la producción mundial. El 68 % de esta superficie corresponde a la especie *Coffea arabica* L. (arábigo) con una productividad de 0,22 t.ha⁻¹ y el 32 % a *Coffea canephora* (robusta) con productividad de 0,49 t.ha⁻¹ (Duicela-Guambi, 2016).

La provincia de Loja, produce el mejor café ecuatoriano de altura, reconocido a nivel internacional con diez tasas doradas (La Hora, 2020); constituye una de las principales fuentes de ingresos y empleo para los productores cafetaleros, ocupa el 13,5 % del área nacional cultivada, con una productividad estimada en 0,25 t.ha⁻¹ (COFENAC, 2013). La producción

cafetera se distribuye en los cantones Puyango 39 %, Chaguarpamba 15 %, Olmedo 15 %, Quilanga 7 %, Espíndola 7 % y el resto de cantones representan el 17 % de la producción. Dadas las condiciones geográficas y climáticas de Loja, se cultiva desde los 600 hasta los 2000 m de altitud, aunque se han registrado cultivos hasta los 2200 msnm (Guachisaca, 2015).

Se cultiva básicamente en sistemas agroforestales con la producción de especies arbóreas de valor económico o que contribuyen a la conservación de los recursos naturales y biodiversidad. Andrade y García (2017) indican que Ecuador presenta un gran potencial para el cultivo del café; sin embargo, la baja producción en el país atribuida a causas como: cultivos viejos, limitadas innovaciones tecnológicas, reducción del área cultivada y deficiente manejo de suelo y agua, es el problema central del sector cafetalero; además, la actividad agro productiva presenta limitantes como suelos ácidos, fuertes pendientes y baja disponibilidad de nutrientes, lo que se evidencia en bajo rendimiento y concomitantemente alta tasa de migración de los productores (Fondo Ecuatoriano de Cooperación para el Desarrollo [FECD], 2011).

Los suelos de las zonas cafetaleras de altura de la provincia de Loja, se caracterizan por ser ácidos ($\text{pH} < 5,5$) a ligeramente ácidos ($\text{pH} 5,7$), con presencia de aluminio intercambiable ($\text{Al}^{3+} 1,07\text{--}1,94 \text{ cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$) y bajos niveles de N, P, Ca, Mg, K, Zn y B; toxicidad de Fe, Al y Mn, condiciones que afectan las características químicas y biológicas del suelo, reducen el crecimiento de las plantas y limitan el rendimiento del cultivo (Villamagua, 2019).

En este contexto, la Universidad Nacional de Loja destina recursos para investigar el efecto de la fertilización y tensiones de humedad en el cultivo de café en zonas representativas de la provincia de Loja, con la finalidad de recuperar productivamente los suelos buscando sostenibilidad económica y ambiental. De esta manera, en la parroquia Malacatos, barrio Pueblo Nuevo, en la Hacienda El Cristal, Rodríguez (2019) desarrolló un trabajo de investigación durante el transcurso de 120 días, sobre la evolución de la acidez a la aplicación de diferentes dosis de cal agrícola y respuesta en la fase inicial del cultivo de café, en un ultisol.

En el sistema agroforestal de cultivo de café con árboles de aliso (*Alnus acuminata*) de regeneración natural, con 40 % de sombra y 30 meses desde el trasplante, determinado por un bajo crecimiento y desarrollo; se instaló un diseño experimental de bloques al azar, tres réplicas y tres dosis de CaCO_3 : 0, 5,0 y 6,3 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ correspondiente a 0, 2,0 y 2,5 $\text{cmol}^{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$, que se establecieron a partir del contenido de Al^{3+} . Los tratamientos recibieron dosis iguales de fertilización (N: 100, P: 60, K:100, Mg: 60, S: 25, B: 5 y Zn: 3 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Anexo 2), considerando los nutrientes disponibles en el suelo, los requerimientos del cultivo y la evaluación biológica de la fertilidad del suelo (Rodríguez, 2019).

A los 120 días, los tratamientos de 5,0 y 6,3 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ presentaron cambios significativos: el $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ pasó de rango Ácido (pH 4,5) a Ligeramente Ácido (pH 5,6); se redujo el aluminio (Al^{3+} 2,1 $\text{cmol}^{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$) y acidez intercambiable ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ 3,5 $\text{cmol}^{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$) de niveles tóxicos a no detectables, incrementó la concentración de las bases intercambiables de rango bajo a medio, mejoró la relación de cationes, la CIC evolucionó de una valoración de suelo pobre (13,5 $\text{cmol}^{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$) a medio (17,0 $\text{cmol}^{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$), el % SB incrementó de rango bajo (23,0 %) a alto (73,3 %), incrementaron los contenidos disponibles de macro y micronutrientes, mejoró la altura de planta, número de hojas, diámetro basal y diámetro de copa (Rodríguez, 2019).

Por lo anterior, resulta necesario y se ha planteado el presente trabajo sobre evolución de la acidez en un ultisol a la aplicación de cal y respuesta en el desarrollo vegetativo del cultivo de café (*Coffea arabica* L.), con el propósito de continuar con el monitoreo de estas variables y determinar el efecto de la aplicación de cal agrícola en la corrección de la acidez y la disponibilidad de nutrientes en el sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.); estudio que permitirá disponer de conocimientos técnicos y prácticos sobre la gestión sostenida de fertilidad del suelo, a fin de lograr mejores resultados en rendimientos y calidad, que contribuyan a mejorar el nivel de vida del productor en general. En estas consideraciones, los objetivos planteados para esta investigación se mencionan a continuación:

Objetivo General

Contribuir en la generación de conocimientos sobre el efecto de la aplicación de cal agrícola en la corrección de la acidez y la disponibilidad de nutrientes en el sistema agroforestal de café en la Hacienda El Cristal, con la perspectiva de lograr mejores resultados en rendimiento y calidad, y que puedan ser aplicables en las zonas cafetaleras con suelos de características similares.

Objetivos específicos

- Monitorear el pH, acidez intercambiable, bases intercambiables, CIC y disponibilidad de nutrientes en diferentes dosis de cal agrícola en el suelo, a la profundidad de la zona radicular del café en el período de 90-270 días después de la aplicación de la cal.
- Evaluar la respuesta del desarrollo vegetativo del cultivo del café frente a la aplicación de diferentes dosis de cal agrícola.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Acidez del suelo

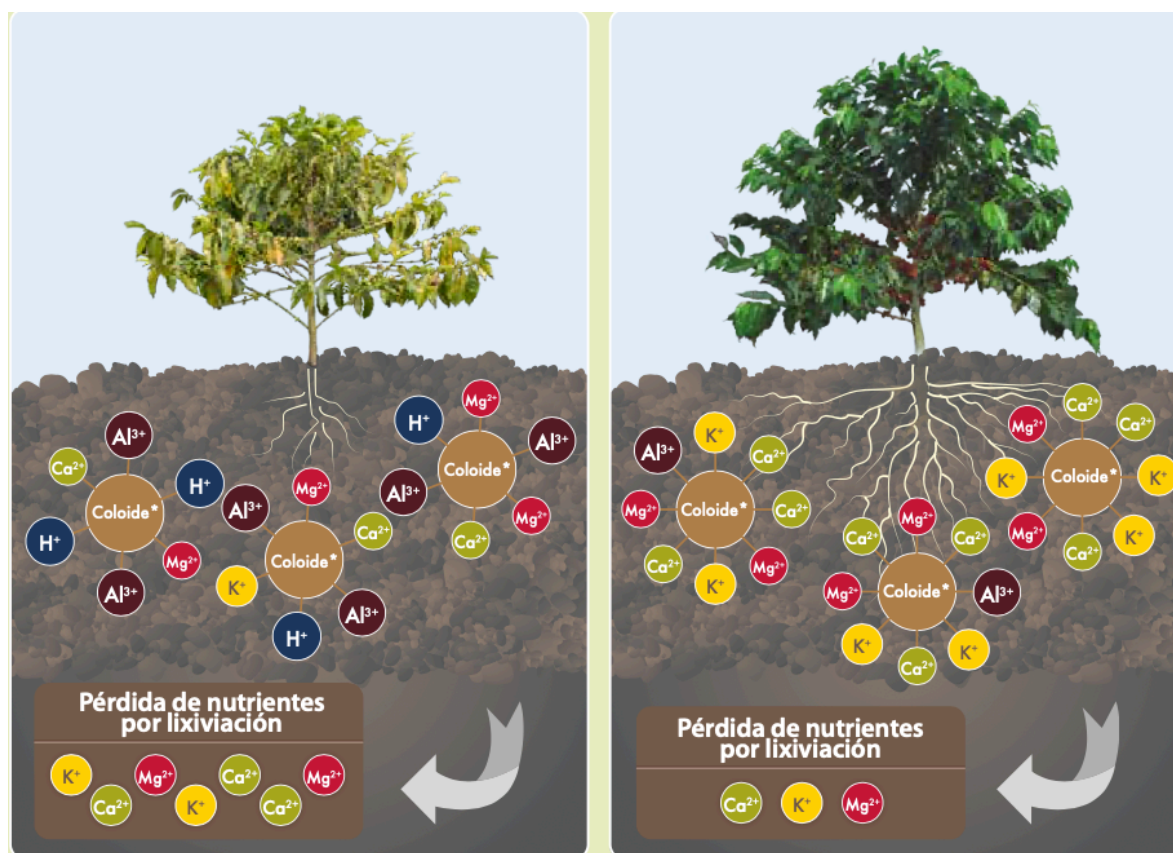
Para obtener los mejores rendimientos de los cultivos de café es necesario el control de la acidez del suelo, encontrándose valores críticos en algunas zonas. El potencial de iones hidrógeno H^+ en la solución del suelo (pH) permite valorar esta acidez y a medida que éste se encuentre en un rango más bajo, la acidez será mayor y por consiguiente la concentración de Al^{3+} tóxico para las plantas. Es necesario alcanzar un pH mayor a 5,5 para neutralizar el Al^{3+} y lograr un buen desarrollo del café. En condiciones de acidez: iones de Al^{3+} y Mn^{2+} solubles tienen efectos nocivos para las plantas, hay alteración en las actividades microbianas que actúan en la mineralización de la materia orgánica y transformación de N y S, mientras el P forma compuestos insolubles con Al^{3+} lo que reduce su disponibilidad (Sadeghian, 2016).

La acidez de suelo también significa una disminución de la CIC, con implicaciones en la fertilidad y eficiencia de la fertilización, pues habrá menor capacidad de retención debido a que los aluminios ocupan los sitios de intercambio, menor participación de bases intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+) y facilidad para perderse por lixiviación (Sadeghian, 2016).

La MO y arcillas retienen los elementos cargados positivamente (bases e incluidos el Al^{3+} e H^+) evitando que se pierdan por lixiviación, de esta manera los cationes retenidos por estas fuerzas electrostáticas se intercambian con aquellos que se encuentran en la solución del suelo; suceso conocido como Capacidad de Intercambio Catiónico. Los suelos con alta CIC tienen capacidad de retener más cationes ácidos y por lo tanto tienen mayor capacidad de amortiguación (Sadeghian, 2016).

Figura 1

Diferencias entre un suelo ácido y acidez adecuada para café



Fase intercambiable, disponibilidad de bases intercambiables, presencia de Al³⁺, crecimiento radical y pérdidas de nutrientes por lixiviación como consecuencia de la acidez del suelo para café

Fuente: Sadeghian (2016)

2.1.1. Causas de la acidez

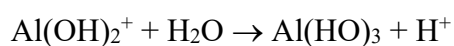
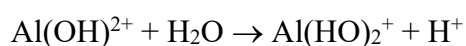
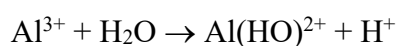
Entre las causas más comunes que generan la acidez del suelo están: lavado de bases intercambiables por lluvia y su reemplazo por cationes de Al³⁺, descomposición de MO, oxidación del azufre, nitrificación del amonio-NH₄⁺ y la liberación de H⁺ por las raíces cuando absorben Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺. Además, los aniones nitrato-NO₃⁻, sulfato-SO₄²⁻ y cloruro-Cl⁻, procedentes de los fertilizantes (Sadeghian, 2016).

Para el control de la acidez se dispone de genotipos tolerantes, aplicar abonos orgánicos, controlar la erosión, uso de microorganismos, pero la de mayor efectividad es el empleo de enmiendas (Sadeghian, 2016).

2.2. Aluminio intercambiable

El aluminio intercambiable presente en la solución del suelo constituye el principal factor en el desarrollo de la acidez. El Al^{3+} desplazado desde las arcillas por otros cationes se hidroliza y forma complejos hidroxil-alumínicos. Las reacciones de hidrólisis del Al^{3+} liberan H^+ contribuyendo a la acidificación del suelo (Bernier & Alfaro, 2006).

Las siguientes ecuaciones describen el proceso de hidrólisis de las formas monoméricas del Al (Espinosa & Molina, 2015).



