UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN

PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

Evaluación de las características químicas del suelo de los cafetales del Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa

AUTOR:

Cando Tóala Augusto Alfredo

TUTOR:

Ing. Edisson Wilfrido Cuenca Cuenca, Ph.D.

Santa Ana – Manabí – Ecuador

2021

Dedicatoria

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, quien me ha dado salud y fuerza para superar todos los momentos difíciles que encontré durante mis etapa de estudiante, a mis padres porque son esenciales en mi vida. A toda mi familia y amigos por alentarme a ser una mejor persona y no renunciar a mis sueños.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por brindarme fuerza, paciencia y perseverancia, para culminar mis estudios académicos.

A mis padres, en especial a mi madre por darme la oportunidad de estudiar, por sus sabios consejos y el apoyo total los cuales me motivaron a superar las circunstancias difíciles y enfrentarlos con principios éticos y morales.

A la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABI por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional. A mi tutor de tesis, Ing. Edisson Wilfrido Cuenca Cuenca, Ph.D. Por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mi trabajo de tesis con éxito.

A los profesores que integran la Facultad de Ingeniería Agronómica quiero agradecerles por la paciencia que tuvieron durante sus enseñanzas, guiarme en el proceso de formación personal y académica

De igual manera agradecer a todos mis compañeros y amigos en general, que de una u otra forma fueron parte de este garan logro profecional .

Certificación del Director del trabajo

Ing. Edison Wilfrido Cuenca Cuenca, PhD.

CERTIFICO

Que la tesis de grado titulada "Evaluación de las características químicas del suelo de los cafetales del Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa" es trabajo original del señor egresado Augusto Alfredo Cando Toala, el cual fue realizado bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones y reglamentos establecidos en su ejecución.

Santa Ana, abril __ del 2021

Ing. Edison Wilfrido Cuenca Cuenca, Ph.D.
TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Certificación del Revisor del trabajo

Ing. FRANCISCO JAVIER ARTEAGA ALCÍVAR, Ph.D.

CERTIFICO

Que he revisado estilo y ortografía del trabajo de titulación "Evaluación de las características químicas del suelo de los cafetales del Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa" elaborado por el egresado Cando Toala Augusto Alfredo, el presente trabajo ha sido escrito de acuerdo a las normas ortográficas y sintaxis vigentes "en el reglamento de la unidad de titulación especial de la Universidad Técnica de Manabí".

Santa Ana, abril __ del 2021

Ing. Francisco Javier Arteaga Alcívar, Ph.D.

REVISOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Certificación de la comisión de revisión y evaluación

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TEMA

"Evaluación de las características químicas del suelo de los cafetales del Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa"

TRABAJO DE TITULACIÓN

Sometida a consideración del Tribunal de Seguimiento y Evaluación, legalizada por el Honorable Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de: **INGENIERO AGRÓNOMO APROBADA POR:**

Ing. Mg. Sc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Mg. Sc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Mg. Sc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Declaración sobre Derechos de Autor

Declaro que el trabajo de investigación presentado es de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el que está referenciado debidamente en el texto; parte del presente documento o en su totalidad no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro Título o Grado de una institución nacional o extranjera.

Todos los datos y las referencias bibliográficas están debidamente identificados e incluidos en la bibliografía citada.

Las ideas, conceptos y contenidos que se exponen en el presente informe de investigación, son de mi exclusiva responsabilidad.

Quinindé, abril __ del 2021

CANDO TOALA AUGUSTO ALFREDO

EGRESADO

Índice general

Índice de Tablas x

Índice de Gráficos xi

Resumen xiv

Summary xv

1 Introducción 1

2 Objetivos 3

2.1 General 3

2.2 Específicos 3

3 Marco Teórico 4

3.1 Morfología del café 4

3.2 Requerimientos edafoclimáticos 4

3.3 Propiedades químicas del suelo 4

3.4 Manejo nutricional del café 5

3.5 Importancia de los macro y micronutrientes 5

3.5.1 Nitrógeno (N) 5

3.5.2 Fósforo (P). 6

3.5.3 Potasio (K) 6

3.5.4 Magnesio (Mg) 7

3.5.5 Calcio (Ca) 7

3.5.6 Azufre (S) 8

3.5.7 Hierro (Fe) 8

3.5.8 Manganeso (Mn) 8

3.5.9 Zinc (Zn) 8

3.5.10 Cobre (Cu). 9
3.5.11 Boro (B) 9
3.5.12 Molibdeno (Mo) 9
3.5.13 Cloro (Cl). 10
3.6 pH para el crecimiento del café 10
4 Metodología 11
4.1 Diseño de la investigación 11
4.1.1 Ubicación 11
4.1.2 Características edafoclimáticas 11
4.1.3 Material Genético 11
4.1.4 Diseño experimental 11
4.1.5 Tratamientos 11
4.2 Definición de variables 12
4.2.1 pH del suelo 12
4.2.2 Concentración de Nitrógeno en el suelo 12
4.2.3 Concentración de Fósforo en el suelo 12
4.2.4 Concentración de K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn en el suelo 12
4.2.5 Concentración de Azufre en el suelo 13
4.2.6 Concentración de Boro en el suelo 13
4.2.7 Necesidad de fertilización del cultivo de café 13
4.3 Análisis de datos 13
5 Resultados y discusión 14
5.1 Evaluación de las propiedades químicas y materia orgánica del suelo 14
5.1.1 Reacción del suelo 14

5.1.2 Materia orgánica (MO) 14
5.1.3 Nitrógeno (N) 15
5.1.4 Fósforo 16
5.1.5 Potasio 17
5.1.6 Calcio 18
5.1.7 Magnesio 19
5.1.8 Azufre 20
5.1.9 Hierro 20
5.1.10 Cobre 21
5.1.11 Manganeso 22
5.1.12 Zinc 23
5.1.13 Boro 24
5.2 Evaluación de la necesidad de fertilización del cultivo de café 25
5.2.1 Necesidad de fertilización con macronutrientes en el cultivo de café 25
5.2.2 Necesidad de fertilización con micronutrientes para el cultivo de café 27
6 Conclusiones y recomendaciones 30
7 Referencias bibliográficas 31
Anexos 34

Índice de Tablas

Tabla 1. Tratamientos 12

Tabla 2. Necesidad de fertilización con macronutriente en las fincas cafetaleras de Cerro Grande. 25

Tabla 3. Necesidad de fertilización de micronutriente en las fincas cafetaleras de Cerro Grande. 27

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Evaluación del pH del suelo de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa..... 14

Gráfico 2. Evaluación del porcentaje de materia orgánica en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa..... 15

Gráfico 3. Evaluación de niveles de nitrógeno en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa. 16

Gráfico 4. Evaluación de niveles de fósforo en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa. 17

Gráfico 5. Evaluación de niveles de potasio en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa. 18

Gráfico 6. Evaluación de niveles de calcio en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa. 18

Gráfico 7. Evaluación de niveles de magnesio en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa. 19

Gráfico 8. Evaluación de niveles de azufre en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa. 20

Gráfico 9. Evaluación de niveles de hierro en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa. 21

Gráfico 10. Evaluación de niveles de cobre en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa. 22

Gráfico 11. Evaluación de niveles de manganeso en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa. 23

Gráfico 12. Evaluación de niveles de zinc en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa. 23

Gráfico 13. Evaluación niveles de boro en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa. 24

Índice de Anexos

Anexo 1. Ubicación de la investigación 34

Anexo 2. Muestreo de suelos..... 35

Anexo 3. Anova de la variable pH del suelo en cafetales. 36

Anexo 4. Anova de la variable porcentaje de materia organica del suelo (M.O.) de cafetales.... 36

Anexo 5. Anova de la variable nitrógeno del suelo (ppm) en cafetales. 37

Anexo 6. Anova de la variable Fósforo del suelo (ppm) en cafetales. 37

Anexo 7. Anova de la variable potasio del suelo (meq/100ml) en cafetales. 38

Anexo 8. Anova de la variable calcio del suelo (meq/100ml) en cafetales. 38

Anexo 9. Anova de la variable magnesio del suelo (meq/100ml) en cafetales. 39

Anexo 10. Anova de la variable azufre del suelo (ppm) en cafetales..... 39

Anexo 11. Anova de la variable hierro del suelo (ppm) en cafetales. 40

Anexo 12. Anova de la variable cobre del suelo (ppm) en cafetales..... 40

Anexo 13. Anova de la variable manganeso del suelo (ppm) en cafetales..... 41

Anexo 14. Anova de la variable zinc del suelo (ppm) en cafetales. 41

Anexo 15. Anova de la variable boro del suelo (ppm) en cafetales. 42

Anexo 16. Anova de la variable necesidad de fertilización de N en cafe. 42

Anexo 17. Anova de la variable necesidad de fertilización de P en cafe. 43

Anexo 18. Anova de la variable necesidad de fertilización de K en cafe. 43

Anexo 19. Anova de la variable necesidad de fertilización de S en cafe. 44

Anexo 20. Anova de la variable necesidad de fertilización de Fe en café. 44

Anexo 21. Anova de la variable necesidad de fertilización de Cu en café..... 45

Anexo 22. Anova de la variable necesidad de fertilización de Mn en café..... 45

Anexo 23. Anova de la variable necesidad de fertilización de Zn en café..... 46

Anexo 24. Anova de la variable necesidad de fertilización de B en café..... 46

Resumen

Una de las limitantes de los bajos rendimientos en el café, es que se desconoce la composición o características química del suelo, siendo este un factor fundamental para poder nutrir de buena manera a las plantas, con ello se pueden incrementar de manera significativa los rendimientos en la producción, disminuir costos y mejorar el manejo del recurso suelo, entre otros aspectos. Los objetivos de esta investigación fueron analizar la fertilidad química en función del pH y niveles de nutrientes y determinar la necesidad de fertilización de macro y micronutrientes para los cafetales de Cerro Grande de la parroquia la América de Jipijapa. El trabajo se realizó en Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa en Ecuador, Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar, en arreglo factorial 6 x 2, siendo estudiadas seis fincas (F1, F2, F3, F4, F5, F6) por dos sitios de muestreo (M1 y M2), totalizando doce tratamientos, cada uno constará de tres repeticiones, con un total de 36 unidades experimentales (UE). Para las variables se tomaron en cuenta las concentraciones de macro y micro nutrientes, pH y materia orgánica. Los resultados fueron los siguientes: Suelos ligeramente ácidos y suelos prácticamente neutros, materia orgánica (MO) con niveles por debajo del 2,2%, N y B con valores bajos, de igual forma para el Fe exectuando el tratamiento 8 que presentó cantidades altas, para Zn, Cu y Mn se encontraron valores de bajos a medios, en cuanto a P y K se encontraron niveles bajos, medios y altos. Sin embargo para Ca, Mg y S, se observo niveles altos en los suelos cafeteros. En cuanto a las necesidades de fertilización con macro nutrientes todos los tratamientos requieren Nitrógeno, los tratamientos 4, 8, 10 y 12 no requieren aplicación de Fósforo, para los tratamientos 4, 8, 10 y 12 no se encontró necesidad de Potasio, para Calcio y Magnesio en ninguna de las fincas es necesario de aplicarlos, mientras que el Azufre solo requieren de la aplicación los tratamientos 2 y 4. Por último, los micronutrientes necesitan ser aplicados en todos los tratamientos, a excepción del hierro en el tratamiento 8.

Palabras claves: Necesidad de fertilización, fertilidad de suelos, requerimiento nutricional.

Summary

One of the limitations of the low yields in coffee is that the composition or chemical characteristics of the soil are unknown, this being a fundamental factor to be able to nourish the plants in a good way, with this, the yields in production, reduce costs and improve soil resource management, among other aspects. The objectives of this research were to analyze chemical fertility as a function of pH and nutrient levels and to determine the need for macro and micronutrient fertilization for the Cerro Grande coffee plantations in the parish of La América de Jipijapa. The work was carried out in Cerro Grande of the parish La América de Jipijapa in Ecuador, a Completely Random Block Design was used, in a 6 x 2 factorial arrangement, six farms being studied (F1, F2, F3, F4, F5, F6) by two sampling sites (M1 and M2), totaling twelve treatments, each one will consist of three replications, with a total of 36 experimental units (UE). For the variables, the concentrations of macro and micro nutrients, pH and organic matter were taken into account. The results were as follows: Slightly acidic soils and practically neutral soils, organic matter (OM) with levels below 2.2%, N and B with low values, in the same way for Fe exectifying treatment 8 which presented high amounts Low to medium values were found for Zn, Cu and Mn, while for P and K low, medium and high levels were found. However, for Ca, Mg and S, high levels were observed in the coffee soils. Regarding the needs of fertilization with macro nutrients, all treatments require Nitrogen, treatments 4, 8, 10 and 12 do not require application of Phosphorus, for treatments 4, 8, 10 and 12 no need for Potassium was found, for Calcium and Magnesium in none of the farms is necessary to apply them, while Sulfur only requires the application of treatments 2 and 4. Finally, micronutrients need to be applied in all treatments, except for iron in treatment 8.

