

EVALUACIÓN DE FERTILIZANTES COMPLEJOS (NPK) CON AGREGADOS ÓRGANO-MINERALES SOBRE VARIABLES FISIOLÓGICAS Y PRODUCTIVAS EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica*)

Data de submissão: 28/03/2023

Data de aceite: 02/06/2023

José Julian Apraez Muñoz

I.A. M.Sc. PhD. Universidad de Nariño

Julian Alejandro Giraldo

I.A. M.Sc. Servicio Nacional de Aprendizaje.

Johan Enrique Claros

Estudiante de Agronomía Universidad UNAD.

RESUMEN: El sector cafetero tiene una gran importancia económica en el aporte del PIB de Colombia, el departamento del Huila es el mayor productor de café a nivel nacional, en el cual Pitalito es el municipio con mayor número de caficultores del departamento. La baja cotización del café a nivel internacional y los altos costos de producción, exige al sector agronómico la búsqueda de la competitividad, asociada a la productividad. Los suelos cafeteros presentan suelos con pH bajo, causando pérdida de efectividad en los fertilizantes, lo que se traduce en una disminución de los rendimientos económicos. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar un agregado órgano-mineral [matriz de carbonato de calcio y materia orgánica]

desarrollado con la asociación de cafeteros AGACAFE y el Tecnoparque Nodo Pitalito, Huila, el cual permitirá neutralizar la acidez, eliminar la toxicidad por Al^{3+} y Mn^{2+} , proporcionar calcio, mejorar la eficiencia de los abonos, aumentar la productividad, e incrementar la actividad de los microorganismos encargados de la mineralización de la materia orgánica. La metodología empleada fue la aplicación del agregado órgano-mineral en mezcla con AGACAFE (17-8-22) versus su testigo sin el agregado en un diseño completamente al azar con 7 réplicas en la Hacienda de Cadefihuila, Vereda alto del Obispo, Municipio de San Agustín. Como resultado se han encontrado para las condiciones evaluadas, que la aplicación de fertilizantes con el agregado órgano-mineral mostró mayor capacidad de intercambio catiónico, reducción en la saturación por sodio, aumento de la masa seca de los granos, aporte de magnesio y calcio a la fertilidad del suelo, que la aplicación del fertilizante sin el agregado.

PALABRAS CLAVE: producción, cafés especiales, fisiología vegetal, agricultura sostenible.

EVALUATION OF COMPLEX FERTILIZERS (NPK) WITH ORGANIC-MINERAL AGGREGATES ON PHYSIOLOGICAL AND PRODUCTIVE VARIABLES IN THE CULTIVATION OF COFFEE (*Coffea arabica*)

ABSTRACT: The coffee sector has a great economic importance in the contribution of the GDP of Colombia, the department of Huila is the largest coffee producer nationwide, in which Pitalito is the municipality with the largest number of coffee growers in the department. The low price of coffee internationally and the high production costs, requires the agronomic sector to seek competitiveness, associated with productivity. The coffee soils present soils with low pH, causing loss of effectiveness in fertilizers, which translates into a decrease in economic yields. Therefore, the objective of this work was to evaluate an organo-mineral aggregate [calcium carbonate matrix and organic matter (mesh 100-150)] developed with the association of coffee growers AGACAFE and Tecnoparque Nodo Pitalito, Huila, which will neutralize the acidity, eliminate the toxicity by Al^{3+} and Mn^{2+} , provide calcium, improve the efficiency of the fertilizers, increase the productivity, and increase the activity of the microorganisms in charge of the mineralization of the organic matter. The methodology used was the application of the organo-mineral aggregate in mixture with AGACAFE (17-8-22) versus its control without the aggregate in a completely random design with 7 replicas in the Hacienda de Cadefihuila, Vereda Alto del Obispo, Municipio de San Agustín. As a result, it has been found for the evaluated conditions, that the application of fertilizers with the organo-mineral aggregate showed greater capacity of cation exchange, reduction in the saturation by sodium, increase of the dry mass of the grains, contribution of magnesium and calcium to the fertility of the soil, that the application of the fertilizer without the addition.