Bernier y Alfaro (2006) exponen que el Al^{3+} reduce el crecimiento de las raíces de las plantas presentando dificultades en la absorción de nutrientes y agua, por tanto, el real problema de la acidez se centra en la concentración de aluminio intercambiable en la solución del suelo y no en la concentración de iones de H^+ .

2.3. Clasificación de la acidez

Espinosa y Molina (2015) clasificaron la acidez teniendo en cuenta las diferentes formas de donde proviene:

2.3.1. Acidez activa

Iones hidrógeno libres (H^+) disociados en la solución del suelo provenientes de diferentes fuentes. La determinación de la acidez activa consiste en evaluar el pH en la solución del suelo.

2.3.2. Acidez intercambiable

Aluminio e hidrógeno intercambiables (Al^{3+} , H^+) retenidos en los coloides del suelo por fuerzas electrostáticas.

2.3.3. *Acidez no intercambiable*

Hidrógeno en enlace covalente en la superficie de las arcillas de carga variable.

2.3.4. *Acidez potencial*

Acidez intercambiable + acidez no intercambiable.

2.4. Relación de cationes

El equilibrio entre los elementos del suelo es indispensable en la absorción de la planta, debido a que existen sinergias y antagonismos entre ellos. Por ello, es importante conocer las cantidades de cationes y porcentajes como las relaciones entre los mismos (Moro, 2015).

Tabla 1

Valores óptimos generales de la CIC

| CIC total (meq/100g) | Nivel | Valoración |
|----------------------|------------|-----------------|
| 0-10 | Muy bajo | Suelo muy pobre |
| 10-20 | Bajo | Suelo pobre |
| 20-35 | Medio | Suelo medio |
| 35-45 | Medio-alto | Suelo rico |
| Mayor de 45 | Alto | Suelo muy rico |

Fuente: Moro (2015)

2.4.1. *Porcentaje de saturación de bases*

Relaciona el valor de cada base respecto al valor de la CIC total.

Tabla 2

Porcentajes óptimos de las bases de cambio

| Bases de cambio (%) | | | | | |
|---------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|
| H ⁺ | Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ |
| 0-5 | 0-0 | 65-75 | 15-20 | 4-7 | 0-5 |

Fuente: Moro (2015)

Moro (2015) describe que algunos autores consideran estos valores ligeramente modificados, presentándose el Ca en el rango del 60-80 %, Mg en el rango del 10-20 %, K del 2-6 % y el Na del 0-3 %.

2.4.2. Saturación por bases

Es la suma de los cationes principales (calcio, magnesio, potasio y sodio) respecto a la CIC. El resto del valor hasta el 100 % estará ocupado por H^+ principalmente y otras bases. En el caso del cafeto, en una experiencia brasileña realizada por Espinosa y Molina (2015) demostraron que se debe llevar a una saturación de bases de 60 % para conseguir la óptima producción.

Tabla 3

Porcentajes generales de saturación por bases

| % SB | Valoración |
|--------|---|
| < 50 | Suelo muy ácido. Aconsejable una enmienda caliza. |
| 50– 90 | Suelo medio. Su riqueza dependerá de la C.I.C. total. |
| > 90 | Suelo saturado de bases. pH neutro o básico. |

Fuente: Moro (2015)

Relación Ca/Mg.

Tabla 4

Relación Ca/Mg

| Relación Ca/Mg | Valoración |
|----------------|--|
| <1 | Deficiencia de calcio |
| Entre 1 y 2 | Bajo nivel del calcio respecto al magnesio |
| Entre 2 y 5 | Ideal |
| >5 | Deficiencia de magnesio |

Fuente: Moro (2015)

Relación Mg/K.

Tabla 5

Relación Mg/K

| Relación Mg/K | Valoración |
|---------------|-------------------------|
| <1 | Deficiencia de magnesio |
| Entre 1 y 3 | Aceptable |
| 3 | Ideal |
| Entre 3 y 18 | Aceptable |
| >18 | Deficiencia de potasio |

Fuente: Moro (2015)

Relación (Ca + Mg)/K.

Tabla 6

Relación (Ca + Mg)/K

| Relación (Ca + Mg)/K | Valoración |
|----------------------|------------------------|
| <40 | Adecuado |
| >40 | Deficiencia de potasio |

Fuente: Moro (2015)

Sadeghian (2012), considera relaciones ideales para la producción cafetalera las siguientes: Ca/Mg= 2-4, Mg/K= 3 y (Ca + Mg)/K= 10; mientras Enríquez y Duicela (2014) hacen una síntesis de las relaciones ideales para café de: Ca/Mg= 2,6-8; Mg/K= 7,5-15 y (Ca + Mg)/K= 27,5-55.

2.5. Encalado

Consiste en la aplicación de enmiendas calcáreas al suelo, es el método más común y efectivo para corregir la acidez. Mecanismo de reacción que neutraliza los iones H^+ y Al^{3+} con los iones OH^- que produce la cal en contacto con el agua, logrando un aumento en el pH, por tanto, la humedad del suelo es necesaria para elevar la efectividad de la cal. Entre los principales materiales encalantes se encuentran los carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y/o

magnesio. Cada producto presenta una capacidad variable de neutralización, debido a su diferente naturaleza química (Bernier y Alfaro, 2006).

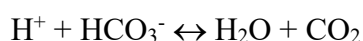
2.5.1. *Materiales de encalado*

Espinosa y Molina (2015) sugieren entre los más comunes los siguientes:

- Cal agrícola: carbonato de calcio (CaCO_3), es el más utilizado para corregir la acidez de los suelos. Se obtiene de las rocas calizas y calcáreas. La calcita pura contiene un 40 % de Ca.
- Dolomita: carbonato doble de Ca y Mg ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). El material puro contiene alrededor de 22 % de Ca y 13 % de Mg. Material muy utilizado para corregir la acidez.
- Óxido de calcio: CaO , conocido como cal viva o cal quemada, de rápida reacción, en contacto con la humedad debe mezclarse de inmediato para evitar que se endurezca e inefectividad, contiene un 71 % de Ca.
- Hidróxido de calcio: Ca(OH)_2 conocido como cal apagada o cal hidratada. También es un material de rápida reacción en el suelo. En forma pura presenta 56 % de Ca.
- Óxido de magnesio: MgO , contiene un 60 % de Mg. Posee gran capacidad de neutralización de la acidez, pero poca solubilidad en el agua compensada con una fina molida.
- Magnesita: MgCO_3 , en estado puro presenta un 28,5 % de Mg.

2.5.2. *Reacción de la cal en el suelo*

Los carbonatos de Ca y Mg en presencia de agua liberan iones hidroxilo (OH^-), que se unen al H^+ para formar agua y de esta manera neutralizar la acidez (Sadeghian, 2016).



Adicionalmente, el aluminio- Al^{3+} se precipita como Al(OH)_3 , forma en la cual no es tóxico para las plantas. Recordar que el calcio no corrige la acidez, es el OH^- de los materiales

encalantes el que cumple esta función (Sadeghian, 2016). Debido a que la cal se mueve muy poco en el suelo y los beneficios se presentan solo en la zona de aplicación, resulta necesario mezclar el material en los primeros 15-20 cm de suelo (Espinosa y Molina, 2015).

Como especifican Espinosa y Molina (2015), para determinar los requerimientos de cal de los suelos tropicales se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{CaCO}_3 \text{ (t/ha)} = \text{Factor} * \text{cmol Al/kg de suelo}$$

El factor puede ser 1,5 o 2,0 de acuerdo a las características del cultivo y tipo de suelo.

2.5.3. *Tamaño de partícula de la cal*

La velocidad de reacción de la cal está determinada por la fineza de sus partículas, a menor tamaño de la partícula del material de encalado, aumenta el área o superficie específica de contacto y la reacción de la cal será más rápida. Para estimar la eficiencia granulométrica (EG) de la cal, se pesa cierta cantidad del material que luego se cierne siguiendo normalmente la siguiente secuencia de mallas: 8 ó 10, 20, 40, 60 y 80 mesh, lo que permite retener en cada tamiz una cantidad de material y separar los diferentes tamaños de partículas, indispensable para conocer la eficiencia específica que posee cada tamaño (Espinosa y Molina, 2015).

Tabla 7

Eficiencia relativa granulométrica de la cal con base en el tipo de malla

| Número de malla mesh | Tamaño de los orificios mm | Eficiencia relativa % |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| < 8 | > 2,36 | 0 |
| 8 - 20 | 2,36 - 0,85 | 20 |
| 20 - 40 | 0,85 - 0,42 | 40 |
| 20 - 60 | 0,85 - 0,25 | 60 |
| > 60 | < 0,25 | 100 |

Fuente: Espinosa y Molina (2015)

Los materiales retenidos en malla 8 no son efectivos. Los que pasan la malla 8 y son retenidos en la malla 20 son 20 % efectivos. Los que pasan la malla 20 y se retienen en la 60

reaccionan dentro de 10-18 meses y 60 % efectivos. Mientras, todos los materiales que pasan la malla 60 son 100 % efectivos y reaccionan entre 3 y 6 meses. Lo ideal sería que el 100 % del material pase la malla 8 y entre el 70-80 % pase la malla 60 (Espinosa y Molina, 2015).

2.5.4. Respuesta del café al encalamiento

La aplicación de cal en suelos ácidos antes de la siembra favorece el crecimiento de las plantas. En una investigación reciente en Antioquia, se demostró que, con 60 g de dolomita por hoyo, en un año las plantas obtuvieron mayor diámetro de tallo y ramas más largas. En cuanto al encalamiento de cafetales en producción, una investigación desarrollada en Colombia, en las Estaciones Experimentales El Rosario y San Antonio; con $0,34 \text{ t.ha-año}^{-1}$ de cal agrícola, se registró un incremento del 15 % en la producción en ambas localidades (Sadeghian, 2016).

Además, en una experiencia brasileña se demuestra que se debe llevar a una saturación de bases de 60 % para conseguir la óptima producción. El café se desarrolla muy bien hasta una saturación de 40 % de Al en la fase de intercambio, por tanto, con el encalado lo que se busca es reducir el porcentaje de saturación del Al a niveles tolerables por el café, antes que neutralizar todo el Al^{3+} . (Espinosa y Molina, 2015)

2.6. Efecto de la acidez en la disponibilidad de nutrientes.

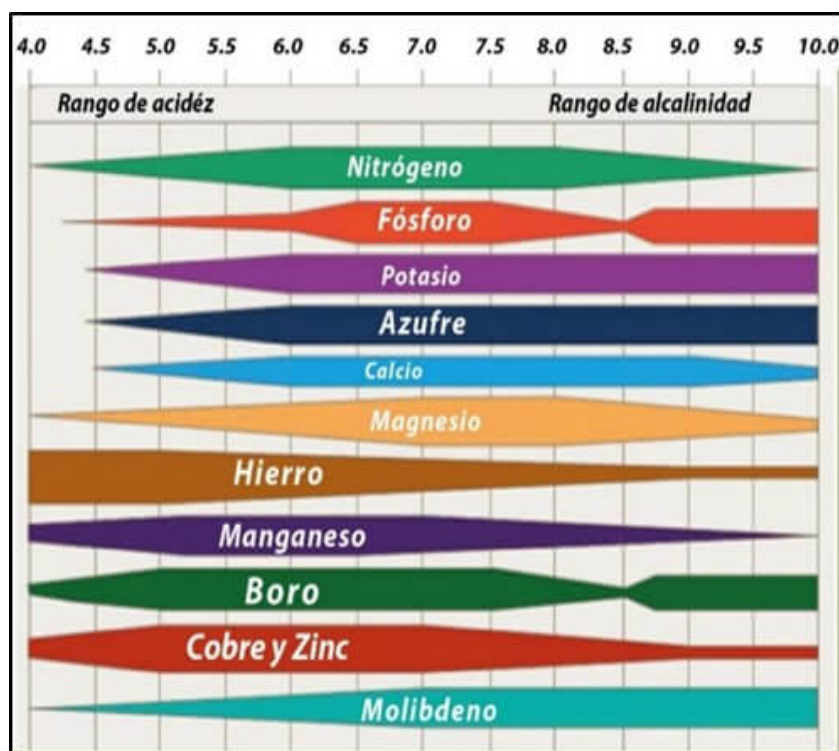
La planta toma los nutrientes de la solución del suelo en forma de iones. Los nutrientes adheridos a los sitios de intercambio de las partículas del suelo están en equilibrio con los de la solución del suelo y también pueden estar disponibles para la plantas, contrario a los nutrientes que forman minerales insolubles que no se encuentran disponibles (La Acidez del Suelo, 2020).