Keywords: Fertilization need, soil fertility, nutritional requirement.

1 Introducción

Según Carlos Linneo, científico y botánico sueco, a la planta del café (*Coffea arábica* L.) se denomina cafeto, como perteneciente al género Coffea familia Rubiaceae, por las características del cafeto su producción está acotada por límites geográficos comprendidos por los Trópicos de Cáncer y de Capricornio, a nivel mundial se cultiva en más de 70 países ubicados en esta franja (Figueroa y Pérez, 2014).

Alrededor de 10 millones de toneladas de café se produjeron en el 2019 a nivel mundial en una superficie de 11millones de hectáreas en más de 50 países (FAOSTAT, 2019). 85% del café del mundo se produce en Latinoamérica, Brasil el mayor productor de café con 2.2 millones de toneladas cultivadas en un área de 2.3 millones de hectáreas, le siguen Vietnam, Indonesia y Colombia que cada uno produce entre 0.6 y 1 millón de toneladas en una superficie combinada de 2.6 millones de hectáreas (Figueroa y Pérez, 2014).

En la caficultura ecuatoriana prevalece el sistema de manejo tradicional (no tecnificado) del cultivo, el 85% de los cafetales se maneja con un sistema no tecnificado, obteniendo rendimientos muy bajos (5,18 quintales de café oro por hectárea), el otro 15% de la superficie cafetalera se maneja de manera semitecnificada, que permite rendimientos promedios estimados en 16 quintales de café oro por hectárea, muy pocas fincas cafetaleras se manejan de forma tecnificada; sin embargo, estas pueden llegar a niveles de productividad de hasta 50 quintales por hectárea en café arábiga y 100 quintales por hectárea en café robusta, con un manejo acorde a las necesidades del cultivo (Ponce y Orellana, 2018).

La producción de café en el país ha disminuido paulatinamente, en 1983 existieron 346.971 hectáreas de café, mientras que en el año 2002 disminuyeron a 260.528 hectáreas y según datos de La Asociación Nacional de Exportadores de Café -ANECAFE para el año 2019 la producción se dió únicamente en 60.000 hectáreas (Sánche et al., 2019)

Jipijapa posee el 38.6 % del área sembrada y se considera que de ahí proviene el café arábigo de mejor calidad en el Ecuador. Pero a pesar de que los ecuatorianos reconocen la calidad del café de esta zona, también consideran que ésta no ha alcanzado los niveles de desarrollo que muchos esperan y se ha sugerido la necesidad de desarrollar proyectos de mejora tecnológica para esta zona (Santistevan y Julca, 2014).

Una de las limitantes de los bajos rendimientos en el café, es que se desconoce la composición o características química del suelo, siendo este un factor fundamental para poder nutrir de buena manera a las planta; en este sentido, un diagnóstico de las propiedades químicas del suelo se pueden incrementar de manera significativa los rendimientos en la producción, disminuir costos y mejorar el manejo del recurso suelo, entre otros aspectos, lo que logra posicionar esta herramienta como una de las más importantes a la hora de realizar buenas prácticas agrícolas en cultivos de café (Farfan y Arcila, 2013).

Un análisis de suelos brindará el conocimiento necesario para que los agricultores de la zona estén en la capacidad de darles el mejor manejo a los suelos sin causar impacto alguno; por otra parte, se llevará un registro que aporte información necesaria de las parcelas cafeteras de dicha zona. La parroquia La América de Jipijapa se ha caracterizado por ser productor de café por eso es necesario este proyecto de evaluación de la calidad química de su suelo cafetero con el fin de mejorar la producción de café y por ende el mejoramiento de las economías de las familias de esta parroquia.

2 Objetivos

2.1 General

- Evaluar las características químicas del suelo de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa.

2.2 Específicos

- Analizar la fertilidad química en función del pH y niveles de nutrientes de los suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia la América de Jipijapa.
- Determinar la necesidad de fertilización de macro y micronutrientes para los cafetales de Cerro Grande de la parroquia la América de Jipijapa.

3 Marco Teórico

3.1 Morfología del café

El cafeto es una planta provista de un eje central, que presenta en su extremo una parte meristemática en crecimiento activo permanente que da lugar a la formación de nudos y entrenudos (Blanco, Haggar y Moraga, 2013). Esta planta posee un sistema radicular pivotante con una raíz central, penetra aproximadamente 45 cm de profundidad, produce dos o tres raíces axilares con una longitud de 2 a 3 m en el suelo, está compuesta generalmente de un solo tallo que presenta dos tipos de crecimiento: uno vertical y otro en forma horizontal, las hojas se desarrollan en las ramas laterales en un mismo plano y en posición opuesta, su forma puede ser ovalada o lanceolada con tonalidades verdes brillantes a verde mate en el envés (Rojo, 2014).

Las flores del cafeto son pequeñas, de color blanquecino y con fragancia cuya corola en forma de tubo está formada por la unión de cinco pétalos, el número de pétalos de las flores varía dependiendo de la variedad, el fruto es lo que se denomina drupa de forma elipsoidal, contiene normalmente dos semillas planas, convexas separadas por un tabique interno del ovario (Rojo, 2014).

3.2 Requerimientos edafoclimáticos

El café puede tener lugar en lugares donde la precipitación varíe desde los 750 mm anuales hasta 3000 mm, altitudes de 1200 a 1700 metros, y temperatura media anual de 16ºC a 22ºC, humedad relativa de 70 hasta 95%, además, se adapta con facilidad a condiciones topográficas que son desfavorables para otros cultivos, suelos con profundidades no menores a un metro (Heredia, 2012).

3.3 Propiedades químicas del suelo

La composición química del suelo incluye la media de la reacción de un suelo (pH) y de sus elementos químicos (nutrientes). Su análisis es necesario para una mejor gestión de la fertilización, cultivo y para elegir las plantas más adecuadas para obtener los mejores rendimientos de cosecha (InfoAgro, 2017). Los elementos nutritivos suministrados por el suelo se pueden clasificar en macro- y micro elementos, dependiendo de si las plantas necesitan absorber cantidades relativamente grandes o pequeñas de ellos, los macro elementos son el N, P, K, Ca, Mg y S y como micro elementos, se encuentran el Fe, Mn, B, Mo, Cu, Zn, y Cl (Roca, 2013).

3.4 Manejo nutricional del café

Los requerimientos nutricionales del cultivo se establecen a partir de lo que las plantas en su óptimo estado de desarrollo y vigor extraen del suelo y que está contenido en el tejido vegetal de toda la planta. Se relaciona con cantidades suficientes de los elementos que están disponibles en el suelo y que la planta puede absorber para lograr un crecimiento y grado de productividad deseada (Martins y Tomaz, 2013).

La aplicación de fertilizantes en cultivos de café debe comenzar al momento de la siembra (asumiendo una adecuada fertilización en vivero) y sucesivamente cada año hasta el cuarto año. Las dosis recomendadas al año deben repartirse en 3 o 4 aplicaciones, según en fase que se encuentre, es decir en etapa de crecimiento o de producción y teniendo en cuenta el régimen de lluvias locales (Melke y Ittana, 2014).

3.5 Importancia de los macro y micronutrientes

Se requieren 17 elementos esenciales que para que un cafeto se desarrolle exitosamente. La falta de uno de ellos puede tener un impacto negativo en el desarrollo y la producción de la planta, los cafetos reciben carbono, hidrógeno y oxígeno del aire y el agua que los rodea; y reciben nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, magnesio y azufre del suelo en el que están plantados. Estos nueve elementos se llaman macronutrientes y son necesarios en grandes cantidades para que un cafeto prospere (Oliviera, 2019). Los cafetos también necesitan algunos micronutrientes, pero en cantidades mucho más pequeñas. Estos incluyen hierro, zinc, cobre, manganeso, boro, cloruro y molibdeno (Chavez , 2017).

A continuación, algunas características de interés de los nutrientes, tales como su dinámica en el suelo, funciones fisio1ogicas que desempeñan dentro de las plantas y sintomatologías que su deficiencia causa en el follaje de los cafetos.

3.5.1 Nitrógeno (N)

Es el elemento más limitante en la producción cafetalera, esto por ser requerido en grandes cantidades por las plantas y encontrarse en baja disponibilidad en la mayoría de los suelos agrícolas. La mayoría del nitrógeno total de los suelos (85-95%) se encuentra formando parte de la materia orgánica, en donde una gran proporción no está disponible de inmediato para ser utilizado por las plantas (Chavez , 2017).

En las plantas el nitrógeno pasa a formar parte de las proteínas (estructurales y enzimáticas) las que junto con el agua son cuantitativamente los principales constituyentes del protoplasma celular. Además, es parte estructural de ácidos nucleicos, clorofilas, hormonas del crecimiento y alcaloides (Chavez , 2017).

La deficiencia de este elemento afecta drásticamente la formación de clorofila, es por ello característico que se manifieste como una clorosis generalizada en las hojas, que va, desde una tonalidad verde pálido en estados iniciales, a una apariencia blanquecina en casos de deficiencias severas, los síntomas son más evidentes en hojas viejas y bandolas de alta producción (Chavez , 2017).

3.5.2 Fósforo (P).

Es uno de los 17 nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas de café, sus funciones no pueden ser ejecutadas por ningún otro nutriente y se requiere un adecuado suplemento de P para que la planta crezca y se reproduzca en forma óptima. El P formas absorbidas: (HPO_4) - (H_2PO_4) es fundamental en la división celular, aporta energía durante la fotosíntesis y el trasporte de carbohidratos, facilita la formación y crecimiento de las raíces, estimula la formación de semillas, da vigor a los cultivos de café para defenderse del rigor del invierno y es el regulador principal de todos los ciclos vitales de las plantas (Boschetti y Quintero , 2016).

El efecto más acentuado de la falta de P es la reducción en el crecimiento de la hoja, así como en el número de hojas. El crecimiento de la parte superior es más afectado que el crecimiento de la raíz. Sin embargo, el crecimiento de la raíz también se reduce marcadamente en condiciones de deficiencia de P, produciendo menor volumen radicular para explorar el agua y nutrientes que se encuentran en el suelo. Generalmente, el P inadecuado deprime los procesos de utilización de carbohidratos, aun cuando continua la producción de estos compuestos por medio de la fotosíntesis (Boschetti y Quintero , 2016).

3.5.3 Potasio (K)

La principal función atribuida al potasio es la de ser activador de numerosas enzimas involucradas en procesos metabólicos, relacionados con la fotosíntesis, respiración y síntesis de almidones y proteínas; ayuda en el mantenimiento del potencial osmótico de las células, destacando en este sentido su papel en los mecanismos reguladores de la apertura y cierre de estomas; también se le

atribuye su participación en el transporte de foto asimilados a través de los conductos floematicos (Fernández, Sotiropoulos y Brown, 2013).

El potasio es absorbido de la solución del suelo en forma de ion monovalente (K +); dentro de la planta presenta una fácil traslocación por lo que las sintomatologías de deficiencia se marcan principalmente en las hojas de mayor edad; las cuales presentan lesiones de color café oscuro o negruzcas (necrosis) localizadas sobre los bordes de la lámina foliar (Lucena y Hernandez , 2017).

3.5.4 Magnesio (Mg)

Es parte estructural de la molécula de clorofila con la que interviene en la fotosíntesis, de la cual es también activador enzimático al igual que de los procesos de respiración y formación de ácidos nucleicos. Además, en combinación con el ATP participa en numerosas reacciones de fosforilación (Sadeghian, Mejia y González, 2013).

Del suelo la planta lo absorbe como ion divalente Mg^{2+}; los síntomas de su deficiencia en café, se observan en las hojas más viejas, donde son fácilmente identificables al presentar una típica clorosis intervenal que en forma de franjas abarca gran parte del área comprendida entre las venas laterales secundarias, normalmente los síntomas de deficiencia de magnesio se agravan a partir del inicio del llenado del fruto, época en que la demanda de nutrientes es grande (Sadeghian et al., 2013).

3.5.5 Calcio (Ca)

Las funciones del calcio (Ca^{2+}) se la relaciona directamente con el crecimiento de la raíz y la calidad de los frutos después del amarre, promueve el alargamiento de las células, reforzando la estructura de la pared celular, toma parte en la regulación de las estomas del cultivo, participa en los procesos metabólicos de absorción de otros nutrientes, en los procesos enzimáticos y hormonales de la planta, protege la planta contra las altas temperaturas, ya que el calcio participa en la producción de proteínas que regulan choque térmico e influye en la calidad del fruto (Boschetti & Quintero , 2016). COLOCAR y en lugar de &

Las deficiencias de Ca en los cultivos de café provocan: mal desarrollo radical, desarrollo anormal de hojas y enrollamientos, deformación y falta de tamaño de frutos, pudrición apical, depresión amarga, rajado de frutos y frutos aguados. Tanto en la planta como nutriente estructural y en el

suelo como mejorador, el calcio cumple funciones de gran importancia que son irremplazables (INTAGRI, 2018).