KEYWORDS: production, specialty coffees, plant physiology, sustainable agriculture.

INTRODUCCIÓN

Colombia según Trujillo (2017) es mayor consumidor de fertilizantes por unidad de área cultivable en América Latina (Banco Mundial, 2015). La causa de esta demanda tan alta de fertilizantes inicia por los tipos de suelos que tiene Colombia, debido a que de ellos obedecen las características y propiedades que sitúan la metodología del manejo de la fertilidad, enmiendas y el uso de las especies que se cultivarán.

Para que los cultivos sean más productivos es necesario identificar las propiedades física y químicas del suelo, que puedan limitar el desarrollo del cultivo. Colombia es un país muy húmedo y cálido en la gran mayoría de su territorio, por lo cual las precipitaciones son muy frecuentes, esto lava y lixivia cationes como (calcio, magnesio, potasio y sodio), concentrando mayor cantidad de aniones y aumentando la acidez del suelo. Particularmente en el municipio de Pitalito fundamentalmente por sus altas precipitaciones 1516 mm al año (Climate-data.org, 2018), la meteorización de los materiales parentales el suelo, y lavado de las bases intercambiables e intercambio por cationes de carácter ácido, causa acidez en el suelo (Espinosa, 1999). En los suelos ácidos las concentraciones de aluminio (Al^{3+}) y manganeso (Mn^{2+}) solubles pueden alcanzar niveles de fitotoxicidad (Ortiz & Zapata, 2004); alterando las poblaciones y actividades de los microorganismos que intervienen en

la mineralización de la materia orgánica, igualmente afecta la disponibilidad de fósforo (P) debido a que reacciona con hierro (Fe) y (Al³⁺) formando compuestos insolubles dejando así de estar disponible para el cultivo (Alexander, 1981). Las plantas afectadas por pH bajo crecen menos, presentan deficiencias nutricionales, disminución en la translocación de nutrientes del suelo a la planta y la formación de órganos reproductivos (Valencia, 1970). Para el manejo de la acidez del suelo existen varias estrategias: Disponer de genotipos tolerantes, uso de microorganismos, aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, controlar la erosión, aplicar abonos orgánicos y el empleo de enmiendas inorgánicas. Entre las estrategias más frecuentes en la región está la aplicación de enmiendas inorgánicas y aplicación de abonos orgánicos. Los insumos a base de cal agrícola como enmiendas, son fuentes minerales de origen natural o industrial que aportan en su composición carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicato de calcio y/o magnesio (Fassbender 1975, Lemus 1989). Los carbonatos de calcio y silicatos de calcio neutralizan la acidez a través de las bases químicas (Barber 1984). Por otra parte el uso de fertilizantes con contenido de materia orgánica promueven la mineralización del humus en el suelo, este juega un rol importante en la formación de la macro y micro fauna del suelo (Noriega et al 2014).

El humus evita la fijación de los nutrientes, generado por pH bajo y presencia de aluminio, además que permite una mejor absorción de micronutrientes por la raíz de las plantas, por medio de la quelación y aumento de la capacidad de intercambio.

La presente propuesta de investigación tiene como objetivo producir un agregado órgano-mineral [matriz de carbonato de calcio y materia orgánica (malla 100 - 150)], el cual permita neutralizar la acidez, eliminar la toxicidad por Al³⁺ y Mn²⁺, proporcionar calcio, mejorar la eficiencia de los abonos, aumentar la productividad, e incrementar la actividad de los microorganismos encargados de la mineralización de la materia orgánica. Este agregado órgano-mineral irá en mezcla física AGACAFE (17-8- 22) y se compara con algunos fertilizantes complejos simples de formulación comercial usados en la región.