Con un valor de pH mayor a 6,5 los iones OH^- producen precipitación de hierro, manganeso, cobre y zinc, que no son asimilados por las raíces de las plantas, pero la concentración elevada de calcio afectada la solubilidad del fosfato que forman compuestos insolubles como el fosfato de calcio. Sin embargo, en suelos con pH menor a 6,5 el Al^{3+} afecta la solubilidad y disponibilidad de fosfato, sulfato y molibdato. De igual forma, se reduce la

nitrificación y descomposición de la MO. La mayoría de nutrientes se encuentran disponibles a un pH de 5,8 a 6,5. (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [INTAGRI], 2018)

Figura 2

Disponibilidad de los nutrientes en relación al pH



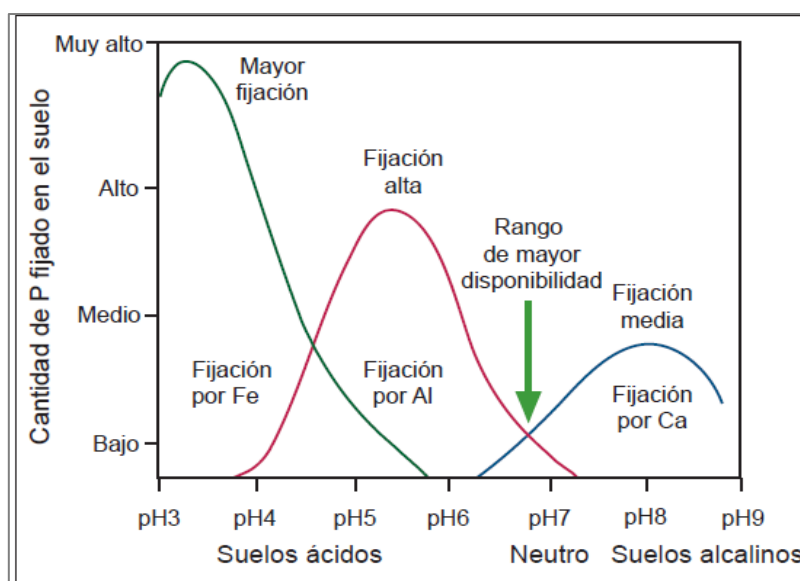
Fuente: Castellanos (como se citó en INTAGRI, 2018)

La fijación del P en ultisoles se debe a la alta reactividad y afinidad que tienen las superficies de las arcillas de estos suelos por este elemento, que retienen una apreciable cantidad de P entre un pH de 5,0 a 7,0 (Espinosa y Molina, 2015).

En suelo tropicales viejos, el Al y Fe a pH menores de 5,3 son liberados a la solución del suelo donde reaccionan con el P formando compuestos insolubles que se precipitan, incrementándose el proceso total de fijación. Con la aplicación de cal se corrige la toxicidad de Al y la deficiencia de Ca, lo cual permite incrementar la absorción de P, aún cuando el encalado tiene poco efecto en su disponibilidad y fijación, debido a que la retención de P se debe principalmente a las reacciones en las superficies de las arcillas (Espinosa y Molina, 2015).

Figura 3

Efecto del pH en la fijación de P en los suelos dominados por arcillas 2:1.



Fuente: Espinosa y Molina (2015)

2.7. Desarrollo vegetativo del café

El crecimiento vegetativo del café es bastante complejo, debido a que ocurre en gran parte de la vida del vegetal, siempre existe la formación de nuevos nudos, ramas, hojas y nuevas raíces. De esta forma el desarrollo plenamente vegetativo se divide en tres etapas: germinación a trasplante (2 meses), almácigo (5-6 meses) y siembra definitiva a primera floración (11 meses), posteriormente, ocurre simultáneamente el crecimiento vegetativo y reproductivo (Arcila et al., 2007).

2.8. Resultados de otras investigaciones

En la parroquia Malacatos, Rodríguez (2019) desarrolló una investigación sobre la evolución de la acidez a la aplicación de diferentes dosis de cal agrícola y respuesta en la fase inicial del cultivo de café. Aplicó las dosis de 0, 5,0 y 6,3 t.ha⁻¹ de CaCO₃. A los 120 días de monitoreo, los resultados indican que con la aplicación de 5,0 y 6,3 t.ha⁻¹ de cal, el pH incrementó de 4,5 a 5,6; el contenido de Al³⁺ disminuyó de 2,1 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ a no detectado. La relación de cationes de Ca/Mg= 2,44; Mg/K= 1,71 y (Ca+Mg)/K= 5,9 incrementaron a 2,01; 5,58 y 16,76 en su orden. La CIC subió de 13,5 a 17,0 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹, el % SB incrementó de 23,0

a 73,3 %. De la misma manera, mejoró el desarrollo de las variables dasométricas en relación al testigo: el incremento de AP fue $\Delta = 0,1 \text{ cm.día}^{-1}$ frente a $\Delta = 0,06 \text{ cm.día}^{-1}$ del testigo. El diámetro basal, diámetro copa y número de hojas también presentaron incrementos significativos.

López-Báez et al. (2018) investigaron el efecto del encalado y fertilización en café arábica en suelos de México. Los tratamientos fueron: 0,5 t.ha⁻¹ dolomita; fertilización (N: 30 y P: 28 g.planta⁻¹); dolomita + fertilización; testigo. Luego de 17 meses de la plantación se midió altura de planta, diámetro del tallo, largo de raíz, peso de biomasa seca, propiedades del suelo y a los 2,5 años la producción. En los tratamientos cal, fertilización, cal + fertilización las plantas superaron en 43,6; 9,5 y 26,8 cm de altura, respectivamente; a las del tratamiento testigo. El diámetro de tallo incrementó 0,6 cm con la aplicación de cal y 0,4 cm con el tratamiento cal + fertilización, en relación al testigo. Con aplicación de cal, el pH del suelo pasó de 4,8 a 5,5; el Al³⁺ se redujo significativamente y el H⁺ se redujo a cero. Demostraron además que la acidez afecta el crecimiento de las raíces, desarrollo de la parte aérea y el rendimiento de grano.

Mendez (2011) aplicó 0, 1, 2 y 3 t.ha⁻¹ de cal y dolomita agrícola sobre un cultivo de café caturra roja en la provincia de Satipo, luego de una poda de rehabilitación. A los 6 meses los resultados indican que aplicando 1 t.ha⁻¹ de cal el pH pasó de 4,4 a 4,8. El Ca²⁺ incrementó de 1,17 a 3,08 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹, sin embargo, el contenido de Mg²⁺ es más bajo aplicando cal que dolomita, incrementó de 0,7 a 1,3 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ con 3 t.ha⁻¹ de dolomita, el K⁺ incrementó de 0,6 a 1,3 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ con 2 t.ha⁻¹ de cal. El Al³⁺ + H⁺ se redujo de 8,3 a 5,4 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ aplicando 2 t.ha⁻¹ de cal. Con 3 t.ha⁻¹ de enmienda el diámetro del tallo incrementó de 0,80 a 0,96 cm y el número de ramas de 9,7 a 12,3 unidades.

Ortez y Zavala (2014) aplicaron las dosis de 0, 0,7 y 1,5 t.ha⁻¹ de Triple Cal en suelos de textura media y fina en Nicaragua para la producción de café, además fertilizaron con dos formulaciones: convencional (58-19-38 kg.ha⁻¹) y completa (132-42-82 kg.ha⁻¹) de N-P₂O₅-

K_2O , la medición de variables se realizó 20 semanas después de aplicar la cal. El incremento de pH de 5,3 a 5,9 (textura media) y de 5,5 a 6,1 (textura fina) se logró con $1,5 \text{ t.ha}^{-1}$ de cal. En cuanto al efecto fertilización donde se aplicó mayor N, el pH final fue menor debido al aporte de fuentes nitrogenadas que incrementan la acidez. Con la dosis de $0,7 \text{ t.ha}^{-1}$ de Triple Cal y fertilización completa se obtuvo el mayor rendimiento de café.

Braeuner et al. (2005) probaron el encalamiento con cal dolomítica y yeso agrícola en cafetales con Mal de Viñas en Guatemala. Se aplicó en dosis de 5 y 10 t.ha^{-1} , dos años después el pH_{KCL} subió de 4,0 a 4,8 y de 4,0 a 5,2 con 5 y 10 t.ha^{-1} respectivamente, sin diferenciación entre las fuentes de las dosis, la reducción del Al^{3+} de 14 % a 3,5 % se obtuvo de igual manera por aplicación de cal y yeso. La saturación de Ca aumentó ligera pero significativamente en función de la dosis de yeso ($p < 0,001$), respecto al Mg la cal aumentó sus niveles ($p = 0,001$) mientras el yeso los redujo ($p = 0,014$). No obstante, se mantuvo los síntomas de Mal de Viñas, prueba de que la acidez no es la causante del MDV y no hubo diferencias significativas en cuanto al rendimiento del café.

Marcelo (2020) evaluó el efecto de la dolomita en las dosis de 0; 0,2; 0,4 y $0,6 \text{ t.ha}^{-1}$ en suelos de Perú, en el cultivo de café de la variedad Catuai, a los 9 meses desde el trasplante indicó que al aplicar $0,2 \text{ t.ha}^{-1}$ de dolomita, el diámetro de tallo fue de 1,27 cm frente a 0,98 cm de las plantas testigo, aseveró que las dosis con aplicación de cal no muestran diferencias significativas, así mismo para el número de hojas y altura de la planta, observó que no existen diferencias estadísticas significativas (valor- p $0,1055 > 0,05$) entre las dosis de dolomita. Las plantas testigo presentaron menor área foliar ($35,34 \text{ cm}^2$) en comparación con las plantas encaladas con 0,2 y $0,4 \text{ t.ha}^{-1}$ que presentan 46,27 y $47,07 \text{ cm}^2$.

Calva y Espinosa (2017) investigaron el efecto de cuatro enmiendas (carbonato de calcio, dolomita, óxido de calcio y carbonato de magnesio) y ocho dosis por cada material encalante: 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0 y $6,0 \text{ t.ha}^{-1}$ tanto en invernadero como por el método de

incubación en suelos de la provincia de Orellana. Para la prueba de invernadero se sembró trigo en macetas dejando crecer por 6 semanas, los mayores rendimientos en biomasa se lograron con las dosis de 1,0 y 1,5 t.ha⁻¹ de dolomita y carbonato de calcio. En los resultados de incubación luego de 45 días el pH se eleva de 5,2 a 6,0; la acidez intercambiable de 0,52 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ y aluminio intercambiable de 0,38 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ se neutralizan a valores no detectables con las mismas dosis que permitieron mayor acumulación de biomasa.

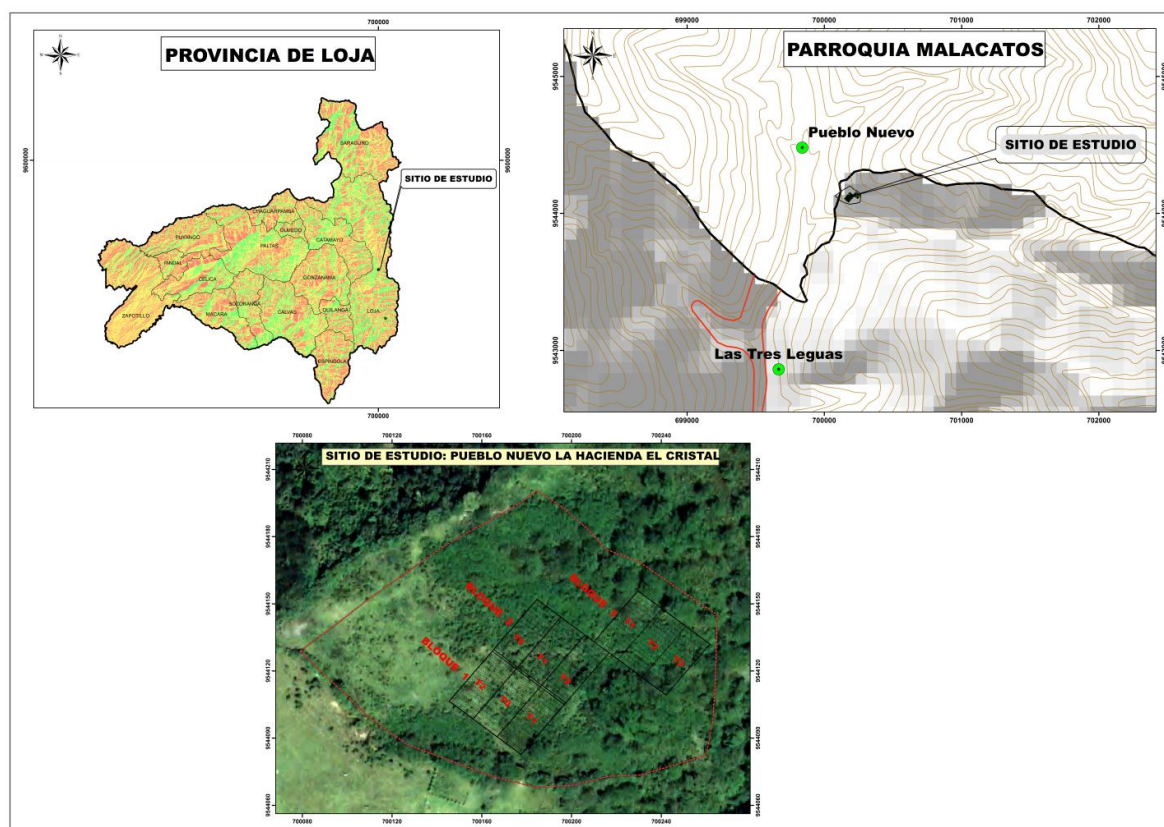
3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

La investigación se desarrolló en la Hacienda El Cristal, ubicada en el barrio Pueblo Nuevo, kilómetro 15 vía a Malacatos, cantón Loja, a una altitud comprendida entre 2080 a 2100 msnm, Coordenadas Planas UTM zona 17S aproximadamente; Norte: 9 544 493 m y 9 544 543 m, Este: 700 338 m y 700 424 m.