3.5.6 Azufre (S)

Las plantas adquieren azufre del sustrato como sulfato ($SO_4^{=}$). El sulfato es de por sí fácil de disolver y está sujeto a pérdidas por filtración. El metabolismo de la planta reduce el sulfato y el dióxido de sulfato a formas que puedan ser usadas para construir moléculas orgánicas, los síntomas de deficiencia de azufre se presentan como un amarillamiento que se inicia en las hojas nuevas, los síntomas de deficiencia de azufre son similares a los de nitrógeno, pero los signos de la falta de azufre aparecen en las hojas jóvenes (Guerrero, 2014).

3.5.7 Hierro (Fe)

Es un constituyente de varias enzimas y algunos pigmentos; ayuda a reducir los nitratos y sulfatos y a la producción de energía dentro de la planta. Aunque el hierro no se usa en la síntesis de la clorofila, es esencial para su formación. La deficiencia de hierro se expresa como una clorosis intravenosa en las hojas nuevas (las hojas son amarillas con venas verdes) (Lucena y Hernandez , 2017).

3.5.8 Manganeso (Mn)

Además de actuar en la respiración, participa específicamente en el metabolismo del nitrógeno y en la fotosíntesis, y ejerce influencia en el transporte y utilización de hierro en la planta (Rivera, 2017).

3.5.9 Zinc (Zn)

Está relacionada con su impacto en el correcto funcionamiento y estabilidad estructural de muchas proteínas, para desarrollar acciones reguladoras, catalíticas y estructurales. Por lo tanto, la integridad estructural y funcional de las membranas biológicas depende de una cantidad suficiente de Zn (Cakmak, 2014).

Uno de los primeros síntomas de deficiencia de Zn es la presencia de plantas pequeñas que resultan de una escasez de reguladores de crecimiento. En general, los síntomas de deficiencia de Zn pueden incluir: plantas pequeñas, áreas de color verde claro entre las nervaduras de las hojas nuevas, hojas pequeñas, entrenudos cortos (Cakmak, 2014).

3.5.10 Cobre (Cu).

La función del Cu es participar como coenzima en varios sistemas enzimáticos involucrados en la formación y conversión de aminoácidos, así como en la desintoxicación de radicales superóxido, es componente de los cloroplastos y participa activamente en la síntesis de clorofila, proteínas y polifenol oxidasas, ayuda al desarrollo de color y sabor a los frutos, está involucrado en la formación de la pared celular, ayuda a formar lignina en las paredes celulares, importante para la formación de polen viable, la formación de semillas y la resistencia al estrés (Fernández et al., 2013).

Los síntomas de la deficiencia de Cu son la reducción del crecimiento con distorsión de las hojas jóvenes y los puntos de crecimiento, así como muerte de los meristemos apicales, la floración y fructificación son afectados por la falta de Cu, el polen y los ovarios de las flores son muy sensibles a la carencia de Cu (Fernández et al., 2013)

3.5.11 Boro (B)

Desempeña un papel esencial en el transporte de azúcares, en la síntesis de sacarosa, en el metabolismo de ácidos nucleicos, en la biosíntesis de carbohidratos, en la fotosíntesis, en el metabolismo proteico, en la síntesis y estabilidad de las paredes y membranas celulares, esencial en la polinización y cuajado de los frutos, mejora el tamaño y la fertilidad de los granos de polen, importante papel en la germinación del polen y el crecimiento de los tubos polínicos (Alarcón, 2014).

3.5.12 Molibdeno (Mo)

Es absorbido por la planta en forma de ion molibdato (MoO_4^{2-}) Las funciones principales del molibdeno se encuentran estrechamente relacionadas con la asimilación del nitrógeno, por lo cual su requerimiento depende mucho de la forma de abastecimiento de nitrógeno a las plantas, las plantas sólo han exhibido toxicidad de molibdeno bajo condiciones experimentales extremas, el síntoma típico inicial de su deficiencia es una clorosis en las hojas, acompañada de una deficiencia de nitrógeno, ya que el molibdeno participa en la reducción de nitratos. También suelen presentarse manchas necróticas a lo largo de las nervaduras (INTAGRI, 2018).

3.5.13 Cloro (Cl).

Es un micronutriente esencial y todos los cultivos requieren cloruro en pequeñas cantidades, las plantas de cafeto absorben el cloruro de la solución del suelo como ión Cl^-. El cloruro desempeña un papel importante en el cultivo de café, incluyendo en la fotosíntesis, el ajuste osmótico y la supresión de enfermedades, las plantas deficientes en Cl exhiben una clorosis de las hojas jóvenes y marchitamiento de la planta (Lucena y Hernandez , 2017).

3.6 pH para el crecimiento del café

Un cafeto saludable necesita más que solo nutrientes. Su acidez también debe estar a un nivel pH óptimo, que es entre 4,9 – 5,6 pH. En este rango, la planta tiene mayor capacidad de absorber los nutrientes y esto da como resultado más cerezas de café y menos problemas relacionados con plagas y enfermedades (López et al., 2016).

Si tu suelo es demasiado ácido, puedes neutralizarlo agregando cal calcítica, o cal dolomítica si también le falta magnesio. Un nivel bajo de acidez también puede ser un problema y generalmente se equilibra mediante una fertilización frecuente (Oliviera, 2019).

4 Metodología

4.1 Diseño de la investigación

4.1.1 Ubicación

El trabajo se realizó en Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa en Ecuador a 080º30’37,9’’de longitud oeste y 01º26’12,3’’de latitud norte, a una altitud de 545 m.s.n.m. (Anexo 1).

4.1.2 Características edafoclimáticas

La zona que se realizó la investigación contó con un clima tropical cálido y formación vegetal de bosque tropical seco, precipitación media anual de 537mm, temperatura promedio de 23.7ºC, humedad relativa 80%, los suelos de cerro grande parroquia Jipijapa son origen aluvial, poco evolucionados con predominio de texturas gruesas.

4.1.3 Material Genético

El cultivo utilizado fue el Café *(Coffea arábica)*, el cual es relativamente importante para los productores de Jipijapa.

4.1.4 Diseño experimental

Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar, siendo estudiadas seis fincas (F1, F2, F3, F4, F5, F6) por dos sitios de muestreo (M1 y M2), totalizando doce tratamientos, cada uno constará de tres repeticiones, con un total de 36 unidades experimentales (UE).

Se realizó un muestreo de suelo a 40 cm de profundidad a 6 fincas de café que se encuentran en producción, de las cuales se tomarán tres muestras por finca en la parte alta, y tres en la parte baja, donde cada muestra representará una repetición (Anexo 2). Cada muestra de suelo estará conformada por 10 submuestras.

4.1.5 Tratamientos

La tabla 1 muestra las combinaciones de las fincas con el lugar de muestreo, lo que da como resultado los siguientes tratamientos:

Tabla 1. Tratamientos

Tratamiento	Nomenclatura	Finca	Toma de muestra
1	F1M1	1	Parte alta de la pendiente
2	F1M2	1	Parte baja de la pendiente
3	F2M1	2	Parte alta de la pendiente
4	F2M2	2	Parte baja de la pendiente
5	F3M1	3	Parte alta de la pendiente
6	F3M2	3	Parte baja de la pendiente
7	F4M1	4	Parte alta de la pendiente
8	F4M2	4	Parte baja de la pendiente
9	F5M1	5	Parte alta de la pendiente
10	F5M2	5	Parte baja de la pendiente
11	F6M1	6	Parte alta de la pendiente
12	F6M2	6	Parte baja de la pendiente

4.2 Definición de variables

4.2.1 pH del suelo

Para la determinación del pH se utilizó agua destilada con relación 1: 2.5, y se determinará usando un pHmetro.

4.2.2 Concentración de Nitrógeno en el suelo

El método de extracción que se utilizó para el nitrógeno fue el de Kjeldhal, y la determinación se realizó por Titulación.

4.2.3 Concentración de Fósforo en el suelo

La extracción de este nutriente se realizó mediante el método de Olsen y su concentración se determinó por espectrofotometría ultravioleta visible.

4.2.4 Concentración de K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn en el suelo

La extracción de K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn se realizó mediante el método de Olsen modificado y su concentración se determinará por espectrofotometría de absorción atómica.

4.2.5 Concentración de Azufre en el suelo

El extractante para azufre fue la de fosfato monocalcico y para su concentración se la determinó por medio del método de turbidimetría.

4.2.6 Concentración de Boro en el suelo

La extracción de este nutriente se realizó mediante el método de fosfato monocalcico y su concentración se la determino mediante colorimetría.

Los análisis de la concentración de nutrientes en el suelo se realizaron en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias (INIAP- Pichilingue).

4.2.7 Necesidad de fertilización del cultivo de café

La necesidad de fertilización para macro y micronutrientes en el cultivo de café se determinó mediante la fórmula propuesta por Bello y Pino (2000):

$$Df = \frac{Rc - As}{Ef}$$

Donde:

Df = Dosis de fertilización

Rc = Requerimiento del cultivo

As = Aporte del suelo

Ef = Eficiencia del fertilizante

4.3 Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza, considerando el diseño estadístico completamente al azar, en las variables que se encontraron diferencias significativas se aplicó la prueba de comparación de medias de Duncan ($P < 0.05$), utilizando el software informático InfoStat profesional.

5 Resultados y discusión

5.1 Evaluación de las propiedades químicas y materia orgánica del suelo

5.1.1 Reacción del suelo

El pH del suelo mostró que hay diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Anexo 3), siendo los tratamientos 1, 3, 6, 7 y 8 los que tuvieron un valor por debajo de 6.5 (Gráfico 1), clasificándose como ligeramente ácidos, mientras que los tratamientos restantes están en los rangos prácticamente neutros (Ibarra y Ruiz, 2013).

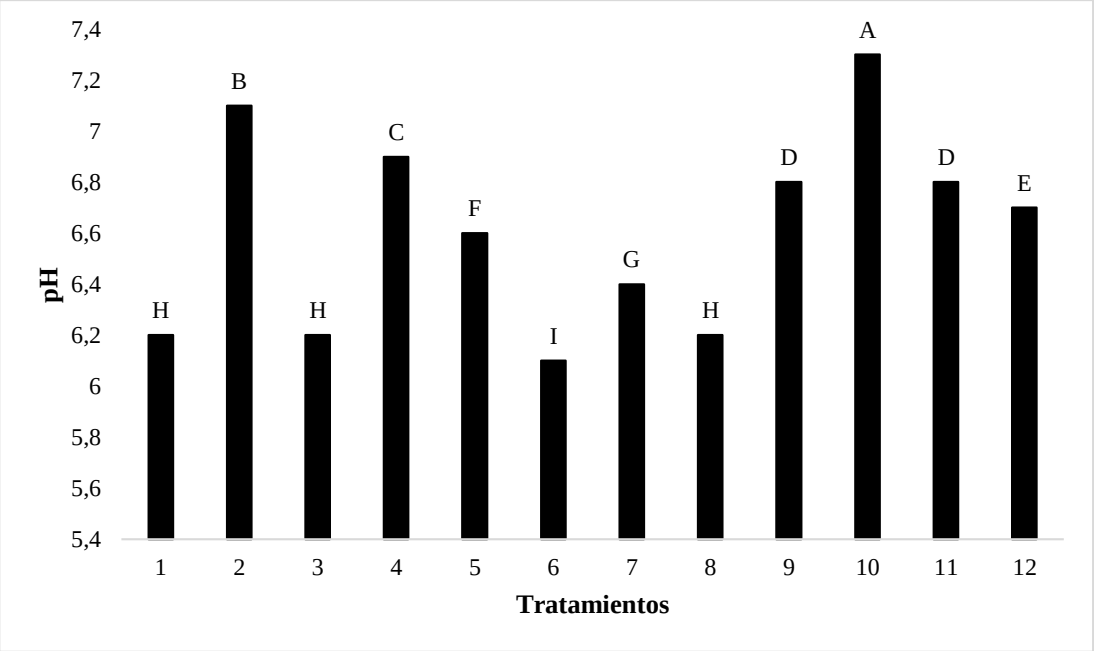

Gráfico 1. Evaluación del pH del suelo de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa.