METODOLOGÍA

Localización: El estudio fue realizado en la Finca Cadefihuila, en la vereda Alto del Obispo, municipio de San Agustín, departamento del Huila, a una altura de 1730 m.s.n.m. con una humedad relativa del 80% y una temperatura promedio de 18.8°C.

Variedad sembrada

Se sembró la variedad Castillo® ; que se caracteriza por ser un cultivar con resistencia a plagas y enfermedades; al igual que otras variedades cultivadas en Colombia, la variedad Castillo es susceptible a plagas como el minador de la hoja y la broca del café (Cenicafe, 2013).

Caracterización de los lotes evaluados

Se eligieron 2 lotes de café variedad Castillo, el primero de aproximadamente de 0,5 hectáreas y con una edad de 17 meses y el segundo lote con 2 hectáreas y una edad de 5 años, para comparar el efecto de los tratamientos en las diferentes fases del cultivo, Se establecieron 4 lotes experimentales de diferentes densidades de plantas, estableciendo unidades experimentales iguales de 99 plantas por 100m², los lotes presentan una pendiente del 15%,

Se realizó el ensayo bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos corresponden a las diferentes dosis de fertilizante y la edad del cultivo.

| Tratamiento | Lote | Edad | Variedad |
|----------------------|------|------|----------|
| L1 Control | 1 | 1,5 | Castillo |
| L1 CaCO ₃ | 1 | 1,5 | Castillo |
| L2 Control | 2 | 5 | Castillo |
| L2 CaCO ₃ | 2 | 5 | Castillo |

Tabla 1. Información de los tratamientos en cada uno de los lotes.

La unidad experimental estuvo conformada por 99 plantas, distribuidas en 9 surcos con 11 plantas cada uno, para un área de 100 m², Cada tratamiento constó de tres (3) repeticiones, para un área experimental total de 3000 m² y 1188 plantas de café, equivalente a una densidad de 5917 plantas ha⁻¹

VARIABLES EVALUADAS

Las evaluaciones de las variables fisiológicas se hicieron cada dos meses sobre las mismas plantas para tener un comparativo de dichas evaluaciones a lo largo del desarrollo del ensayo, extrayendo una planta completa de cada unidad experimental, durante el tiempo que duró el ensayo, para un total de 144 plantas extraídas; en cada evaluación las plantas se llevaron al laboratorio de fisiología vegetal y en una estufa de secado se dejaron a una temperatura de 75°C, hasta que su peso sea constante y se determinó materia seca. Las plantas se dividieron en raíz, tallo y hojas de las cuales se tomó peso fresco y peso seco, utilizando una balanza analítica.

La selección de las muestras para las variables fisiológicas se realizó en los lotes seleccionando 6 plantas, por lote en zigzag en los mismos puntos donde se hizo el muestreo del análisis de suelo;

Parámetros estimados.

Número de Hojas: conteo del número de hojas totales que tiene cada planta.

Número de granos: número de granos por rama productiva.

Área Foliar: área de las hojas de un cultivo expresado en m²

Masa seca Foliar: para esta variable las hojas fueron llevadas a un horno de calentamiento a 70 °C, hasta lograr peso constante.

Masa seca de los granos: para esta variable los granos fueron llevadas a un horno de calentamiento a 70 °C, hasta lograr peso constante.

Fructificación. Se registraron los fructificaciones de los lotes de café seleccionados, durante el periodo de mitaca (correspondiente a mayo y junio) evaluando seis plantas por lote, contando el número de granos de las ramas más productivas del tercio inferior, medio y alto.

El número de hojas y de granos se calcularon mediante la sumatoria del promedio de cada rama dividida en las tres ramas de cada tercio.