Figura 4

Ubicación geográfica del proyecto de investigación, Hacienda El Cristal



Fuente: Rodríguez (2019)

- **Clima:** la zona de estudio cuenta con una temperatura media de 16 °C, con una precipitación aproximada media anual de 1200 mm y humedad relativa de 81 %. La evapotranspiración potencial media anual es de alrededor de 1126 mm (Chamba, 2018). De acuerdo con Köppen y Geiger (como se citó en Chamba, 2018), dispone de un clima templado húmedo, con precipitaciones distribuidas a lo largo del año, clasificado como Cfb.

- Geología: el trabajo de investigación se encuentra en la Unidad Chigüinda (PzLc), incluye secuencias de rocas metamórficas de bajo grado con filitas, cuarcitas, esquistos pelíticos y esquistos grafitosos (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico [INIGEMM], 2017).
- Suelo: la clasificación taxonómica se realizó según las Claves para la Taxonomía de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2014) y el orden del suelo corresponde a un Kandiuults (Ultisol), suelo húmedo enriquecido en arcillas de baja actividad, con pendiente del 40 %. Los suelos tienen una profundidad de 1,20 m y profundidad efectiva observada hasta 0,70 m, con baja pedregosidad (Rodríguez, 2019).

3.2. Materiales y equipos

GPS, ordenador portátil, barreno muestreador, flexómetro, sacos de polipropileno, baldes plásticos, fundas ziploc, muestras de suelo, estufa, agitador magnético, potenciómetro, soluciones buffer pH 4, pH 7 y pH 10, acetato de amonio 1 N, alcohol etílico al 95 %, hidróxido de sodio 0.1 N y 0.01 N, cloruro de sodio, formol al 40 % neutralizado, agua destilada, cloruro de potasio 1 N, fenoltaleína, naranja de metilo.

3.3. Metodología

3.3.1. *Diseño experimental*

Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar unifactorial, con tres tratamientos y tres réplicas.

Tabla 8

Niveles del factor tratamiento aplicados en el experimento

| Tratamiento | Dosis de cal agrícola |
|---|------------------------------|
| T ₀ = 0,0 cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹ de Ca + Fertilizante | Testigo |
| T ₁ = 2,0 cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹ de Ca + Fertilizante | 5,0 t.ha ⁻¹ |
| T ₂ = 2,5 cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹ de Ca + Fertilizante | 6,3 t.ha ⁻¹ |

Adaptado de Rodríguez (2019)

Modelo lineal aditivo aplicado en el experimento:

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

Donde:

Y_{ij} = Respuesta observada con el tratamiento i en el bloque j

μ = Media general

α_i = Efecto aditivo del tratamiento i

β_j = Efecto aditivo del bloque j

ε_{ij} = Término de error asociado al tratamiento i en el bloque j

3.3.2. *Objetivo 1: Monitorear el pH, acidez intercambiable, bases intercambiables, CIC y disponibilidad de nutrientes en diferentes dosis de cal agrícola en el suelo, a la profundidad de la zona radicular del café*

En la Hacienda El Cristal, Rodríguez (2019) desarrolló la investigación sobre la evolución de la acidez a la aplicación de diferentes dosis de cal agrícola y respuesta en la fase inicial del cultivo de café, durante el transcurso de 120 días, donde se presentaron cambios significativos. En estas consideraciones y sobre los resultados de esa investigación se continuó monitoreando las propiedades químicas del suelo y las variables dasométricas del café, en el periodo 120-300 días después de la aplicación de la cal.

Para monitorear la evolución de las condiciones químicas, en cada unidad experimental se tomaron 16 submuestras de suelo en la capa 00-25 cm de profundidad, una por cada planta dentro de la superficie de 16 m², se mezclaron uniformemente y se tomó una muestra de 1 kg y se analizaron en el Laboratorio de Suelos, Agua y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja.

Para el monitoreo del pH se utilizó el método potenciométrico, para la acidez intercambiable mediante titulación con NaOH 0.1 N (método de Day). El pH, Al³⁺ y (Al³⁺ H⁺) se determinó a los 150, 180, 210, 240, 270 y 300 días después de la aplicación de la cal.

Las bases intercambiables se determinaron por absorción atómica, la capacidad de intercambio catiónico con el método de acetato de amonio 1 N pH 7,0 y generación de OH⁻ con formaldehído, mientras para los elementos disponibles se empleó el método de Olsen Modificado. La determinación de estas variables se realizó al inicio y final de la investigación.

3.3.3. Objetivo 2: Evaluar la respuesta del desarrollo vegetativo del cultivo del café frente a la aplicación de diferentes dosis de cal agrícola

Las variables dasométricas de la planta se evaluaron a los 150, 180, 210, 240, 270 y 300 días después de la aplicación de la cal:

- Altura de planta: se midió desde el nivel del suelo hasta el ápice de la planta, empleando una regleta graduada.
- Número de hojas: se contó el número total de hojas presentes por planta.
- Diámetro de copa: se promedió dos mediciones en forma de cruz.
- Diámetro basal: se midió con un calibrador tipo “Vernier”, a 5 cm del nivel del suelo.

El análisis estadístico de los resultados de las propiedades químicas del suelo y variables dasométricas de la planta, se realizó con el análisis de varianza y prueba de Tukey para el nivel de significancia, utilizando el software InfoStat.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se explicó en la metodología, la actual investigación es una continuación del trabajo realizado por Rodríguez (2019). Los resultados de la presente investigación desarrollada en el periodo 120-300 días, se detallan a continuación:

4.1. Monitoreo de las propiedades químicas

4.1.1. Reacción del pH

Tabla 9

Medias y prueba de Tukey al 5 % para el pH_{H_2O}

| Dosis de cal agrícola + Fertilizante | Tiempo de monitoreo (días) | | | | | | |
|---|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 120* | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 |
| 6,3 t.ha ⁻¹ | 5,6 a | 5,7 a | 5,8 a | 5,8 a | 6,0 a | 6,1 a | 6,2 a |
| 5,0 t.ha ⁻¹ | 5,6 a | 5,6 a | 5,6 b | 5,7 a | 5,8 b | 6,0 a | 6,1 a |
| Testigo | 4,6 b | 4,6 b | 4,6 c | 4,6 b | 4,7 c | 4,7 b | 4,7 b |

Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes

Fuente: El Autor; *Tomado de Rodríguez (2019)

En la Tabla 9, se puede ver que existen diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) para pH_{H_2O} a los 150, 180, 210, 240, 270 y 300 días después de la aplicación de cal + fertilizante, en los tratamientos con enmienda calcárea en relación al testigo. El coeficiente de variación osciló entre 0,26 % y 1,32 %, lo cual indica homogeneidad del suelo para esta variable (Anexo 1).

Para la reacción del pH, durante el periodo de monitoreo, se evidencia un incremento de pH_{H_2O} de 5,6 (medianamente ácido) a 6,1-6,2 (ligeramente ácido), cuando se aplicó 5,0 y 6,3 t.ha⁻¹ de cal agrícola, respectivamente; a diferencia del testigo, donde se observa una estabilización del pH_{H_2O} (4,6 a 4,7).

El aumento de pH se puede atribuir a la aplicación y efecto neutralizante de la cal agrícola en las dosis de 5,0 y 6,3 t.ha⁻¹.

La aplicación de carbonato de calcio actúa en la disminución de la concentración de iones H⁺, por cuanto los iones carbonato generan iones OH⁻ y estos son los responsables de neutralizar los iones H⁺ del suelo y consecuentemente incrementar la carga negativa. Las dosis

aplicadas en esta investigación fueron superiores a las empleadas en otras investigaciones; López-Báez et al. (2018) con 0,5 t.ha⁻¹ de CaMg(CO₃)₂ en plantas de café arábica incrementaron el pH de 4,8 a 5,5 a los 17 meses. Mendez (2011) con 1 t.ha⁻¹ de CaCO₃ aplicada sobre un suelo de textura franco arcilloso con cultivo de café caturra roja, a los 6 meses incrementó el pH de 4,4 a 4,8; mientras Ortiz y Zavala (2014), con 1,5 t.ha⁻¹ de Triple Cal[®] (CaO 29 %, MgO 29 % y SO₄ 13 %) en suelos destinados a la producción de café en Nicaragua incrementaron el pH de 5,3 a 5,9 en suelos de textura media y de 5,5 a 6,1 en suelos de textura fina, 20 semanas después de aplicar la cal. Diferencias que pueden estar asociadas a las condiciones físicas y propiedades químicas de cada suelo, a parte de las condiciones ambientales donde se desarrolló la investigación. La corrección de la acidez del suelo contribuye al crecimiento del café durante la etapa inicial del cultivo, principalmente cuando el pH del suelo es menor de 5,0 y el aluminio intercambiable (Al³⁺) mayor de 1,0 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ (Sadeghian y Díaz-Marín, 2020).

4.1.2. Acidez intercambiable

Tabla 10

Medias de acidez intercambiable (Al³⁺ + H⁺) cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹

| Dosis de cal agrícola + Fertilizante | Tiempo de monitoreo (días) | | | | | | |
|---|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 120* | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 |
| 6,3 t.ha ⁻¹ | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 5,0 t.ha ⁻¹ | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| Testigo | 3,00 | 2,93 | 2,80 | 2,60 | 2,53 | 2,50 | 2,47 |

Fuente: El Autor; *Tomado de Rodríguez (2019)

Se observa a lo largo de las diferentes fechas de monitoreo, en los tratamientos con aplicación de CaCO₃ (5,0 y 6,3 t.ha⁻¹), que la acidez intercambiable se mantiene en niveles no detectables (ND); sin embargo, en el testigo se observa una disminución de 3,0 a 2,47 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ manteniéndose en el rango alto.

La disminución de la acidez, como manifiesta Sadeghian (2016) se debe a la aplicación de CaCO₃ que actúa por disociación iónica en iones Ca²⁺ y OH⁻, neutralizando los iones Al³⁺

en forma Al OH. En otras investigaciones con dosis menores lograron resultados que no difieren significativamente con esta investigación; Mendez (2011), redujo la acidez de 8,3 a 5,4 $\text{cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$ aplicando 2 $\text{t}.\text{ha}^{-1}$ de cal en un suelo franco arcilloso de la provincia de Satipo, Perú. Villamagua (2014), con la aplicación de 5 $\text{t}.\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 sobre granodiorita disminuyó la acidez intercambiable de 3,4 a 1,2 $\text{cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$ en 18 meses. Calva y Espinosa (2017) lograron reducir la acidez intercambiable de 0,52 $\text{cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$ de suelo a no detectable, con $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ y CaCO_3 con 1,0 y 1,5 $\text{t}.\text{ha}^{-1}$ luego de 45 días de aplicar la enmienda en suelos de la provincia de Orellana, Ecuador.

4.1.3. Aluminio intercambiable

Tabla 11

Medias de aluminio intercambiable (Al^{3+}) $\text{cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$

| Dosis de cal agrícola + Fertilizante | Tiempo de monitoreo (días) | | | | | | |
|---|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 120* | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 |
| 6,3 $\text{t}.\text{ha}^{-1}$ | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 5,0 $\text{t}.\text{ha}^{-1}$ | ND | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| Testigo | 1,90 | 1,90 | 1,90 | 1,88 | 1,88 | 1,88 | 1,88 |

Fuente: El Autor; *Tomado de Rodríguez (2019)

Para el Al^{3+} del suelo, en el periodo 120-300 días, en los tratamientos de 5,0 y 6,3 $\text{t}.\text{ha}^{-1}$ de cal agrícola (CaCO_3), no es posible determinar el aluminio intercambiable en laboratorio, contrariamente en el tratamiento testigo, se evidencia una estabilización (Al^{3+} 1,90 a 1,88 $\text{cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$) hasta los 300 días manteniendo el rango de muy alto.