Según López et al. (2016), el pH óptimo para el cultivo de café esta entre 5 a 5.6, en este rango, la planta tiene mayor capacidad de absorber los nutrientes y esto da como resultado más cerezas de café y menos problemas relacionados con plagas y enfermedades. El pH más cercano a la indicación de estos autores correspondería al tratamiento 6, donde se esperaría que las plantas tengan un mejor rendimiento.

5.1.2 Materia orgánica (MO)

Los resultados para el porcentaje de Materia orgánica del suelo muestran que hay diferencias altanamente significativas entre los tratamientos (Anexo 4), donde los valores más altos

fueron para el tratamiento 3 y 4, con 2.2% para ambos casos, seguido del tratamiento 7 con 1.9 %. El porcentaje más bajo fue de 0,3% para el tratamiento 6 (Gráfico 2).

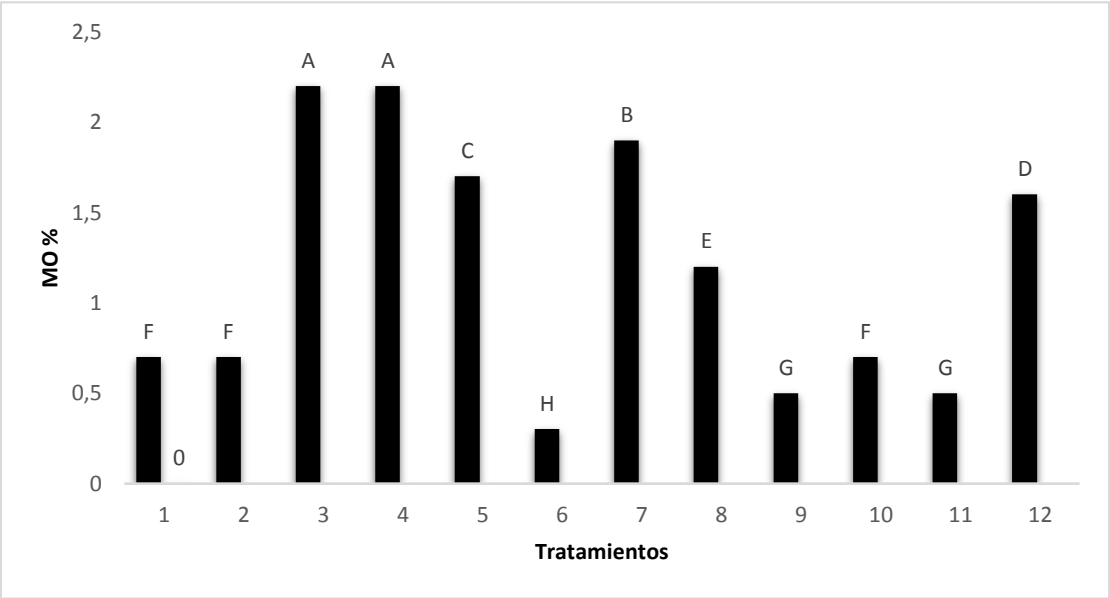

Gráfico 2. Evaluación del porcentaje de materia orgánica en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa.

Estos resultados presentan un porcentaje muy bajo de materia orgánica en comparación de lo que expresa Vanegas (2016), quien manifiesta que los suelos buenos para cultivar café deben tener contenidos de materia orgánica mayores al 5%. Sin embargo, Siavosh (2012), indican que según las normas de interpretación de M.O. del suelo los tratamientos 3 y 4 se encuentran en un rango medio, aportando con niveles medios de nutrientes y podrían llegar a satisfacer la necesidad del cultivo.

5.1.3 Nitrógeno (N)

La concentración de nitrógeno en el suelo mostró diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 5), el tratamiento con mayor valor de este nutriente fue para el tratamiento 12 con 25 ppm, seguido de los tratamientos 7 y 4 con 16 y 14 ppm respectivamente (Gráfico 3). En cuanto el nivel más bajo de nitrógeno fueron para los tratamientos 6 y 3 con 8 y 9 ppm respectivamente, según los análisis de suelos el tratamiento 12 con 25 ppm está en un nivel medio, mientras que los tratamientos restantes están en un nivel bajo.

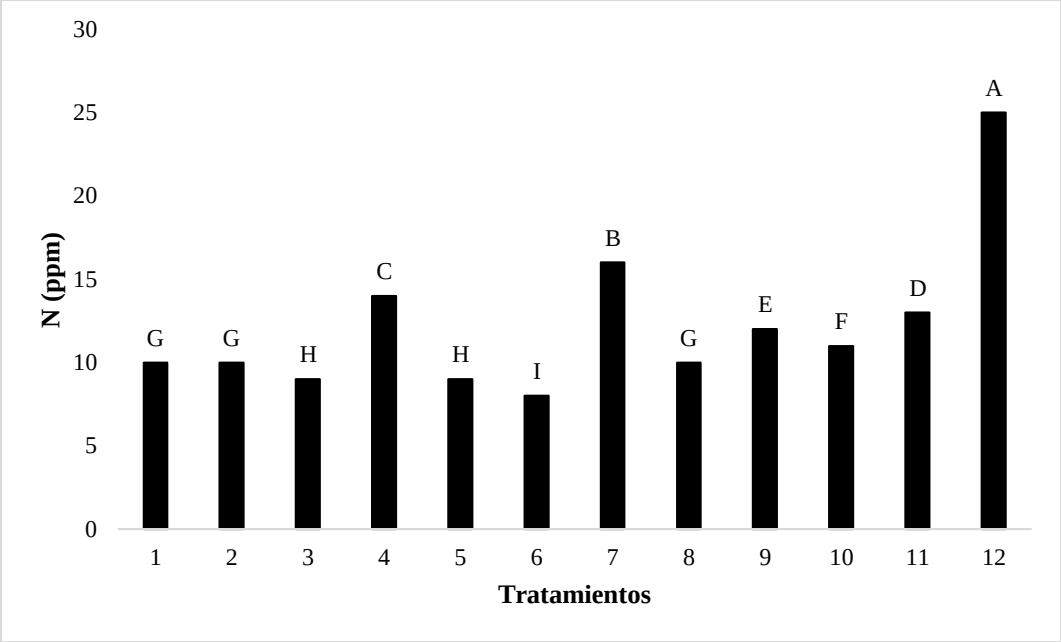

Gráfico 3. Evaluación de niveles de nitrógeno en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa.

La mayoría del nitrógeno total de los suelos (85-95%) se encuentra formando parte de la materia orgánica, en donde una gran proporción no está disponible de inmediato para ser utilizado por las plantas, debiendo de sufrir la degradación (mineralización) por parte de la flora microbiana del suelo para ser transformado a formas inorgánicas aprovechables por las plantas, este proceso es relativamente lento para satisfacer los requerimientos de los cafetales de mediana o alta producción por lo que sus necesidades deben ser complementadas con periódicas aplicaciones de fertilizantes químicos u orgánicos (Chavez , 2015). Estos resultados están relacionados con el porcentaje de materia orgánica que se encontraron en este estudio, en el cual el nivel también es bajo.

5.1.4 Fósforo

Los niveles óptimos en el suelo para producir café según Lovo (2014) son de 13 a 30 ppm, en este estudio el tratamiento 10 presento el nivel más alto con 63ppm, seguido del tratamiento 4 con 40ppm. Mientras que el tratamiento 3 presento el nivel más bajo de P con 3ppm (Gráfico 4). Obteniendo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos con un coeficiente de variación del 6,05% (Anexo 6).

Según los análisis de suelos realizados en la investigación los tratamientos 4, 8, 9, 10, 12 presentan niveles altos, los tratamientos 1, 5, 6, 7, y 11 presentan niveles medios, mientras que los tratamientos 2 y 3 presentan niveles bajos de fósforo en el suelo (INIAP, 2020).

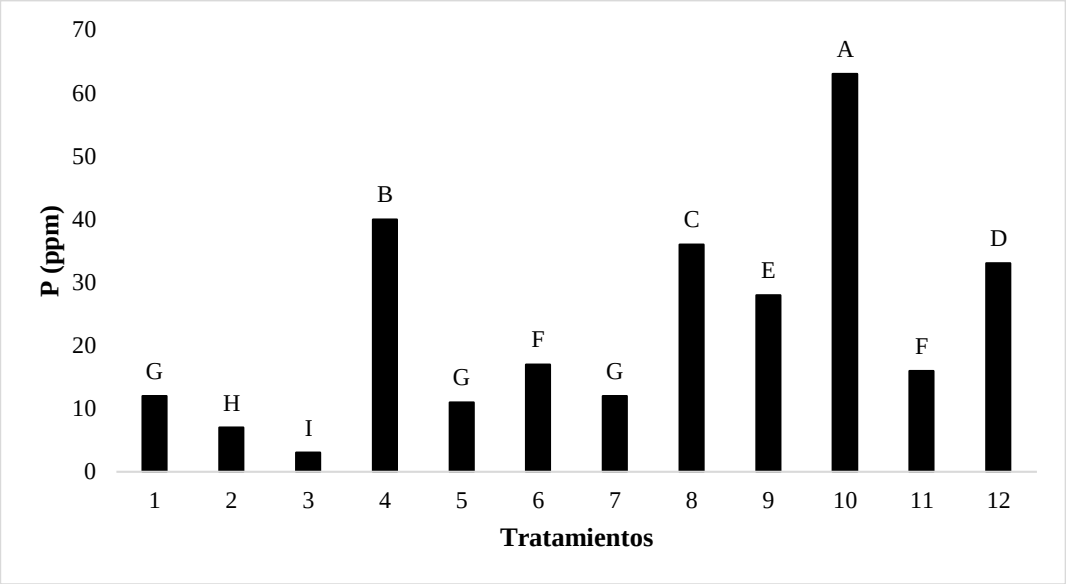

Gráfico 4. Evaluación de niveles de fosforo en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa.

5.1.5 Potasio

El contenido de potasio en el suelo presentó alta significancia estadística entre los tratamientos (Anexo 7). El tratamiento 10 fue superior a los demás tratamientos con 1,42meq/100g, seguido del tratamiento 4 con 0,8 meq/100g. El tratamiento 6 y tratamiento 9 fue inferior a todos los tratamientos con 0,12 meq/100g y 0,11meq/100g (Gráfico 5).

Los resultados del análisis de suelo presentan altos niveles de Potasio para los tratamientos 4, 8, 10 y 12, mientras que los tratamientos 1, 5, 7 y 11 presentan niveles medios y los tratamientos 2, 3, 6 y 9 presentan niveles bajos de Potasio en el suelo (INIAP, 2020). Según Espinoza, Slaton y Mozaffari (2012), mencionan que el valor normal para Potasio es de 0,4 meq/100g, su uso dependerá del nivel en el suelo y del cociente de (Ca+Mg)/K. Si el pH es inferior a 5,5 puede aplicarse Cal.

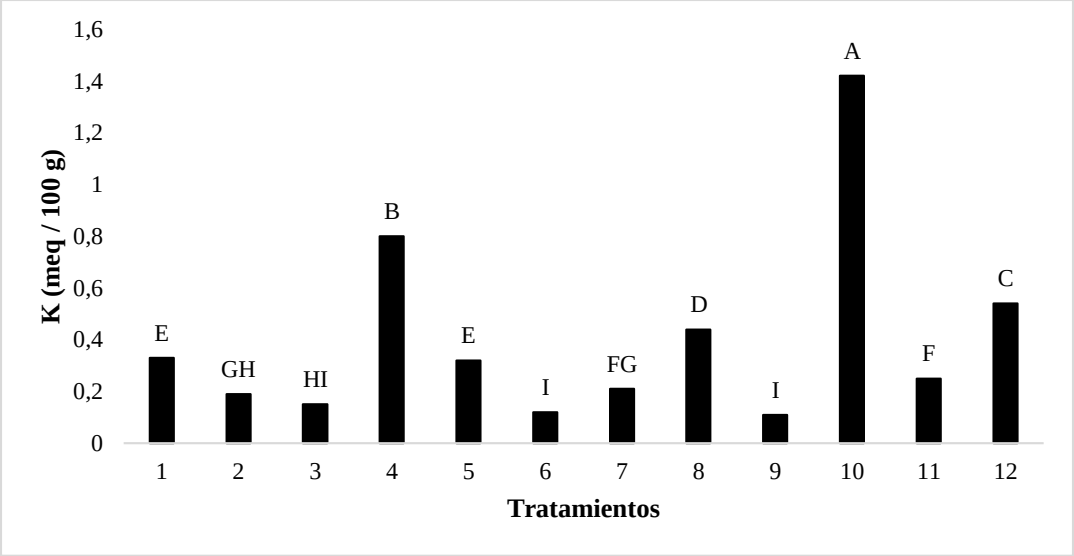

Gráfico 5. Evaluación de niveles de potasio en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa.