Se puede atribuir a la acción del CaCO_3 que precipita al Al^{3+} como $\text{Al}(\text{OH})_3$ que es un compuesto insoluble, eliminando de esta forma, el efecto tóxico del Al^{3+} en las plantas y la principal fuente de iones H^+ ; al respecto en otras investigaciones, se evidenciar el mismo efecto aplicando dosis más bajas, Calva y Espinosa (2017) con 1 y 1,5 $\text{t}.\text{ha}^{-1}$ de dolomita y cal agrícola en 45 días lograron disminuir el aluminio intercambiable de 0,38 $\text{cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$ de suelo a no

detectado, sin embargo Braeuner et al. (2005), aplicaron cal y yeso en dosis de 5 y 10 t.ha⁻¹, logrando reducir en 2 años el Al³⁺ de 14 % a 3,5 % en cafetales de suelos de Nicaragua.

4.1.4. Capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables

Tabla 12

Bases intercambiables, relación de cationes, % SB y CIC

| Dosis de cal agrícola | Días | cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹ | | | | | | | % | | cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹ CIC |
|------------------------|------|---------------------------------------|------|------|------|-------|------|-----------|-------|------|---|
| | | Ca | Mg | K | Na | Ca/Mg | Mg/K | Ca + Mg/K | SB | SB | |
| Testigo | 120* | 2,09 | 1,15 | 0,31 | 0,16 | 1,82 | 3,71 | 10,45 | 3,70 | 24,8 | 14,9 |
| | 300 | 3,17 | 1,93 | 0,44 | 0,30 | 1,64 | 4,39 | 11,59 | 5,84 | 27,5 | 21,2 |
| 5,0 t.ha ⁻¹ | 120* | 8,33 | 4,22 | 0,54 | 0,34 | 1,97 | 7,81 | 23,24 | 13,4 | 78,8 | 17,0 |
| | 300 | 12,0 | 3,38 | 0,45 | 0,29 | 3,55 | 7,51 | 34,18 | 16,12 | 66,6 | 24,2 |
| 6,3 t.ha ⁻¹ | 120* | 7,38 | 3,68 | 0,66 | 0,42 | 2,01 | 5,58 | 16,76 | 12,1 | 75,6 | 16,0 |
| | 300 | 12,69 | 3,35 | 0,46 | 0,31 | 3,79 | 7,28 | 34,87 | 16,71 | 65,3 | 25,6 |

Fuente: El Autor; *Tomado de Rodríguez (2019)

Las bases de intercambio (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺), se presentan en un rango medio con el efecto enclamiento, este incremento de cationes se puede atribuir a la aplicación de cal agrícola y de Mg y K en la fertilización (Anexo 2). Los resultados no difieren con los obtenidos en el trabajo investigativo de Mendez (2011), que logró incrementar las bases cambiables: Ca²⁺ de 1,17 a 3,08 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ con 1 t.ha⁻¹ de CaCO₃, Mg²⁺ de 0,75 a 1,36 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ con 3 t.ha⁻¹ de (CaMg(CO₃)₂), mientras el K⁺ se incrementó de 0,69 a 1,33 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ aplicando 2 t.ha⁻¹ de cal.

Los valores de la relación de cationes Ca/Mg, Mg/K, (Ca+Mg)/K, frente al testigo, incrementaron Ca/Mg= 3,6; Mg/K= 7,5; (Ca + Mg)/K= 34,2 hasta el punto que corresponden con las relaciones ideales para el desarrollo de café propuestas por Enríquez y Duicela (2014), Ca/Mg= 2,6-8; Mg/K= 7,5-15; (Ca + Mg)/K= 27,5-55, el incremento se atribuye a la aplicación de cal y del Mg. Malavolta (como se citó en Sadeghian y Díaz-Marín, 2020) considera que una relación de Ca:Mg hasta 4,5:1, favorece la producción de café, no así para relaciones mayores a 5:1. García (como se citó en Sadeghian y Díaz-Marín, 2020) menciona que las relaciones

Ca/Mg: 2,52:1 y 3,08:1 fueron las más favorables para el desarrollo de las plantas café en dos suelos diferentes, estos valores coinciden con los resultados del experimento.

La saturación de bases (%) en los tratamientos con cal agrícola, incrementó a 65,3 % ubicándose en el rango de suelo medio, atribuida a la aplicación de Ca, Mg y K; sin embargo, en el tratamiento testigo, el % SB es bajo (27,5 %). Para el cultivo de café Espinosa y Molina (2015), recomiendan una saturación de bases de 60 % para conseguir la óptima producción.

En referencia a los valores óptimos generales de la CIC (Tabla 1), la capacidad de intercambio catiónico en los tratamientos con cal, a los 120 días se encuentra en un nivel bajo ($16 \text{ cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$), tiene una valoración de suelo pobre. No obstante, con el efecto encalamiento, incrementó, incrementó a un nivel medio ($25,6 \text{ cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$) y una valoración de suelo medio. El incremento de la CIC del rango bajo al medio, sugiere que, por un lado, son arcillas de baja actividad (principalmente caolinita) y, por otro, se atribuye al aumento de las cargas eléctricas negativas dependientes del pH por efecto del encalado, dando como resultado una mayor retención de bases intercambiables, estos datos han sido corroborados por Villamagua y Valarezo (2019).

4.1.5. Disponibilidad de nutrientes

Tabla 13

Contenidos disponibles de los nutrientes en el suelo

| Dosis de cal agrícola | Días | ppm | | | meq/100ml | | | ppm | | | | |
|------------------------|------|-------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|
| | | N | P | S | K | Ca | Mg | Zn | Cu | Fe | Mn | B |
| Testigo | 120* | 220 A | 88,0 A | 5,50 B | 0,25 A | 2,00 B | 1,04 M | 7,0 M | 6,5 A | 310 A | 6,1 M | 1,7 M |
| | 300 | 102 A | 265 A | 40 A | 0,38 A | 3,5 M | 2,9 A | 81 A | 5,0 A | 963 A | 25 M | 1,0 M |
| 5,0 t.ha ⁻¹ | 120* | 139 A | 243 A | 56 A | 0,51 A | 8,31 A | 4,2 A | 160 A | 7,4 A | 183 A | 11,6 M | 1,7 M |
| | 300 | 94 A | 203 A | 36 A | 0,39 A | 10,2 A | 3,30 A | 49 A | 4,0 M | 508 A | 8 M | 1,6 M |
| 6,3 t.ha ⁻¹ | 120* | 159 A | 194 A | 134 A | 0,65 A | 7,36 M | 3,66 A | 55,6 A | 9,4 A | 816 A | 11,1 M | 5,0 T |
| | 300 | 105 A | 204 A | 42 A | 0,38 A | 9,40 A | 3,60 A | 33 A | 3,0 M | 502 A | 8 M | 1,5 M |

Interpretación: **B**= Bajo, **M**= Medio, **A**= Alto, **T**= Tóxico

Fuente: El Autor; *Tomado de Rodríguez (2019)

Los contenidos disponibles de N y S disminuyeron en relación al inicio del monitoreo, este descenso se explica por la absorción de estos elementos por las plantas. Además, en el caso del N, los nitratos son altamente solubles en agua, por lo que es un anión muy vulnerable a la lixiviación; sin embargo incrementó la disponibilidad de P asociada a la neutralización del Al^{3+} por efecto del encalado y también el contenido de Ca atribuida a la adición de CaCO_3 .

El Mg y K disminuyeron sobre el inicio de la investigación, pero se conservan en rango alto; esto se explica al consumo de las plantas de estos nutrientes.

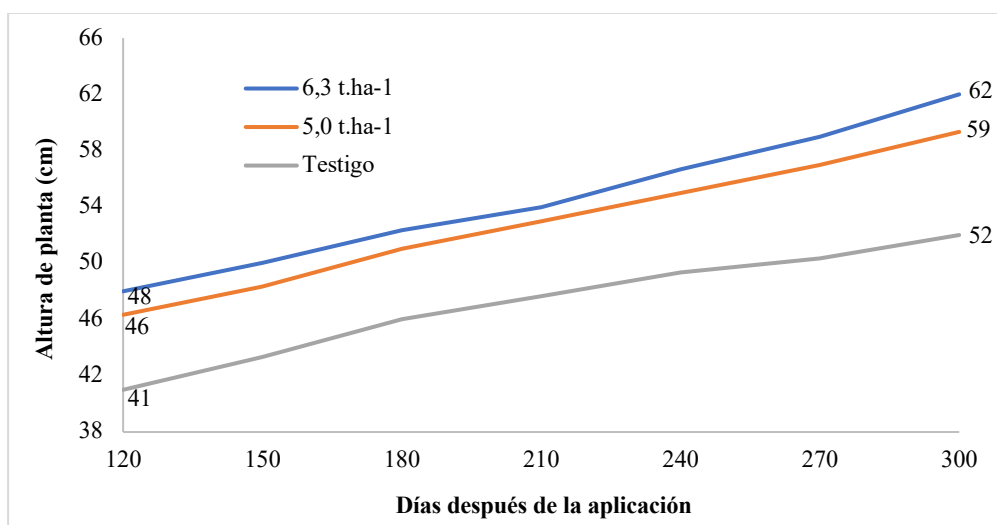
Para Cu y Zn, a los 120 días se encontraron en niveles altos, a los 300 días el Zn se mantiene dentro del mismo rango a pesar de que disminuyó su contenido y el Cu desciende a niveles medios. Con la aplicación de CaCO_3 , los contenidos disponibles de Fe y Mn también se reducen, a pesar de permanecer en rango alto y medio, respectivamente. Al añadir cal al suelo, el incremento en pH induce la precipitación del Mn como compuesto insoluble removiéndolo de esta manera de la solución del suelo, estos elementos en altas concentraciones pueden llegar a ser tóxicos para las plantas (Espinosa y Molina, 2015).

4.2. Variables dasométricas

4.2.1. Altura de la planta

Figura 5

Evolución de la altura de planta en relación a enmienda + fertilización



Fuente: El Autor; valores a los 120 días corresponden a Rodríguez (2019)

Para la altura de planta se evidenció diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) a los 150 días y diferencias significativas ($p < 0,05$) para 180, 210, 240, 270 y 300 días después de la aplicación de cal (CaCO_3) con respecto al testigo. El coeficiente de variación osciló dentro del rango de 3,06 % a 3,91 %, considerado como aceptable (Anexo 5).

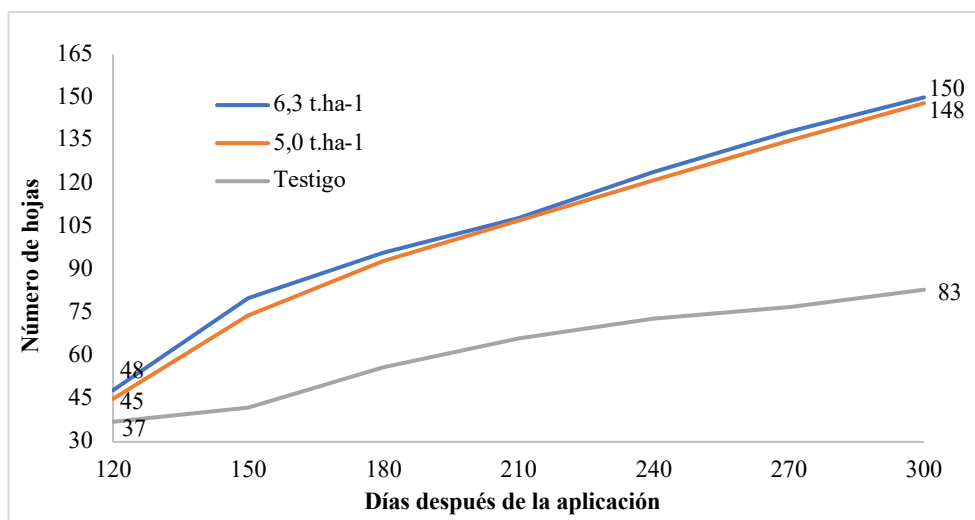
El incremento de la altura de planta con 5,0 y 6,3 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 , en un 13,5 % y 19 %, en su orden, sobre el testigo; se puede atribuir a la adición de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn y B) y al incremento de la carga eléctrica por efecto de ion carbonato de la cal (CO_3^-) que facilita la absorción de los nutrientes, principalmente del fósforo, debido al incremento del pH como lo manifiesta Valarezo (2004).

Con las dosis de 5,0 y 6,3 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ el crecimiento de la planta fue de 0,07 $\text{cm}\cdot\text{día}^{-1}$ y 0,08 $\text{cm}\cdot\text{día}^{-1}$ respectivamente, mientras en el testigo se evidencia un crecimiento de 0,06 $\text{cm}\cdot\text{día}^{-1}$. López-Báez et al. (2018) con 0,5 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ más fertilización en plantas de café arábica obtuvieron un crecimiento de 0,14 $\text{cm}\cdot\text{día}^{-1}$ a los 17 meses de experimentación. Esta discrepancia se puede atribuir a los 30 meses de desarrollo del cultivo en la finca “El Cristal”, al respecto Arcila et al. (2007) expresa que el mayor crecimiento en altura del cafeto ocurre en los primeros 18 meses desde la germinación.

4.2.2. Número de hojas

Figura 6

Evolución del número de hojas en relación a enmienda + fertilización



Fuente: El Autor; valores a los 120 días corresponden a Rodríguez (2019)

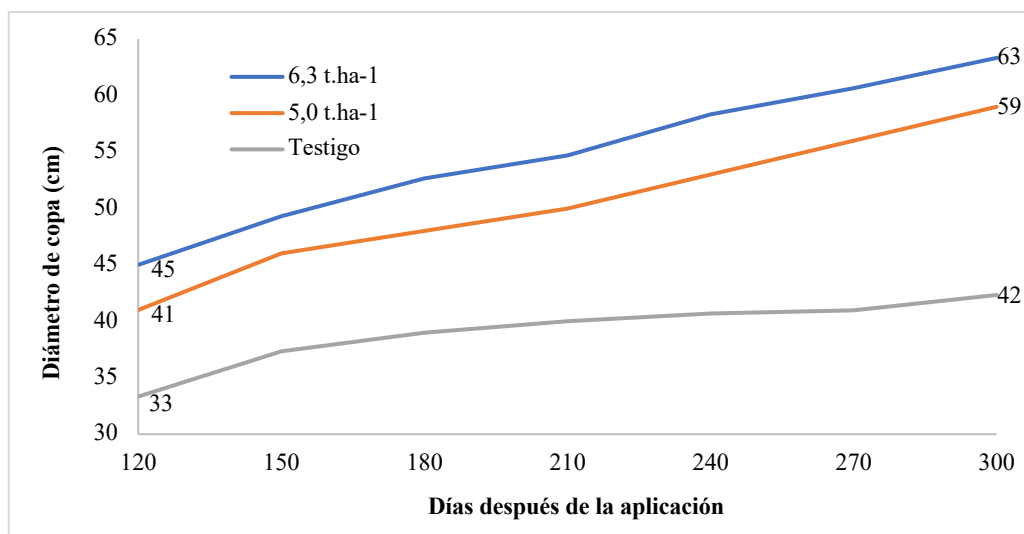
Se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) para las fechas de evaluación de 150, 180, 240, 270 y 300 días y diferencia significativa ($p < 0,05$) a los 210 días, en los tratamientos con enmienda calcárea en relación al testigo. El coeficiente de variación se presenta dentro del rango de 2,54 % a 11,9 % (Anexo 6).

El número de hojas hasta los 300 días de evaluación incrementó de manera similar con las dosis de 5,0 y 6,3 t.ha⁻¹ de cal agrícola, en 0,57 hojas.día⁻¹; referente al testigo donde se reporta un incremento de 0,26 hojas.día⁻¹. De esta manera se entiende un incremento superior en 78 % y 80 % en número de hojas en comparación con el tratamiento sin encalado. Los tratamientos con cal superaron en 65 y 67 hojas al testigo. Este efecto se puede atribuir a la aplicación de CaCO₃ y la aplicación de los nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn y B).

4.2.3. Diámetro de copa

Figura 7

Evolución del diámetro de copa en relación a enmienda + fertilización



Fuente: El Autor; valores a los 120 días corresponden a Rodríguez (2019)

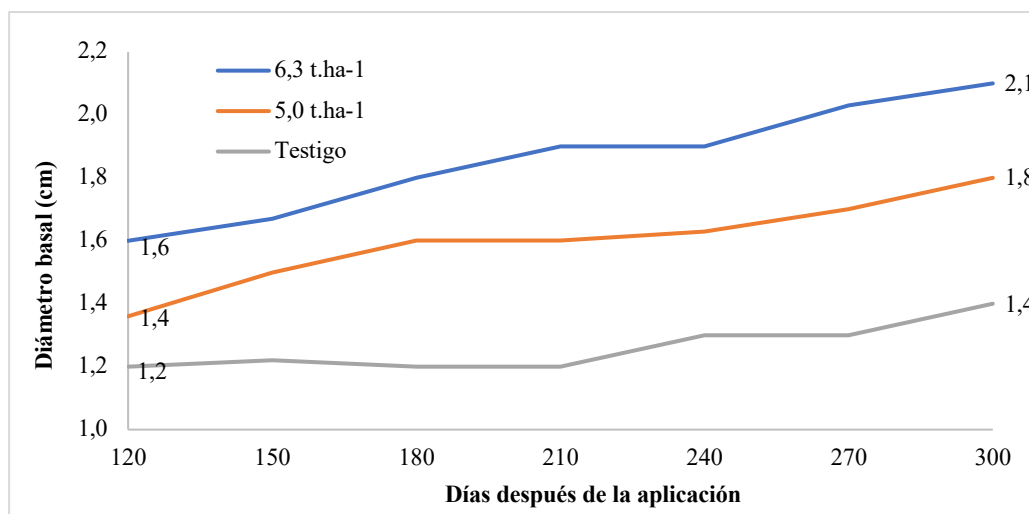
Para el diámetro de copa se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) en las fechas de registro de 150, 180, 210 y 300 días y diferencias significativas ($p < 0,05$) para las fechas de 240 y 270 días, en los tratamientos con aplicación de CaCO_3 (5,0 y 6,3 t.ha⁻¹) en relación al testigo. El Coeficiente de variación está dentro del rango de 5,11 % y 8,06 % (Anexo 7).

En los tratamientos con cal, las plantas superan en 17 y 21 cm de diámetro de copa con respecto al testigo, con las dosis de 5,0 y 6,3 t.ha⁻¹ de CaCO_3 , lo que corresponde al 40 % y 50 % de incremento sobre el testigo; el incremento pudo deberse a la aplicación de diferentes dosis de CaCO_3 y la aplicación de los nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn y B).

4.2.4. Diámetro basal

Figura 8

Evolución del diámetro basal en relación a enmienda + fertilización



Fuente: El Autor; valores a los 120 días corresponden a Rodríguez (2019)

Para el diámetro basal se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) para todas las fechas de evaluación: 150, 180, 210, 240, 270 y 300 días, en los tratamientos con aplicación de cal (CaCO_3) con respecto al testigo. Es importante mencionar que se encontraron diferencias estadísticamente significativas por efecto de las dosis de 5,0 y 6,3 t.ha^{-1} . El Coeficiente de variación oscila entre 1,01 % a 3,53 % (Anexo 8).

La evolución diámetro basal supera en 0,4 y 0,7 cm con las dosis de 5,0 y 6,3 t.ha^{-1} , en su orden, al testigo. Estas dosis permitieron un crecimiento de diámetro en 28 % y 50 % sobre el tratamiento 0,0 t.ha^{-1} ; resultados semejantes a los obtenidos por Mendez (2011), que al aplicar 3 t.ha^{-1} de enmienda incrementó el tallo de plantas de café en 0,8 cm frente al testigo en ese mismo periodo, mientras que López-Báez et al. (2018) con la aplicación de 0,5 t.ha^{-1} de cal dolomita lograron incrementar en 0,6 cm en comparación con el testigo, a los 17 meses después de aplicar la cal. Sin embargo, Marcelo (2020) logra incrementar el diámetro de tallo en 1,27 cm frente a 0,98 cm del testigo, aplicando únicamente 0,2 t.ha^{-1} de $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, a los 9 meses desde el trasplante en Satipo, Perú.

En todas las variables dasométricas se observó diferencias altamente significativas en los tratamientos con aplicación de cal, con respecto al tratamiento testigo; además se observó que no existen diferencias estadísticas significativas, indistintamente cuando se aplicó 5,0 y 6,3 t.ha⁻¹ de CaCO₃. Las diferencias en las variables del café, se atribuye al efecto combinado de los nutrientes aplicados y como resultado de las reacciones básicas de la cal en el suelo que neutralizan los iones H⁺; además, el incremento de pH pudo permitir la precipitación del Al³⁺ como Al(OH)₃ que es un compuesto insoluble, eliminando de esta forma, el efecto tóxico del Al³⁺ en las plantas y la principal fuente de iones H⁺ (Espinosa y Molina, 2015).

5. CONCLUSIONES

- Se elevó el pH significativamente de 5,6 a 6,1 y 6,2 con la aplicación de 5,0 y 6,3 t.ha⁻¹ de CaCO₃, respectivamente; también se redujo la acidez y aluminio intercambiable a niveles no detectables.
- La aplicación de dosis de enmienda calcárea elevó las bases de intercambio a rango medio, incrementó el % SB a rango de suelo medio, se mejoró la relación de cationes a niveles favorables para el desarrollo del cultivo de café. Así mismo, incrementó la CIC de nivel bajo a medio.
- Los contenidos disponibles de N, S, Mg, K y Zn disminuyeron, sin embargo, incrementó la disponibilidad de P y Ca, todos permanecen en rango alto. El Cu se redujo de rango alto a medio y también disminuyó la disponibilidad de Fe y Mn, a pesar de permanecer en rango alto y medio, en su orden.
- Al aplicar 5,0 y 6,3 t.ha⁻¹ de enmienda, incrementó la altura de planta, número de hojas, diámetro de copa y diámetro basal, en la etapa de desarrollo vegetativo del cultivo de café, atribuido al efecto combinado de los nutrientes aplicados y como resultado de las reacciones básicas de la cal en el suelo que neutralizan los iones H⁺ y Al⁺³.
- Exceptuando la variable diámetro basal, en general, a los 300 días de monitoreo, no se evidenciaron diferencias significativas indistintamente con la aplicación de 5,0 y 6,3 t.ha⁻¹ de CaCO₃.

6. RECOMENDACIONES

- Monitorear los datos climáticos del sector, de manera especial la precipitación debido a que la efectividad de la cal está relacionada con la humedad del suelo.
- Estudiar el grado de finura (tamaño de la partícula) y forma de aplicación de la cal.
- Realizar un estudio económico de la aplicación de la enmienda calcárea durante la producción del café.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, C., & García, C. (2017). *Impacto del proyecto de reactivación cafetalero en las exportaciones de café en el periodo 2011-2014* [Tesis de pregrado]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18261/1/TESIS%20Café%20-%20FINAL.pdf>
- Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L., & Hincapié, E. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia* (Primera). Blanecolor Ltda. http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/12/Sistemas-producci%C3%B3n-caf%C3%A9-Colombia_.pdf
- Bernier, R., & Alfaro, M. (2006). Acidez de los suelos y efectos del encalado. *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 151. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7075>
- Braeuner, M., Ortiz, R., & MacVean, C. (2005). *Efectos de la aplicación de cal dolomítica y yeso agrícola en cafetales (Coffea arabica) afectados con Mal de Viñas en Guatemala*. 76, 8.
- Calva, C., & Espinosa, J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. *Siembra*, 4(1), 110-120. <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.505>
- Chamba, E. (2018). *Efecto de cuatro niveles de sombra en el desarrollo vegetativo del cafeto (Coffea arabica L.) en sistemas agroforestales de la Hacienda Cristal del cantón Loja* [Tesis de pregrado]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21121/1/Estefania%20Gabriela%20Chamba%20Qui%c3%blonez.pdf>
- COFENAC. (2013). *Situación del Sector Cafetalero Ecuatoriano*. Yumpu. <https://www.yumpu.com/es/document/read/31064219/situacion-sector-cafe-ecu-2013-consejo-cafetalero-nacional->
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos* (Décima segunda Edición). https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf
- Duicela-Guambi, L. A. (2016). Investigación y desarrollo cafetalero en el Ecuador: Situación actual y perspectivas. *VII Congreso Latinoamericano de Agronomía*, 9-19.
- Duicela-Guambi, Luis Alberto, Velásquez-Cedeño, S. del R., & Farfán-Talledo, D. S. (2017). Calidad Organoléptica De Cafés Arábigos En Relación a Las Variedades Y Altitudes De Las Zonas De Cultivo, Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 18(1), 67-77. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81351597010>
- Enríquez, G., & Duicela, L. (2014). *Guía técnica para la producción y poscosecha del café arábigo*.
- Espinosa, J., & Molina, E. (2015). *Acidez y encalado de los suelos (Soil acidity and liming)* (Primera).