5.1.6 Calcio

En la variable de Calcio en el suelo se puede evidenciar que presento diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Anexo 8), donde los valores más altos fueron para los tratamientos 1, y 10 con 16meq/100g, seguidos de los tratamientos 4, 8, 11 y 12 con 15meq/100g.

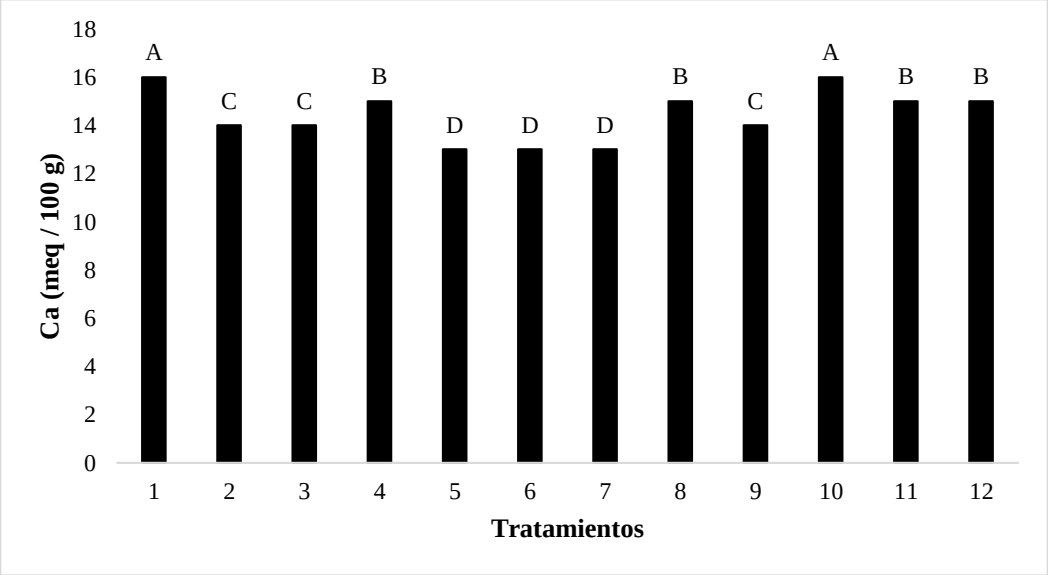

Gráfico 6. Evaluación de niveles de calcio en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa.

Los resultados más bajos se presentaron en los tratamientos 5, 6 y 7 con 13meq/100 g cada uno (Gráfico 6). En esta variable según los análisis de suelo todos los tratamientos presentan niveles altos de Calcio (INIAP, 2020).

Los niveles de Calcio para producir café son 5.01 y 9 (meq/100g - rango medio), además, por lo general, los suelos arcillosos necesitan más cal que los suelos de textura media para subir el pH del suelo a los niveles deseados (Espinoza et al., 2012).

5.1.7 Magnesio

Con respecto a la variable de Magnesio en el suelo, se pudo observar que obtuvo diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Anexo 9), donde los tratamientos 1 y 7 son superiores estadísticamente a todos los tratamientos con 8.1 meq/100g. El tratamiento 10 fue inferior estadísticamente a todos los tratamientos con 4,1meq /100g (Gráfico 7). Según los resultados de los análisis de suelos para esta variable todos los tratamientos presentan niveles altos de magnesio en el suelo (INIAP, 2020).

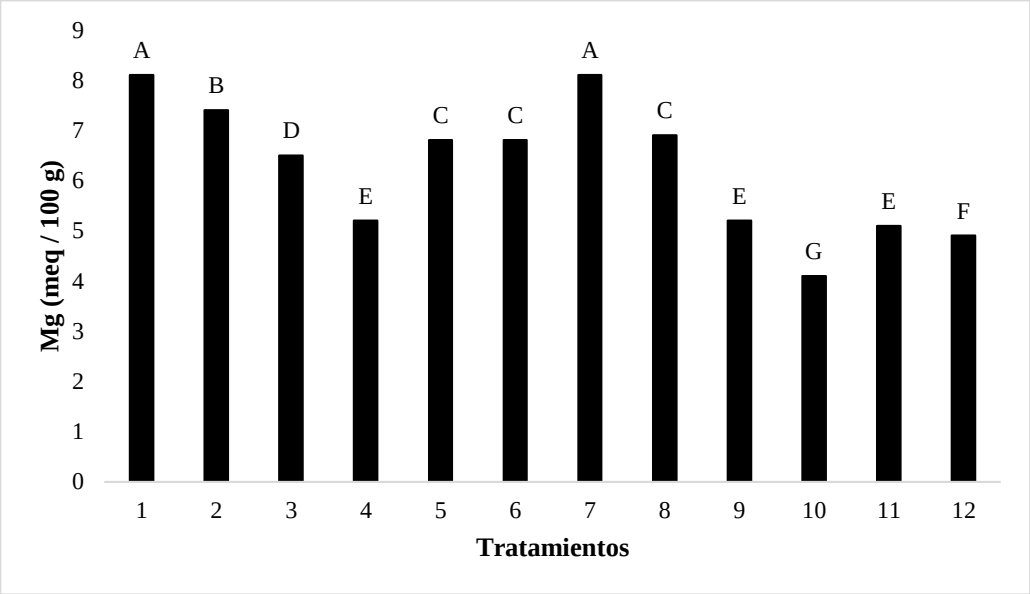

Gráfico 7. Evaluación de niveles de magnesio en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa.

La adición de Magnesio se realizó cuando los análisis de suelo presenten resultados menores a 1meq/100g y la relación entre Mg/K sea inferior a 2, la mayoría de suelos bajos en magnesio son usualmente ácidos y bajos en calcio (Chavez , 2017), resultados que no fueron observados en los suelos en estudio.

5.1.8 Azufre

El anexo 10 mostró que el contenido de azufre en el suelo presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos. El tratamiento 8 con 64 ppm, fue superior estadísticamente a todos los tratamientos; seguido por el tratamiento 7 con 54 ppm. Los tratamientos 2 y 4 fueron inferiores a todos los tratamientos con 23ppm y 24ppm respectivamente (Gráfico 8). Según los análisis de suelo todos los tratamientos presentaron niveles altos de Azufre (INIAP, 2020).

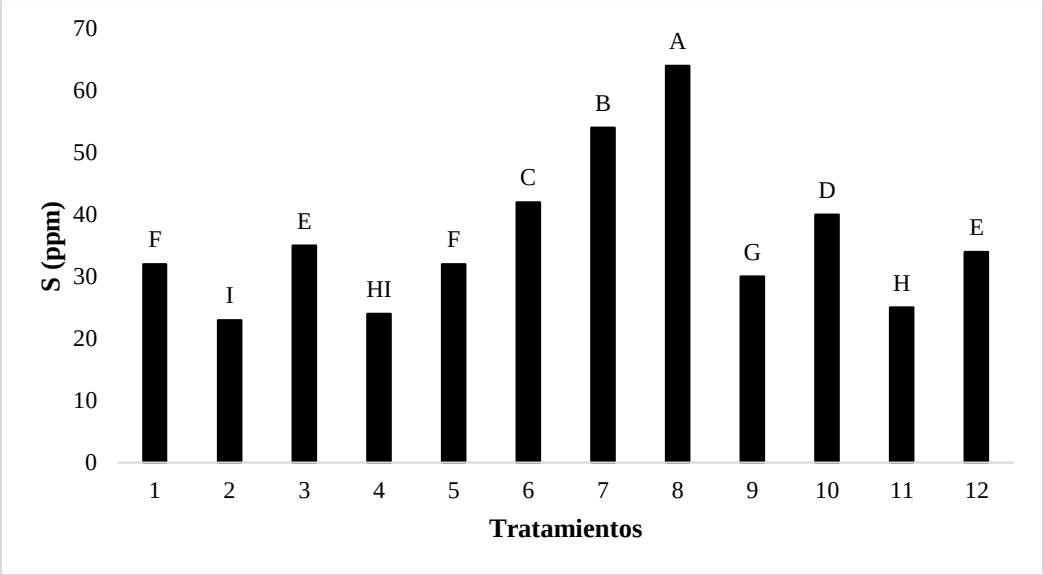

Gráfico 8. Evaluación de niveles de azufre en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa.

En investigaciones se ha encontrado que en suelos con muy bajos niveles de azufre (S<6 mg/) los cafetales responden a la aplicación de 50- 60 Kg/ha año y en suelos con contenidos medios (12< mg/kg) se requieren solo 25 – 30 kg ha / año (Siavosh, 2016).

5.1.9 Hierro

El contenido de hierro en el suelo obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 11), siendo el tratamiento 8 superior a los otros tratamientos con valores de 106ppm, seguido de los tratamientos 1 y 6 con 26ppm y 25 ppm respectivamente. Los tratamientos 4 y 5 presentaron los niveles de hierro más bajos con 8ppm y 7 ppm respectivamente (Gráfico 9).

Según los análisis realizados el INIAP (2020), indica que la concentración de Hierro en el suelo presentó niveles altos en el tratamiento 8, los tratamientos 1 y 6 presentan niveles medios, mientras que los tratamientos restantes presentaron niveles bajos.

Los rangos de suficiencia de Fe para una óptima producción de café van de 50 a 250 ppm, mientras que se denomina deficiencia cuando en el suelo se encuentran niveles menores a 50 ppm (Aguado, Moreno, y Jiménez, 2012).

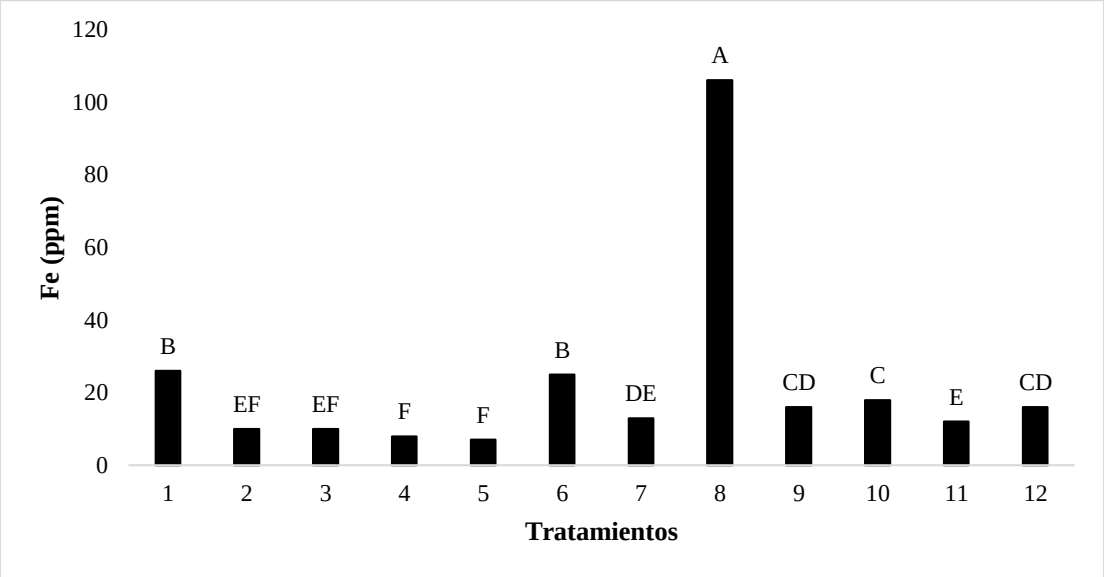

Gráfico 9. Evaluación de niveles de hierro en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa.

Cuando se identifica la deficiencia de hierro en las plantas, está puede ser tratada, en el corto plazo, mediante la aplicación de una pulverización foliar de fertilizantes de hierro, pero el mejor curso de acción sería la prevención (Esquivel, 2018).

5.1.10 Cobre

En el anexo 12 se observó que la concentración de Cobre en el suelo obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos. En esta variable el tratamiento 1 con 2,60 ppm, fue superior estadísticamente a todos los tratamientos, seguido por los tratamientos 5 y 8 con 1,4 ppm y 1,1 ppm respectivamente. El tratamiento 10 fue inferior a todos los tratamientos con 0,3ppm (Gráfico 10).