- https://www.researchgate.net/publication/270568287_Acidez_y_encalado_de_los_suelos_Soil_acidity_and_liming
- Flores, F. (2015). La producción de café en México: Ventana de oportunidad para el sector agrícola de Chiapas. *Revista Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 4(7), 174-194. <https://doi.org/10.31644/IMASD.7.2015.a07>
- Fondo Ecuatoriano de Cooperación para el Desarrollo. (2011). *El retorno al café*. <https://fecd.org.ec>
- Guachisaca, S. (2015). *Análisis Sectorial, Producción y Comercialización de café en el cantón Puyango* [Tesis de pregrado]. <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/13357/1/Guachisaca%20Roblez%20Sandra%20Cecibel.pdf>
- Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico. (2017). *Hoja geológica Gonzanamá* (2.^a ed.) [Map]. https://drive.google.com/file/u/1/d/1W0D_c9_7woOo1DjLy3-sX5ZX3ATemJ8v/view?usp=drive_open&usp=embed_facebook
- INTAGRI. (2018). Disponibilidad de Nutrientes y el pH del Suelo. *Artículos Técnicos de INTAGRI*, Núm. 113, 4. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/disponibilidad-de-nutrientes-y-el-ph-del-suelo>
- La Acidez del Suelo*. (2020, febrero 12). Smart Fertilizer. <https://www.smart-fertilizer.com/es/articulos/soil-acidity/>
- La Hora. (2020, octubre 26). *La Florida de Sozoranga triunfa en concurso Taza Dorada 2020*. <https://www.lahora.com.ec>
- López-Báez, W., Urbina-Hernández, L., Reynoso-Santos, R., & Martínez-Sánchez, J. (2018). *Efectos del encalado en suelo ácido cultivado con café (Coffea arabica L.) en la reserva de la biosfera El Triunfo Chiapas, México*. 11(4), 55-60. https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Sanchez-9/publication/325905974_Efectos_del_encalado_en_suelo_acido_cultivado_con_cafe_Coffea_arabica_L_en_la_reserva_de_la_biosfera_El_Triunfo_Chiapas_Mexico/links/5b2bcfcea6fdcc8506bc2a60/Efectos-del-encalado-en-suelo-acido-cultivado-con-cafe-Coffea-arabica-L-en-la-reserva-de-la-biosfera-El-Triunfo-Chiapas-Mexico.pdf
- Marcelo, C. (2020). Enmienda con dolomita en la instalación del cultivo de Coffea arabica L. variedad Catuai, en Satipo. *Prospectiva Universitaria*, 12(1), 21-26. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2015.12.450>
- Mendez, M. (2011). *Estudio comparativo de la aplicación de dos enmiendas calcáreas sobre un suelo ácido y el desarrollo vegetativo de cafetales con poda de rehabilitación (Coffea arabica L.) variedad caturra roja, en la provincia de Satipo* [Tesis de pregrado]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1903/Mendez%20Paitan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Moro, A. (2015, noviembre 26). *Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos*. AQM Laboratorios. <http://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>
- Ortez, O., & Zavala, A. (2014). *Efecto de enclamiento y fertilización en dos suelos con cultivo de café, Las Manos, Nueva Segovia, Nicaragua* [Tesis de pregrado]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3514/1/CPA-2014-061.pdf>
- Rodríguez, R. (2019). *Evolución de la acidez en un ultisol a la aplicación de cal y respuesta en la fase inicial del cultivo del café (Coffea arabica L.) en la Hacienda El Cristal del cantón Loja* [Tesis de pregrado]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22566/1/Rosa%20del%20Cisne%20%20Rodriguez%20Sarango..pdf>
- Sadeghian, S. (2012). *Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (Coffea arabica L.) en la etapa de almácigo* [Tesis doctoral]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8983/16077856.2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. *Avances técnicos. CENICAFE No. 466.*, 12. <https://www.cenicafe.org/es/publications/AVT0466.pdf>
- Sadeghian, S., & Díaz-Marín, C. (2020). Corrección de la acidez del suelo: Efectos en el crecimiento inicial del café. *Revista Cenicafé, 71-1*, 21-31. <https://doi.org/10.38141/10778/1117>
- Valarezo, C. (2004). Gestión de la fertilidad del suelo en el trópico húmedo, en la región Amazónica ecuatoriana y bajo sistemas agroforestales. Universidad Nacional de Loja - Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios– PROMSA. Editorial Universitaria, Loja. 141 p. <http://8.242.217.84:8080/jspui/handle/123456789/24946>
- Villamagua, M. (2014). *Almacenamiento de carbono y evolución de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre granodiorita, en la fase inicial de una plantación de Gmelina arborea y Schizolobium parahybum con enmiendas de carbón vegetal, en la zona sur de la amazonia ecuatoriana* [Tesis de maestría]. http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/19268/1/7145_1.pdf
- Villamagua, M. (2019). *Efecto de la fertilización y tensiones de humedad en el cultivo del café en zonas representativas de la Provincia de Loja* [Manuscrito no publicado]. Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Villamagua, M., & Valarezo, C. (2019). Fertilidad del suelo granodiorita, fase inicial de plantación gmelina arborea y schizolobium parahybum, con carbón vegetal en la amazonia ecuatoriana. *Revista Alfa, 3(9)*, 130-142. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v3i9.63>

8. ANEXOS

Anexo 1. *Análisis de varianza de pH_{H2O}*



| F.V. | gl | 150 días | | 180 días | | 210 días | | 240 días | | 270 días | | 300 días | |
|-------|----|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor |
| Trat. | 2 | 1,21 | <0,0001 | 1,27 | <0,0001 | 1,35 | <0,0001 | 1,52 | <0,0001 | 1,78 | <0,0001 | 1,95 | <0,0001 |
| Rep. | 2 | 5,3E-04 | 0,1660 | 4,0E-04 | 0,5003 | 2,0E-03 | 0,1894 | 0,01 | 0,2976 | 0,01 | 0,2010 | 0,01 | 0,2583 |
| Error | 4 | 1,8E-04 | | 4,8E-04 | | 7,8E-04 | | 3,1E-03 | | 0,01 | | 4,6E-03 | |
| CV | | | 0,26 | | 0,41 | | 0,52 | | 1,02 | | 1,32 | | 1,20 |

Anexo 2. *Dosis de elementos aplicados por planta y fuentes utilizadas*

| Elemento | kg/ha | g/planta | Fuente | Fórmula |
|----------|-------|----------|---------------------------|--|
| N | 100 | 20 | Úrea 46 % | CO(NH ₂) ₂ |
| P | 60 | 12 | Fosfato diamónico 18-46-0 | (NH ₄) ₂ HPO ₄ |
| B | 5 | 1 | Bórax | Na ₂ [B ₄ O ₅ (OH) ₄].8H ₂ O |
| Mg | 60 | 12 | Kieserita | MgSO ₄ .H ₂ O |
| K | 100 | 20 | Sulpomag 0-0-22-18 | MgK ₂ (SO) ₄ |
| S | 25 | 5 | | |
| Zn | 3 | 0,6 | Sulfato de Zinc 21,3 % | ZnSO ₄ |

Adaptado de Rodríguez (2019).

Anexo 3. Análisis de suelo a los 120 días de la instalación del experimento

| | | |
|---|--|---|
|  | ESTACIÓN EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" DEPARTAMENTO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS Panamericana sur Km. 1. Apartado 17-01-340 Teléfono: 3007284. Email: laboratorio.dmsa@iniap.gob.ec Mejía -Ecuador |  |
| | | |

REPORTE DE ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

| | | |
|--|---|--|
| DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : Miguel A. Villamagua Dirección : Loja Ciudad : Teléfono : 09866572201 / 072613462 Fax : | DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : S/N Provincia : Loja Cantón : Loja Parroquia : San Sebastian Ubicación : | PARA USO DEL LABORATORIO No. Muestra Lab. : 111660-111662 Fecha de Muestreo : 09/08/2019 Fecha de Ingreso : 12/08/2019 Fecha de Salida : 27/08/2019 |
|--|---|--|

| No. Muestra Lab. | Identificación de la muestras | meq/100 g suelo | | | | | Suma de bases | % | meq/100 g suelo |
|------------------|-------------------------------|-----------------|------|------|------|---------------------|---------------|------|-----------------|
| | | K | Ca | Mg | Na | Saturación de bases | | | |
| 111660 | Tratamiento 0 | 0.31 | 2.09 | 1.15 | 0.16 | 3.7 | 24.9 | 14.9 | |
| 111661 | Tratamiento 1 | 0.54 | 8.33 | 4.22 | 0.34 | 13.4 | 78.8 | 17.0 | |
| 111662 | Tratamiento 2 | 0.66 | 7.38 | 3.68 | 0.42 | 12.1 | 76.0 | 16.0 | |

| | |
|--|------------------------------------|
| Unidades meq/100 g suelo : miliequivalentes/100 gramos de suelo. % : porcentaje | Método Cloruro de bario. |
|--|------------------------------------|

[Signature]
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

[Signature]
LABORATORISTA

| | | |
|---|--|---|
|  | ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf: 690-691/92/93 Fax: 690-693 |  |
| | | |

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

| | | |
|---|---|--|
| DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : Miguel A. Villamagua Dirección : Loja Ciudad : Teléfono : 0986657220 Fax : | DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : S/N Provincia : Loja Cantón : Loja Parroquia : San Sebastian Ubicación : | PARA USO DEL LABORATORIO Cultivo Actual : Fecha de Muestreo : 09/08/2019 Fecha de Ingreso : 12/08/2019 Fecha de Salida : 30/08/2019 |
|---|---|--|

| N° Muest. Laborat. | Identificación del Lote | pH | ppm | | | meq/100ml | | | ppm | | | | |
|--------------------|-------------------------|------------|-----------------|----------|----------|-----------|--------|--------|---------|-------|---------|--------|--------|
| | | | NH ₄ | P | S | K | Ca | Mg | Zn | Cu | Fe | Mn | B |
| 111660 | Tratamiento 0 | 5,73 LAc | 283,00 A | 88,00 A | 5,50 B | 0,25 M | 2,00 B | 1,04 M | 7,0 M | 6,5 A | 310,0 A | 6,1 M | 1,70 M |
| 111661 | Tratamiento 1 | 5,30 Ac RC | 179,00 A | 243,00 A | 56,00 A | 0,51 A | 8,31 A | 4,20 A | 160,0 A | 7,4 A | 183,0 A | 11,6 M | 1,70 M |
| 111662 | Tratamiento 2 | 8,38 AI | 205,00 A | 194,00 A | 134,00 A | 0,65 A | 7,36 M | 3,66 A | 55,6 A | 9,4 A | 816,0 A | 11,1 M | 5,00 T |

| INTERPRETACION | | |
|--------------------|----------------------|-------------------|
| pH | | Elementos |
| Ac = Acido | N = Neutro | B = Bajo |
| LAc = Liger. Acido | LAI = Lige. Alcalino | M = Medio |
| PN = Prac. Neutro | AI = Alcalino | A = Alto |
| RC = Requieren Cal | | T = Tóxico (Boro) |

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

[Signature]
RESPONSABLE LABORATORIO

[Signature]
LABORATORISTA

Anexo 4. Análisis de suelo a los 300 días de la instalación del experimento

MC-LASPA-2201-01



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



INFORME DE ENSAYO No: 20-004

NOMBRE DEL CLIENTE: VILLAMAGUA MIGUEL ANGEL
EMPRESA/INSTITUCIÓN: MARVIN GABRIEL GUAYANAY CASTILLO
ATENCIÓN: VILLAMAGUA MIGUEL ANGEL
DIRECCIÓN: LOJA SAN SEBASTIAN

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 02/03/2020
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 15:03
FECHA DE ANÁLISIS: 09-13/03/2020
FECHA DE EMISIÓN: 20/03/2020
ANÁLISIS SOLICITADO: SUELO 2

| Análisis | PH | N | P | S | B | K | Ca | Mg | Zn | Cu | Fe | Mn | Ca/Mg | Mg/K | Ca+Mg/K | Σ Bases | MO | Textura (%) | | | | IDENTIFICACIÓN |
|----------|------|-----|-----|-----|------|-----------|-----------|-----------|-----|-----|-----|-----|-------|------|---------|-----------|------|-------------|-------|----------|-----------------|----------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Arena* | Limo* | Arcilla* | Clase Textural* | |
| Unidad | | ppm | ppm | ppm | ppm | meq/100ml | meq/100ml | meq/100ml | ppm | ppm | ppm | ppm | | | | meq/100ml | % | | | | | |
| 20-0867 | 5.92 | 94 | 203 | 36 | 1.60 | 0.39 | 10.20 | 3.30 | 49 | 4 | 508 | 8 | 3.09 | 8.46 | 34.62 | 13.89 | 8.70 | | | | | TRATAMIENTO 1 |
| 20-0868 | 5.99 | 105 | 204 | 42 | 1.50 | 0.38 | 9.40 | 3.60 | 33 | 3 | 502 | 8 | 2.61 | 9.47 | 34.21 | 13.38 | 7.50 | | | | | TRATAMIENTO 2 |
| 20-0869 | 4.72 | 102 | 265 | 40 | 1.00 | 0.38 | 3.5 | 2.9 | 81 | 5 | 963 | 25 | 1.21 | 7.63 | 16.84 | 6.78 | 8.70 | | | | | TESTIGO |

| Análisis | Al+H ⁺ | Al ³⁺ | Na ⁺ | C.E.* | N. Total* |
|----------|-------------------|------------------|-----------------|-------|-----------|
| Unidad | | meq/100 mL | | dS/m | % |
| | | | | | |
| | | | | | |

OBSERVACIONES: Muestras llegan por servientrega

* Ensayos no solicitados por el cliente

RESPONSABLES DEL INFORME:

Ing. José Lucero

RESPONSABLE LABORATORIO
DR. IVAN SAMANIEGO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

| | | |
|---|--|---|
|  AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO | LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080 | PGT/SFA/09-FO01 |
| | INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO | Rev. 5 Hoja 1 de 1 |

Informe N°: LN-SFA-E21-0351
 Fecha emisión Informe: 12/03/2021

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Marvin Gabriel Guayanay Castillo
Dirección¹: Bellavista – Espíndola **Teléfono¹:** 0981423577
Provincia¹: Loja **Cantón¹:** Espíndola **Correo Electrónico¹:** marvinnegro3@gmail.com
N° Orden de Trabajo: 11-2021-050
N° Factura/Documento: 012-001-0846

DATOS DE LA MUESTRA:

| | | | |
|---|--|----------------------|--|
| Tipo de muestra¹: Suelo | Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco | | |
| Cultivo¹: Café | | | |
| Provincia¹: Loja | Coordenadas¹: | X: ---- | |
| Cantón¹: Loja | | Y: ---- | |
| Parroquia¹: Malacatos | | Altitud: ---- | |
| Muestreo por¹: ---- | | | |
| Fecha de muestreo¹: 25-02-2020 | Fecha de inicio de análisis: 25-02-2021 | | |
| Fecha de recepción de la muestra: 25-02-2021 | Fecha de finalización de análisis: 12-03-2021 | | |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO | IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹ | PARÁMETRO ANALIZADO | MÉTODO | UNIDAD | RESULTADO |
|-------------------------------|--|-------------------------|---------------------------------|----------|-----------|
| SFA-21-0358 | Testigo | Potasio* | Absorción Atómica PEE/SFA/14 | cmol/kg | 0,44 |
| | | Calcio* | Absorción Atómica PEE/SFA/14 | cmol/kg | 3,17 |
| | | Magnesio* | Absorción Atómica PEE/SFA/14 | cmol/kg | 1,93 |
| | | Sodio* | Absorción Atómica PEE/SFA/14 | cmol/kg | 0,30 |
| | | Bases Totales* | Cálculo PEE/SFA/14 | cmol/kg | 5,84 |
| | | Acidez Intercambiable | Volumétrico PEE/SFA/27 | meq/100g | 2,49 |
| | | Aluminio Intercambiable | Volumétrico PEE/SFA/27 | meq/100g | 0,86 |

Analizado por: Katty Pastás, Pablo Atapuma

Observaciones:

- (**) Bases de cambio.
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.



Firmado electrónicamente por:
LUIS HUMBERTO
CACUANGO
PUMISACHO

Q. A. Luis Cacuangó
Responsable de Laboratorio
Suelos, Foliars y Aguas

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

| | | |
|---|--|------------------------|
|  AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO | LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080 | PGT/SFA/09-FO01 |
| | | Rev. 5 |
| | INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO | Hoja 1 de 1 |

Informe N°: LN-SFA-E21-0352
 Fecha emisión Informe: 12/03/2021

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Marvin Gabriel Guayanay Castillo
Dirección¹: Bellavista – Espíndola **Teléfono¹:** 0981423577
Provincia¹: Loja **Cantón¹:** Espíndola **Correo Electrónico¹:** marvinnegro3@gmail.com
N° Orden de Trabajo: 11-2021-050
N° Factura/Documento: 012-001-0846

DATOS DE LA MUESTRA:

| | | |
|---|--|----------------------|
| Tipo de muestra¹: Suelo | Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco | |
| Cultivo¹: Café | | |
| Provincia¹: Loja | Coordenadas¹: | X: ---- |
| Cantón¹: Loja | | Y: ---- |
| Parroquia¹: Malacatos | | Altitud: ---- |
| Muestreo por¹: ---- | | |
| Fecha de muestreo¹: 25-02-2020 | Fecha de inicio de análisis: 25-02-2021 | |
| Fecha de recepción de la muestra: 25-02-2021 | Fecha de finalización de análisis: 12-03-2021 | |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO | IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹ | PARÁMETRO ANALIZADO | MÉTODO | UNIDAD | RESULTADO |
|-------------------------------|--|---------------------|---------------------------------|---------|-----------|
| SFA-21-0359 | Tratamiento 1 | Potasio* | Absorción Atómica PEE/SFA/14 | cmol/kg | 0,45 |
| | | Calcio* | Absorción Atómica PEE/SFA/14 | cmol/kg | 12,00 |
| | | Magnesio* | Absorción Atómica PEE/SFA/14 | cmol/kg | 3,38 |
| | | Sodio* | Absorción Atómica PEE/SFA/14 | cmol/kg | 0,29 |
| | | Bases Totales* | Cálculo PEE/SFA/14 | cmol/kg | 16,12 |

Analizado por: Katty Pastás, Pablo Atapuma

Observaciones:

- (**) Bases de cambio.
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.



Firmado electrónicamente por:
LUIS HUMBERTO
CACUANGO
PUMISACHO

Q. A. Luis Cacuango
Responsable de Laboratorio
Suelos, Foliares y Aguas

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

| | | |
|---|--|---|
|  AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO | LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080 | PGT/SFA/09-FO01 |
| | INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO | Rev. 5 Hoja 1 de 1 |

Informe N°: LN-SFA-E21-0353
 Fecha emisión Informe: 12/03/2021

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Marvin Gabriel Guayanay Castillo
Dirección¹: Bellavista – Espíndola **Teléfono¹:** 0981423577
Provincia¹: Loja **Cantón¹:** Espíndola **Correo Electrónico¹:** marvinnegro3@gmail.com
N° Orden de Trabajo: 11-2021-050
N° Factura/Documento: 012-001-0846

DATOS DE LA MUESTRA:

| | | |
|---|--|----------------------|
| Tipo de muestra¹: Suelo | Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco | |
| Cultivo¹: Café | | |
| Provincia¹: Loja | Coordenadas¹: | X: ---- |
| Cantón¹: Loja | | Y: ---- |
| Parroquia¹: Malacatos | | Altitud: ---- |
| Muestreo por¹: ---- | | |
| Fecha de muestreo¹: 25-02-2020 | Fecha de inicio de análisis: 25-02-2021 | |
| Fecha de recepción de la muestra: 25-02-2021 | Fecha de finalización de análisis: 12-03-2021 | |

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

| CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO | IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹ | PARÁMETRO ANALIZADO | MÉTODO | UNIDAD | RESULTADO |
|-------------------------------|--|---------------------|---------------------------------|---------|-----------|
| SFA-21-0360 | Tratamiento 2 | Potasio* | Absorción Atómica PEE/SFA/14 | cmol/kg | 0,46 |
| | | Calcio* | Absorción Atómica PEE/SFA/14 | cmol/kg | 12,69 |
| | | Magnesio* | Absorción Atómica PEE/SFA/14 | cmol/kg | 3,35 |
| | | Sodio* | Absorción Atómica PEE/SFA/14 | cmol/kg | 0,31 |
| | | Bases Totales* | Cálculo PEE/SFA/14 | cmol/kg | 16,71 |

Analizado por: Katty Pastás, Pablo Atapuma

Observaciones:

- (**) Bases de cambio.
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.



Q. A. Luis Cacuango
Responsable de Laboratorio
Suelos, Foliare y Aguas

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

Anexo 5. *Análisis de varianza de la altura de planta*

| | | 150 días | | 180 días | | 210 días | | 240 días | | 270 días | | 300 días | |
|-------|----|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| F.V. | gl | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor |
| Trat. | 2 | 36,11 | <0,0025 | 33,44 | <0,0126 | 34,78 | <0,0319 | 44,33 | <0,0171 | 61,78 | <0,0138 | 80,44 | <0,0127 |
| Rep. | 2 | 0,78 | 0,5017 | 0,11 | 0,9494 | 0,78 | 0,8220 | 3,00 | 0,4776 | 7,11 | 0,2875 | 15,74 | 0,2527 |
| Error | 4 | 0,94 | | 2,11 | | 3,78 | | 3,33 | | 4,11 | | 1,98 | |
| CV | | | 2,06 | | 2,92 | | 3,77 | | 3,40 | | 3,66 | | 3,91 |

Anexo 6. *Análisis de varianza del número de hojas*

| | | 150 días | | 180 días | | 210 días | | 240 días | | 270 días | | 300 días | |
|-------|----|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| F.V. | gl | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor |
| Trat. | 2 | 1237,44 | <0,0001 | 1526,33 | <0,0005 | 1723,00 | <0,0157 | 2391,44 | <0,0016 | 3608,33 | <0,0001 | 4426,33 | <0,0002 |
| Rep. | 2 | 4,11 | 0,3303 | 16,00 | 0,4681 | 25,33 | 0,8224 | 20,11 | 0,6906 | 30,33 | 0,3044 | 43,00 | 0,34,25 |
| Error | 4 | 2,78 | | 17,33 | | 123,33 | | 49,44 | | 18,67 | | 30,33 | |
| CV | | | 2,54 | | 5,10 | | 11,90 | | 6,64 | | 3,70 | | 4,34 |

Anexo 7. *Análisis de varianza del diámetro de copa*

| | | 150 días | | 180 días | | 210 días | | 240 días | | 270 días | | 300 días | |
|-------|----|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| F.V. | gl | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor |
| Trat. | 2 | 115,11 | <0,0067 | 144,78 | <0,0061 | 168,44 | <0,0046 | 246,33 | <0,0142 | 316,78 | <0,0102 | 368,78 | <0,0073 |
| Rep. | 2 | 1,44 | 0,7677 | 3,11 | 0,6354 | 4,11 | 0,5600 | 9,33 | 0,6104 | 4,78 | 0,7771 | 3,11 | 0,8416 |
| Error | 4 | 5,11 | | 6,11 | | 6,11 | | 16,67 | | 17,78 | | 17,28 | |
| CV | | | 5,11 | | 5,31 | | 5,13 | | 8,06 | | 8,02 | | 7,57 |

Anexo 8. *Análisis de varianza del diámetro basal*

| | | 150 días | | 180 días | | 210 días | | 240 días | | 270 días | | 300 días | |
|-------|----|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| F.V. | gl | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor | CM | p-valor |
| Trat. | 2 | 0,18 | <0,0005 | 0,25 | <0,0005 | 0,31 | <0,0003 | 0,29 | <0,0001 | 0,37 | <0,0001 | 0,37 | <0,0001 |
| Rep. | 2 | 5,4E-04 | 0,7788 | 1,3E-03 | 0,6542 | 7,8E-05 | 0,9705 | 9,3E-04 | 0,1322 | 1,1E-03 | 0,4870 | 2,7E-03 | 0,3945 |
| Error | 4 | 2,0E-03 | | 2,8E-03 | | 2,6E-03 | | 2,7E-04 | | 1,2E-03 | | 2,3E-03 | |
| CV | | | 3,11 | | 3,53 | | 3,24 | | 1,01 | | 2,09 | | 2,67 |

Anexo 9. Monitoreo de las propiedades químicas



Anexo 10. Monitoreo de las variables dasométricas





Anexo 11. *Poda del cafeto*



Anexo 12. *Diferentes tratamientos con aplicación de cal + fertilización*

150 días

- T₀= Testigo + fertilización



- T₁= 5,0 t.ha⁻¹ cal + fertilización



- $T_2 = 6,3 \text{ t.ha}^{-1} \text{ cal} + \text{fertilización}$



180 días

- $T_0 = \text{Testigo} + \text{fertilización}$



- $T_1 = 5,0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ cal} + \text{fertilización}$



- $T_2 = 6,3 \text{ t.ha}^{-1} \text{ cal} + \text{fertilización}$



210 días

- T_0 = Testigo + fertilización



- T_1 = 5,0 t.ha⁻¹ cal + fertilización



- $T_2 = 6,3 \text{ t.ha}^{-1} \text{ cal} + \text{fertilización}$



240 días

- $T_0 = \text{Testigo} + \text{fertilización}$



- $T_1 = 5,0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ cal} + \text{fertilización}$



- $T_2 = 6,3 \text{ t.ha}^{-1} \text{ cal} + \text{fertilización}$



270 días

- T_0 = Testigo + fertilización



- T_1 = 5,0 t.ha⁻¹ cal + fertilización



- $T_2 = 6,3 \text{ t.ha}^{-1} \text{ cal} + \text{fertilización}$



300 días

- $T_0 = \text{Testigo} + \text{fertilización}$



- $T_1 = 5,0 \text{ t.ha}^{-1} \text{ cal} + \text{fertilización}$



- $T_2 = 6,3 \text{ t.ha}^{-1} \text{ cal} + \text{fertilización}$