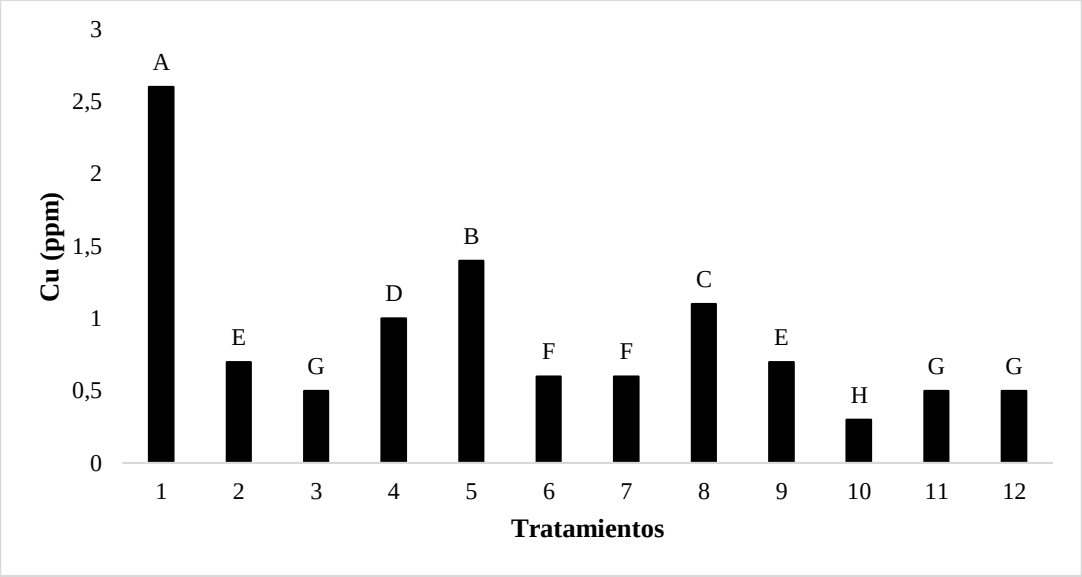

Gráfico 10. Evaluación de niveles de cobre en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa.

Según el INIAP (2020), los tratamientos 1, 4, 5 y 8 presentaron niveles medios de Cu en el suelo, mientras que los restantes presentaron niveles bajos de Cu. Aguado et al. (2012), sugieren que los niveles óptimos para producir café son cuando existe una concentración de 9 ppm de Cu en el suelo, mientras que niveles por debajo de 2 ppm de Cu se denomina deficiencia de este elemento en el suelo.

5.1.11 Manganeso

Para la variable de manganeso en el suelo se pudo evidenciar diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 13), donde el tratamiento 12 con 13,20 ppm fue superior a los otros tratamientos, seguido del tratamiento 5 con 12,5 ppm, los tratamientos 10 y 1 presentaron los niveles de Manganeso más bajos con 2,6 ppm y 2,3 ppm respectivamente (Gráfico 11).

Para esta variable según los análisis de suelo, los tratamientos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11 y 12 presentan niveles medios de Mn en el suelo, mientras que los tratamientos 1, 2 y 10 presentan niveles bajo de Mn (INIAP, 2020). Las deficiencias de manganeso son algunas veces encontradas en suelos con pH >6.5 y niveles de Mn menores de 20 ppm y posiblemente requieran fertilizantes con Mn (Espinoza, Slaton y Mozaffari, 2012).

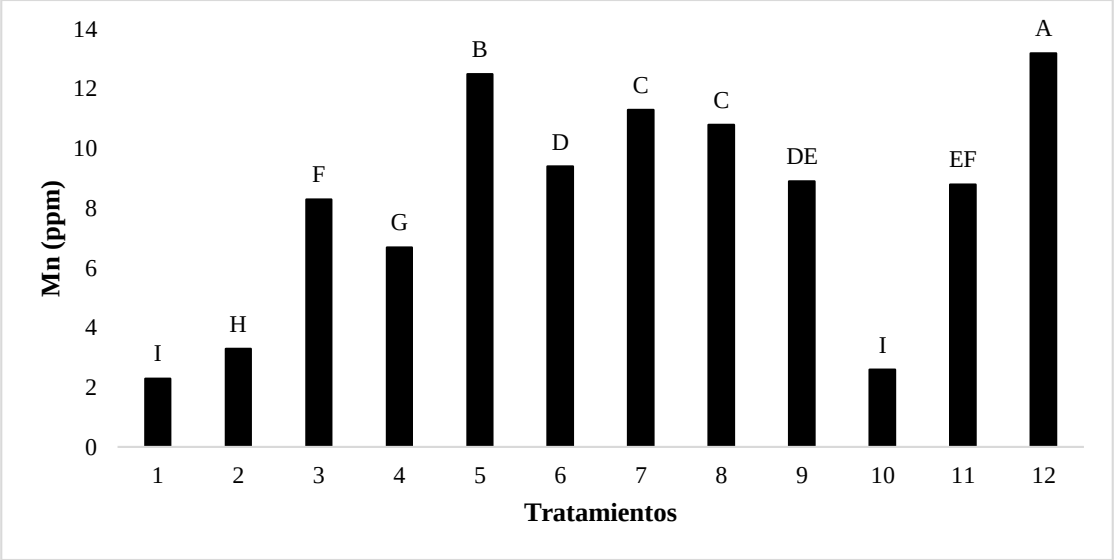

Gráfico 11. Evaluación de niveles de manganeso en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa.

5.1.12 Zinc

El anexo 14 indica que el contenido de zinc en el suelo mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos, donde los tratamientos 4 y 7 son superiores estadísticamente a todos los tratamientos con 7ppm y 4,9 ppm respectivamente. El tratamiento 8 fue inferior estadísticamente a todos los tratamientos con 1 ppm (Gráfico 12).

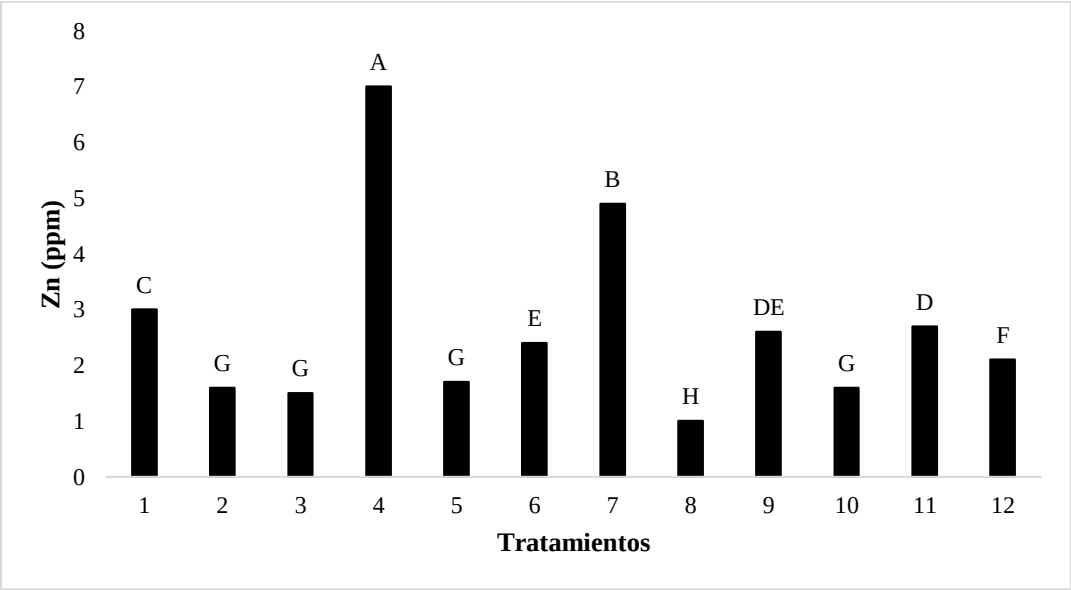

Gráfico 12. Evaluación de niveles de zinc en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa.

Según los análisis de suelo realizados en la investigación, el INIAP (2020), indica que los tratamientos 1, 4, 6, 7, 9, 11 y 12 presentaron niveles medios de Zn, los tratamientos restantes presentaron niveles bajos de Zn en el suelo.

Diversos investigadores han reportado que la concentración de Zn total en los suelos es del orden de 55 $mg.kg^{-1}$ (ppm), donde el rango típico oscila entre las 10 a 300 ppm, el Zn es fácilmente lixiviado como sucede en los suelos tropicales con altas precipitaciones pluviales (Aguado et al. 2012). Los análisis de suelos con niveles de zinc por debajo de 4 ppm y con pH arriba de 6.0 generaran una recomendación para la aplicación de zinc, los análisis foliares y los análisis de suelos deberían de ser usados en conjunto para evaluar la necesidad de aplicación de los otros micronutrientes (Siavosh, 2016).

5.1.13 Boro

La variable de boro en el suelo presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo 15), siendo el tratamiento 7 superior a los otros tratamientos con 0,71 ppm, seguido del tratamiento 11 con 0,28 ppm. Los tratamientos 12 y 1 presentaron los niveles de Boro más bajos con 0,18 ppm y 0,15 ppm respectivamente (Gráfico 13).

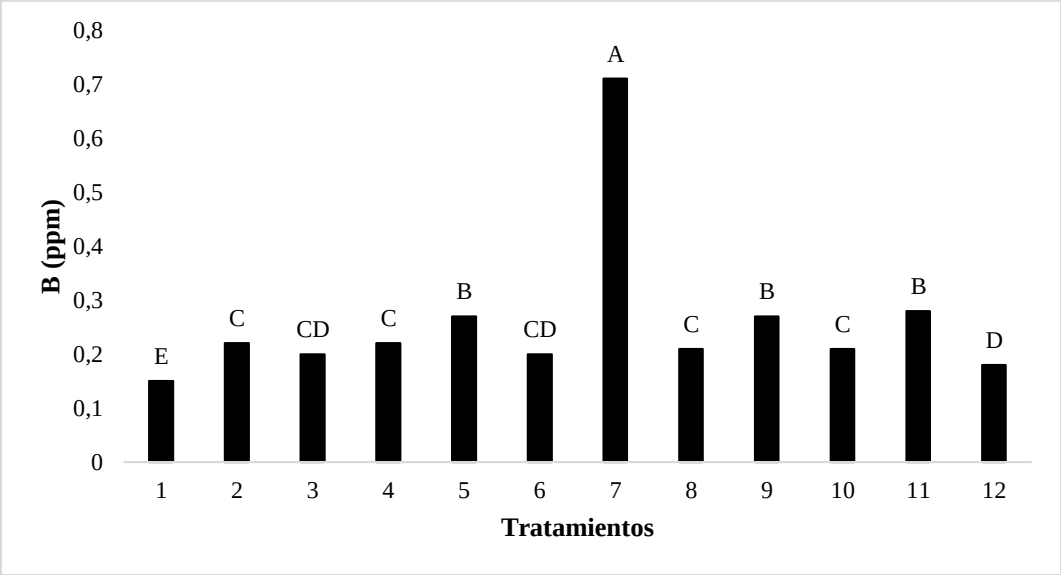

Gráfico 13. Evaluación niveles de boro en suelos de los cafetales de Cerro Grande de la parroquia La América de Jipijapa.

En esta variable el tratamiento 7 presento niveles medio de boro en el suelo, los tratamientos restantes presentaron niveles bajos, esto según los análisis de suelos realizados en la

investigación (INIAP, 2020). El contenido total de boro en el suelo va de 7 a 80 ppm, pero menos del 5 % está disponible para las plantas. Su disponibilidad es variable de acuerdo a los diversos sistemas de cultivo y variedad de climas. En zonas de alta precipitación se lixivia fácilmente, pero también puede llegar a convertirse en limitante en suelos con baja humedad, donde se absorbe en forma limitada (Castellanos, 2014).

5.2 Evaluación de la necesidad de fertilización del cultivo de café

5.2.1 Necesidad de fertilización con macronutrientes en el cultivo de café

El cultivo del café requiere de varios nutrientes para alcanzar su máximo potencial de producción desde el punto de vista de nutrición y necesita en mayor cantidad algunos nutrientes más que otros (Martins y Tomaz, 2013). En este sentido, según lo reportado por Siavosh y González (2012), los diferentes suelos de los cafetales de Cerro Grande, no necesitan ser fertilizados por Ca y Mg, puesto que estos nutrientes son aportado en buenas cantidades por el suelo (Tabla 2).

Tabla 2. Necesidad de fertilización con macronutriente en las fincas cafetaleras de Cerro Grande.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	S
	Kg ha^{-1}					
1	400 c	52 d	3,7 f	0	0	0 c
2	400 c	72 b	159,7 c	0	0	5,7 a
3	402,8 b	92 a	204,2 b	0	0	0 c
4	388,5 g	0 g	0 f	0	0	2,8 b
5	402,8 b	56 c	14,8 f	0	0	0 c
6	405,7 a	32 f	237,7 a	0	0	0 c
7	382,8 h	52 d	137,4 d	0	0	0 c
8	400 c	0 g	0 f	0	0	0 c
9	394,2 e	0 g	248,8 a	0	0	0 c
10	397,1 d	0 g	0 f	0	0	0 c
11	391,4 f	36 e	92,8 e	0	0	0 c
12	357,1 i	0 g	0 f	0	0	0 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (P> 0,05)

La porción de nutrientes requerida para el cultivo del café cambia según la variedad, el clima, el suelo y el manejo, pero para ser más exactos al momento de elaborar un plan de fertilización, debemos hacer el análisis de suelos, el cual nos permite conocer el estado de fertilidad, aplicar lo que realmente se necesita y en algunas ocasiones puede tener un importante impacto ambiental y de costos (Farfan y Arcila, 2013).

Nitrógeno: La necesidad de fertilización de N, obtuvo diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Anexo 16). En la Tabla 2 se puede observar que todos los tratamientos requieren aplicación de este nutriente en cantidades que superan los 350 Kg de N ha^{-1}, estas dosis concuerdan con lo recomendado por Valencia (2015). El tratamiento 6 es aquel que necesita un mayor aporte de N, mientras que el tratamiento 12 es el que necesita menor cantidad. Las necesidades de N en los diferentes tratamientos, no se pueden dejar de aplicar, puesto que este nutriente es considerado uno de los que más limita la producción de café, en este sentido cuando se lo excluye de los planes de fertilizaciones, el rendimiento puede reducir hasta en un 80% (Valencia, 2015).

Fósforo: Fueron encontradas diferencias altamente significativas entre los tratamientos en la necesidad de fertilización de fósforo (Anexo 17). Este nutriente requiere ser aplicado en las máximas cantidades en el tratamiento 3, mientras que los tratamientos que no se debe aplicar fósforo son el 4, 8, 9, 10 y 12, lo que sugiere que el suelo aporta las cantidades necesarias para suplir la necesidad (Tabla 2). Según Chávez (2015), el café parece tener facilidad en la extracción del fosforo del suelo, de tal forma que ha sido difícil encontrar respuesta positiva a la aplicación de este elemento, los pocos ensayos indican que con niveles de 50 a 75 kg P ha^{-1} son suficientes para suplir las necesidades del cultivo, estos valores son cercanos a los que se necesita aplicar en esta investigación, puesto que reflejan requerimientos de Fosforo que van en dosis de 32 a 92 kg ha^{-1}. Este nutriente no se debe excluir de la fertilización en café, puesto que permite el desarrollo de las regiones meristemáticas de la parte aérea y radical (Boschetti y Quintero , 2016)

Potasio: En la necesidad de fertilización de potasio se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Anexo 18). Este elemento debe ser aplicado en dosis superiores en los tratamientos 6 y 9, mientras que no se debe aplicar en el 4, 8, 10 y 12, indicando que el suelo de estos tratamientos suple la necesidad del cultivo (Tabla 2). La aplicación de este nutriente en los tratamientos que lo requieren es primordial, puesto que, intervienen en los procesos

metabólicos como fotosíntesis, respiración, síntesis de clorofila, nivel hídrico en las hojas, apertura y cierre de estomas y como activador enzimático (Bedoya y Salazar, 2014).

Azufre: Fueron encontradas diferencias altamente significativas entre los tratamientos en la necesidad de fertilización de azufre (Anexo 19). Los suelos de los diferentes tratamientos mostraron un buen nivel de azufre, resultando que solo se debe aplicar este nutriente en los tratamientos 2 y 4 (Tabla 2). La deficiencia de un nutriente secundario es tan perjudicial como una deficiencia de nitrógeno, fósforo o potasio, sin una cantidad suficiente de azufre, las plantas no pueden usar el nitrógeno ni otros nutrientes de manera eficiente para alcanzar su potencial máximo (Bedoya & Salazar, 2014). Además, este nutriente es constituyente de tres aminoácidos (cistina, cisteína y metionina) que hacen parte de todas las proteínas vegetales (Sadeghian et al., 2013), en este sentido, se torna fundamental la aplicación de azufre en los tratamientos que lo requieren.

5.2.2 Necesidad de fertilización con micronutrientes para el cultivo de café

Los micronutrientes como el Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl y Mo son requeridos en pequeñas cantidades y considerados esenciales en la nutrición de las plantas porque la ausencia parcial o total de alguno de ellos provoca que las plantas no puedan completar su ciclo vital (Chavez , 2017).

Tabla 3. Necesidad de fertilización de micronutriente en las fincas cafetaleras de Cerro Grande.

Tratamientos	**Fe**	**Cu**	**Mn**	**Zn**	**B**
	g de nutrientes / t de almendra de café				
1	55 e	27,8 h	56,4 a	12 f	49,7 a
2	87 ab	31,6 d	54,4 b	14,8 b	49,56 c
3	87 ab	32 b	44,4 d	15 b	49,6 bc
4	91 a	31 e	47,6 c	4 h	49,56 c
5	93 a	30,2 g	36 h	14,6 b	49,46 d
6	57 e	31,8 c	42,2 f	13,2 d	49,6 bc
7	81 bc	31,8 c	38,4 g	8,2 g	48,58 e
8	0 f	30,8 f	39,4 g	16 a	49,58 c
9	75 cd	31,6 d	43,2 ef	12,8 de	49,46 d
10	71 d	32,4 a	55,8 a	14,8 b	49,58 c

11	83 b	32 b	43,4 de	12,6 e	49,44 d
12	75 cd	32 b	34,6 i	13,8 c	49,64 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Según lo reportado por Siavosh (2016), es necesario aporar con todos los micronutrientes en los suelos de esta investigación (Tabla 3).

Hierro: Fueron encontradas diferencias altamente significativas entre los tratamientos en la necesidad de fertilización de hierro (Anexo 20). Los tratamientos que requieren de una mayor aplicación de este nutriente son los tratamientos 4 y 5, mientras que el tratamiento 8 no requiere de fertilización alguna de Fe (Tabla 3). No se debe dejar de fertilizar con este nutriente debido a que el hierro es necesario para la clorofila, fotosíntesis y respiración, además, la falta de este elemento provoca desequilibrios muy graves en la planta, llegando en algunos casos a la pérdida del cultivo (Esquivel, 2018).

Cobre: La necesidad de fertilización de cobre presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Anexo 21). El tratamiento 8 es el que requiere de una mayor adición de este nutriente, mientras que el tratamiento 1 es el que requiere la menor cantidad (Tabla 3). A pesar de que el cultivo de café requiere en pequeñas dosis el Cu, este nutriente es necesario para formar parte de la plastocianina involucrada en la transferencia de electrones durante el proceso fotosintético (Chavez , 2017). En las plantas de cafeto, el cobre activa ciertas enzimas implicadas en la síntesis de lignina y es esencial para diversos sistemas enzimáticos, esencial para la respiración de las plantas y coadyuvante de éstas en el metabolismo de carbohidratos y proteínas, además, el cobre ayuda a intensificar el sabor, el color de los frutos (Fernández et al., 2013).

Manganeso: Se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos en la necesidad de fertilización de manganeso (Anexo 22). Los tratamientos que necesitan la mayor cantidad de este nutriente son los tratamientos 1 y 10, mientras que el tratamiento 12 es el que menor dosis requiere (Tabla 3). El Manganeso después del hierro, es el que las plantas requieren en mayor cantidad, su deficiencia puede representar una limitante para el desarrollo de las plantas (Rivera, 2017), además, es uno de los elementos que más contribuyen al funcionamiento de varios procesos biológicos incluyendo la fotosíntesis y la respiración (Espinoza et al., 2012), debido a esto, se hace indispensable no excluir al Mn de los planes de fertilización.

Zinc: La necesidad de fertilización de zinc presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Anexo 23). En la tabla 3 se muestra que el tratamiento 8 necesitan la mayor dosis de zinc, mientras que el tratamiento 7 es el que menor cantidad requiere. El Zinc es uno de los micronutrientes que las plantas requieren para tener un normal crecimiento y reproducción, es un micronutriente que desempeña un papel vital en funciones claves como la estructura de la membrana, fotosíntesis, síntesis de proteína y defensa frente a sequias y enfermedades (Cakmak, 2014), es por esto que es fundamental en los tratamientos de esta investigación tener una disponibilidad continua de Zn en la zona de raíces durante el crecimiento de las plantas.

Boro: En el anexo 24 se observa diferencias altamente significativas entre los tratamientos en la necesidad de fertilización de boro. El tratamiento que requiere de una mayor aplicación de este nutriente es el T1, mientras que el tratamiento 7 es el que necesita de menor cantidad (Tabla 3). Este es otro de los micronutrientes que no puede excluirse del plan de fertilización en esta investigación, debido a que interviene en el metabolismo de auxinas, sustancias fenólicas, proteínas y ácidos nucleicos, así como el de participar en la formación y funcionamiento de las paredes y membranas celulares, además, se le asocia en el transporte de azucares, es también conocido su efecto sobre la germinación y fertilidad del polen ya que su carencia afecta drásticamente la formación del tubo polínico (Alarcón, 2014). Todos los tratamientos no superan dosis de aplicación de 50 g de B por cada tonelada de almendra producida, lo que concuerda con lo reportado por Alarcón (2014), puesto que no se deben sobrepasar dosis de 14 kg B ha^{-1} ya que pueden presentarse daños por intoxicación.

6 Conclusiones y recomendaciones

Con base a los resultados de esta investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El pH de los diferentes suelos se encuentran en los rangos de ligeramente acidos a practicamente neutros, lo que permitio que la mayoria de suelos tengan un buen contenido de nutrientes disponibles, entre los que mayormente se destacaron las disponibilidades de calcio, magnesio, y azufre.
- Para los suelos en estudio no es necesario realizar aplicaciones de calcio y magnesio en ningún tratamiento, mientras que azufre, potasio y fósforo solo se deben aplicar a ciertos tratamientos, y nitrógeno, hierro, cobre, manganeso, zinc y boro se requiere aplicar en todos los tratamientos.

Con base a los resultados de esta investigación se obtuvieron las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda a los caficultores realizar analisis de suelos e interpretar de forma correcta los datos que proporcionan: pH, la conductividad eléctrica, carbono total, nitrógeno total, materia orgánica, bases de cambio (calcio, magnesio, potasio, sodio), Capacidad de intercambio catiónico (CIC), fósforo extractable, nitratos, azufre y micronutrientes: hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno, textura, puesto que de ello dependera poder armar un buen plan de fertilización.
- Se recomienda realizar estudios de suelos mas profundos, donde tambien se puedan evaluar las caracteristicas físicas y biologicas de los suelos, puesto que de estas propiedades tambien depende la fertilidad del suelo.

7 Referencias bibliográficas

Blanco, M., Haggar, J., & Moraga, P. (2013). Morphology of the coffee (Coffea arabica L.) in commercial plosts. *Journal of Agronomy*, 14.

Figueroa Hernández, E., & Pérez Soto, F. (2014). La producción y consumo a nivel mundial de café. *AMECAFE (Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café, A.C.)*.

Melke, A., & Ittana, F. (2014). Nutritional Requirement and Management of Arabica Coffee (Coffea arabica L.) in Ethiopia: National and Global Perspectives. *Natural Sciences*, 400-418.

Rivera Búcaro, H. (2017). Informe final de servicios sobre el cultivo de café (Coffea canephora Var.Robusta) en plantía en Finca Agrícola Chitalón, Mazatenango Suchitepéquez. *Scielo*.

Roca Fernández, A. (29 de 03 de 2013). Elementos esenciales para las plantas. *InfoAgro*. Obtenido de https://www.infoagro.com/abonos/elementos_suelo_esenciales_plantas.htm

Aguado Santacruz, G., Moreno Gómez, B., & Jiménez, F. (2012). Impacto de los sideróforos microbianos y fitosideróforos en la asimilación de Hierro por las plantas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 9-21.

Alarcón Vera, A. (2014). Boro nutriente esencial: síntomas, dianóstico y corrección en cultivos. *infiAgro*.

Bedoya Cardoso, M., & Salazar Moreno, R. (2014). Optimizing fertilizer use in coffee crops. *Redalyc*, 1433-1439.

Boschetti, G., & Quintero , C. (2016). Importancia del fósforo orgánico del suelo en la nutrición fosforada de los cultivos. *UNER*.

Cakmak, I. (2014). Nutricion de cultivos con Zinc. *intagri*.

Castellanos, J. (2014). El Boro (B), en la Nutrición de los Cultivos. Hojas Técnicas de Fertilab. 4.

Chavez , V. (2015). Manejo de la fertilización de café. *ICAFE*.

Chavez , V. (2017). Manejo en la fertilización en café. *CICAFE*.

Escobar Molina , M. (2017). selección de plantas promisoras de Coffea arabica L. basado en resistencia a Roya Hemileia vastatrix Berk. & Br. in vitro y en condiciones de campo de zonans cafetaleras de Guatemala.

Espinoza, L., Slaton , N., & Mozaffari, M. (2012). How to interpret the results of soil tests. *Cooperative Extension Service, University of Arkansas, US Department of Agriculture, and county governments cooperating.*

Esquivel Mata, G. (2018). Importancia del hierro (Fe) en la agricultura Peruana . *DROKASA*.

FAOSTAT. (2019). Organizacion de las naciones unidas para la alimentacion y agricultura.

Farfan Valencia , F., & Arcila Pulgarin, J. (2013). Sistema de producción de café. *Anecafé*.

Fernández, Sotiropoulos, & Brown. (2013). Foliar Fertilization: Scientific Principles and Field Practices. *140.* Francia: Primera edición. International Fertilizer Industry Association.

Guerrero Lazo, J. (2014). *Toma de muestras y recomendaciones de fertilización en cultivos Tropicales* . Perú: OAEPS.

Heredia , B. (2012). Guía Técnica para el Cultivo del Café del Instituto de café de Costa Rica(ICAFE). En *AGRIS F01* (pág. 72p). Costa Rica: 1a ed. Heredia.

Ibarra Castillo, D., & Ruiz Corral, J. (2013). pH spatial distribution in agricultural soils of Zapopan, Jalisco, Mexico. *SciELO*.

InfoAgro. (2017). Composición química del suelo y su pH. *InfoAgro*.

INIAP. (2020). *Instituto nacional de investigaciones agropecuarias estacion experimental santa catalina laboratorio de análisis de suelos plantas y aguas.* STG. de los Sachilas .

INTAGRI. (2018). Funciones del (Ca) en la nutrición Vejetal . *intagri*, 5.

INTAGRI. (2018). Funciones del Molibdeno en la Nutrición de los Cultivos. Serie Nutrición Vegetal. (pág. 6). México: Biblioteca Básica de Agricultura.

López Báez, W., Castro Mendoza, I., Salinas Cruz, E., Reynoso Santos, R., & López Martínez, J. (2016). Properties of soils coffee in the Biosphere Reserve El Triunfo, Chiapas, Mexico. *Redalyc*, 607-618.

Lovo Zamora, R. (2014). Determinacion de plan de fertilizacion para el cultivo de café (Coffe Arabica), basados en levantamientos y analisis de suelos de la finca La Soledad, Nicaragua. *Scielo*.

Lucena, J., & Hernandez , A. (2017). Iron nutrition in plants: an overview. *Plant Soil*, 418.

Martins, L., & Tomaz, M. (2013). Nutritional Efficiency in Clones of Conilon Coffee for Phosphorus. *Journal of Agricultural Science*, 1916-9760 .

Oliviera, R. (2019). Como mejorar la calidad de suelos en cultivos de café. *Perfect Daily Grind Ltd*.

Ponce Vaca, L. A., & Orellana Suarez, K. D. (2018). Situation of the Ecuadorian Coffee Industry: Perspectives. *Scielo*.

Rojo Jiménez, E. (2014). Generalidades del cultivo de cafe I. *Reduca (biologia)*.

Sadeghian, S., Mejia , B., & González, H. (2013). Acomulacion de calcio, magnesio y azufre en los frutos de café. *Scielo*.

Sánche, A., Vayas, T., & Mayorga, F. (2019). Sector cafetero ecuatoriano, panorama general. *OBEST*.

Santistevan Méndez, M., & Julca Otiniano, A. (2014). Caracterización de fincas cafetaleras en la localidad de Jipijapa (Manabí, Ecuador). *Nature*.

Siavosh Sadeghian , K. (2012). La materia orgánica : Componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros. *Cenicafé*, 61.

Siavosh Sadeghian, K. (2016). Fertilización del suelo y nutrición de café en Colombia. *Cenicafé*.

Valencia Aristizabal, G. (2015). Fisiologia, nutrición y fertilización del cafeto. *Internagtional Plant Nutrition Institute*.

Vanegas , F. (2016). El suelo óptimo para el cultivo de café. *Coffe Media*.

Anexos

Anexo 1. Ubicación de la investigación

Anexo 2. Muestreo de suelos

Anexo 3. Anova de la variable pH del suelo en cafetales.

Variable	N	R^2		Aj	CV
pH	36	1		1	0,47%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**Gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	11,78	13	0,91	921,65	<0,0001
Tratamiento	5,07	11	0,46	468,75	<0,0001
Repetición	6,71	2	3,35	3412,6	<0,0001
Error	0,02	22	9,80E-04		
Total	11,8	35			

Anexo 4. Anova de la variable porcentaje de materia organica del suelo (M.O.) de cafetales.

Variable	N	R^2		Aj	CV
MO	36	1		0,99	4,75%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	16,53	13	1,27	401,87	<0,0001
Tratamiento	16,31	11	1,48	468,75	<0,0001
Repetición	0,22	2	0,11	34	<0,0001
Error	0,07	22	3,20E-03		
Total	16,59	35			

Anexo 5. Anova de la variable Nitrógeno del suelo (ppm) en cafetales.

Variable	N	R^2		Aj	CV
N	36	1,00		0,99	3,03%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	731,80	13	56,29	409,53	<0,0001
Tratamiento	708,75	11	64,43	468,75	<0,0001
Repetición	23,05	2	11,52	83,84	<0,0001
Error	3,02	22	0,14		
Total	734,82	35			

Anexo 6. Anova de la variable Fósforo del suelo (ppm) en cafetales.

Variable	N	R^2		Aj	CV
P	36	1,00		0,99	6,05%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	10134,59	13	779,58	399,86	<0,0001
Tratamiento	10052,75	11	913,89	468,75	<0,0001
Repetición	81,84	2	40,92	20,99	<0,0001
Error	42,89	22	1,95		
Total	10177,49	35			

Anexo 7. Anova de la variable Potacio del suelo (meq/100ml) en cafetales.

Variable	N	R^2		Aj	CV
K	36	1,00		0,99	7.41%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	4,71	13	0,36	398,79	<0,0001
Tratamiento	4,68	11	0,43	468,75	<0,0001
Repetición	0,03	2	0,01	13,99	<0,0001
Error	0,02	22	9,1E - 04		
Total	4,73	35			

Anexo 8. Anova de la variable Calcio del suelo (meq/100ml) en cafetales.

Variable	N	R^2		Aj	CV
Ca	36	1,00		0,99	0,6%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	70,67	13	5,44	723,40	<0,0001
Tratamiento	38,75	11	3,52	468,75	<0,0001
Repetición	31,92	2	15,96	2123,99	<0,0001
Error	0,17	22	0,01		
Total	70,84	35			

Anexo 9. Anova de la variable Magnesio del suelo (meq/100ml) en cafetales.

Variable	N	R^2		Aj	CV
Mg	36	1,00		0,99	1,69%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	63,70	13	4,90	438,00	<0,0001
Tratamiento	57,69	11	5,24	468,75	<0,0001
Repetición	6,02	2	3,01	268,86	<0,0001
Error	0,25	22	0,01		
Total	63,95	35			

Anexo 10. Anova de la variable Azufre del suelo (ppm) en cafetales.

Variable	N	R^2		Aj	CV
S	36	1,00		0,99	2,72%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	5200,59	13	400,05	412,65	<0,0001
Tratamiento	4998,75	11	454,43	468,75	<0,0001
Repetición	201,84	2	100,92	104,10	<0,0001
Error	21,33	22	0,97		
Total	5221,92	35			

Anexo 11. Anova de la variable Hierro del suelo (ppm) en cafetales.

Variable	N	R^2		Aj	CV
Fe	36	1,00		0,99	9,73%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	24250,79	13	1865,45	397,88	<0,0001
Tratamiento	24174,75	11	2197,70	468,75	<0,0001
Repetición	76,04	2	38,02	8,11	<0,0001
Error	103,15	22	4,69		
Total	24353,94	35			

Anexo 12. Anova de la variable Cobre del suelo (ppm) en cafetales.

Variable	N	R^2		Aj	CV
Cu	36	1,00		0,99	5,70%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	12,97	13	1,00	400,27	<0,0001
Tratamiento	12,85	11	1,17	468,75	<0,0001
Repetición	0,12	2	0,06	23,60	<0,0001
Error	0,05	22	2,5E - 03		
Total	13,02	35			

Anexo 13. Anova de la variable Manganeso del suelo (ppm) en cafetales.

Variable	N	R^2		Aj	CV
Mn	36	1,00		0,99	3,67%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	474,01	13	36,46	412,65	<0,0001
Tratamiento	463,75	11	42,16	468,75	<0,0001
Repetición	10,27	2	5,13	104,10	<0,0001
Error	1,98	22	0,09		
Total	475,99	35			

Anexo 14. Anova de la variable Zinc del suelo (ppm) en cafetales.

Variable	N	R^2		Aj	CV
Zn	36	1,00		0,99	5,07%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	95,97	13	7,38	401,23	<0,0001
Tratamiento	94,87	11	8,62	468,75	<0,0001
Repetición	1,10	2	0,55	29,87	<0,0001
Error	0,40	22	0,02		
Total	96,37	35			

Anexo 15. Anova de la variable Boro del suelo (ppm) en cafetales.

Variable	N	R^2		Aj	CV
B	36	1,00		0,99	4.52%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	0,72	13	0,06	402,43	<0,0001
Tratamiento	0,71	11	0,06	468,75	<0,0001
Repetición	0,01	2	0,01	37,65	<0,0001
Error	3,0E - 03	22	1, 4E - 04		
Total	0,72	35			

Anexo 16. Anova de la variable necesidad de fertilización de N en cafe.

Variable	N	R^2		Aj	CV
N	36	1		0,99	0,27%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	5973,77	13	459,52	409,54	<0,0001
Tratamiento	5785,56	11	525,96	468,75	<0,0001
Repetición	188,22	2	94,11	83,87	<0,0001
Error	24,68	22	1,12		
Total	5998,46	35			

Anexo 17. Anova de la variable necesidad de fertilización de P en cafe.

Variable	N	R^2		Aj	CV
P	36	1		1	6,69%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	35211,18	13	2708,55	566,15	<0,0001
Tratamiento	35110,2	11	3191,84	667,17	<0,0001
Repetición	100,98	2	50,49	10,55	0,0006
Error	105,25	22	4,78		
Total	35316,44	35			

Anexo 18. Anova de la variable necesidad de fertilización de K en cafe.

Variable	N	R^2		Aj	CV
K	36	1		0,99	9,31%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	339542,91	13	26118,69	359,37	<0,0001
Tratamiento	338092,25	11	30735,66	422,9	<0,0001
Repetición	1450,66	2	725,33	9,98	0,0008
Error	1598,93	22	72,68		
Total	341141,84	35			

Anexo 19. Anova de la variable necesidad de fertilización de S en cafe.

Variable	N	R^2		Aj	CV
S	36	1		1	16,57%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	102,65	13	7,9	559,38	<0,0001
Tratamiento	102,6	11	9,33	660,76	<0,0001
Repetición	0,05	2	0,03	1,82	0,1849
Error	0,31	22	0,01		
Total	102,96	35			

Anexo 20. Anova de la variable necesidad de fertilización de Fe en café.

Variable	N	R^2		Aj	CV
Fe	36	1		0,99	6,93%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	97003,17	13	7461,78	397,88	<0,0001
Tratamiento	96699	11	8790,82	468,75	<0,0001
Repetición	304,17	2	152,08	8,11	0,0023
Error	412,58	22	18,75		
Total	97415,75	35			

Anexo 21. Anova de la variable necesidad de fertilización de Cu en café.

Variable	N	R^2		Aj	CV
Cu	36	1		0,99	0,32%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	51,86	13	3,99	400,27	<0,0001
Tratamiento	51,39	11	4,67	468,75	<0,0001
Repetición	0,47	2	0,24	23,6	<0,0001
Error	0,22	22	0,01		
Total	52,08	35			

Anexo 22. Anova de la variable necesidad de fertilización de Mn en café.

Variable	N	R^2	R^2	Aj	CV
Mn	36	1		0,99	1,34%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	1896,05	13	145,85	405,41	<0,0001
Tratamiento	1854,99	11	168,64	468,75	<0,0001
Repetición	41,06	2	20,53	57,07	<0,0001
Error	7,91	22	0,36		
Total	1903,97	35			

Anexo 23. Anova de la variable necesidad de fertilización de Zn en café.

Variable	N	R^2		Aj	CV
Zn	36	1		0,99	2,14%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	383,87	13	29,53	401,23	<0,0001
Tratamiento	379,47	11	34,5	468,75	<0,0001
Repetición	4,4	2	2,2	29,87	<0,0001
Error	1,62	22	0,07		
Total	385,49	35			

Anexo 24. Anova de la variable necesidad de fertilización de B en café.

Variable	N	R^2	R^2	Aj	CV
B	36	1		0,99	0,05%
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	**SC**	**gl**	**CM**	**F**	**p-valor**
Modelo	2,89	13	0,22	402,43	<0,0001
Tratamiento	2,84	11	0,26	468,75	<0,0001
Repetición	0,04	2	0,02	37,65	<0,0001
Error	0,01	22	5,50E-04		
Total	2,9	35			