La masa seca foliar y para granos, se inició lavando las muestras quitando cualquier tipo de impureza con hipoclorito. Después de la limpieza se introduce las muestras por separado en bolsas de papel, se llevan a secar en un horno a 70C° durante tres días, inmediatamente las muestras son retiradas del horno se procede a pesar cada una de las muestras por árbol. El cálculo de masa seca se realizó sumando el peso de cada rama y dividida en las tres ramas de cada tercio.

La medición de área foliar se realizó con programa *imagen J*. Seleccionamos tres primeras hojas de afuera hacia dentro de cada rama, tomamos una foto a cada hoja de las diferentes muestras, medimos el diámetro con una regla, introducimos la imagen al programa imagen J, se multiplican los pixeles con los centímetros y allí arroja el resultado en cm² de las diferentes hojas de las muestras. La sumatoria de áreas de cada rama se divide en el número de hojas y el número de ramas muestreadas.

ANÁLISIS DE SUELO

Para la toma de las muestras de suelo, los muestreos se hicieron en zigzag, para cada uno de los tratamientos. En cada uno de los lotes se recolectaron de 6 muestras de suelo por hectárea, la muestra se sacó dentro de la gotera de los árboles a una profundidad de 20 centímetros en el suelo; las muestras recogidas de cada lote, se mezclaron para sacar una sola muestra de un kilo de suelo por tratamiento.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de las muestras de suelo se realizó mediante la evaluación de las variables “capacidad de intercambio catiónico (C.I.C), saturación de sodio (S.Na), grado de acidez (pH), materia orgánica (MO), Magnesio (Mg), y calcio (Ca)” a través de la prueba t de estudiante (Test-T) utilizando el programa Sigma Plus. Para el análisis de los resultados de los parámetros de producción se realizó la evaluación de las variables “” mediante el análisis de varianza (ANOVA) y el test de comparaciones múltiples de medias (Tukey), los

cuales fueron desarrollados con el programa R studio utilizando la librería AGRICOLAE.

RESULTADOS

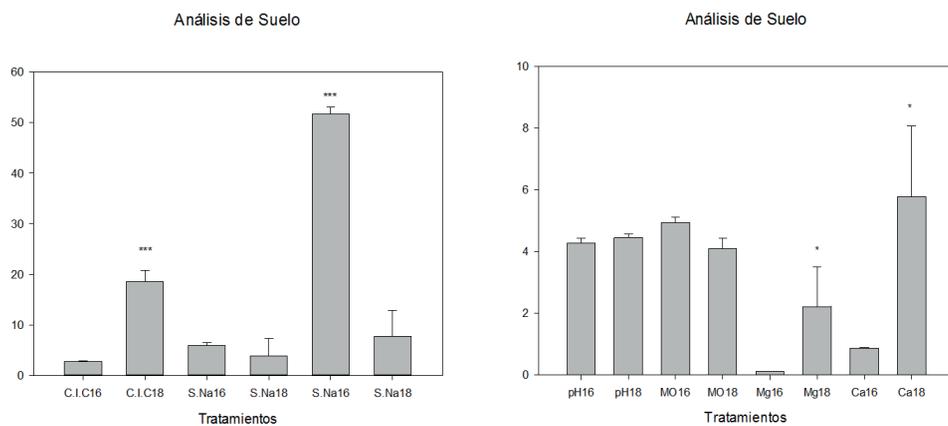


Figura 1. Resultados de la prueba t de estudiante (Test T) para las principales variables de los análisis de suelo de los tratamientos sin agregado órgano-mineral 2016(16) y con agregado en el 2018 (18). Columnas con diferencias de contraste de hipótesis *p*-valor indica diferencias significativas $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**) y $p < 0,001$ (***).

Los resultados para análisis de suelo después de dos años de implementación del agregado órgano-mineral de materia orgánica y carbonato de calcio en mezcla con el fertilizante AGACAFE (17-8- 22) (**Figura 1**), presentaron diferencia significativa las variables de (C.I.C18), (S.NA16), (Mg18) y (Ca18).

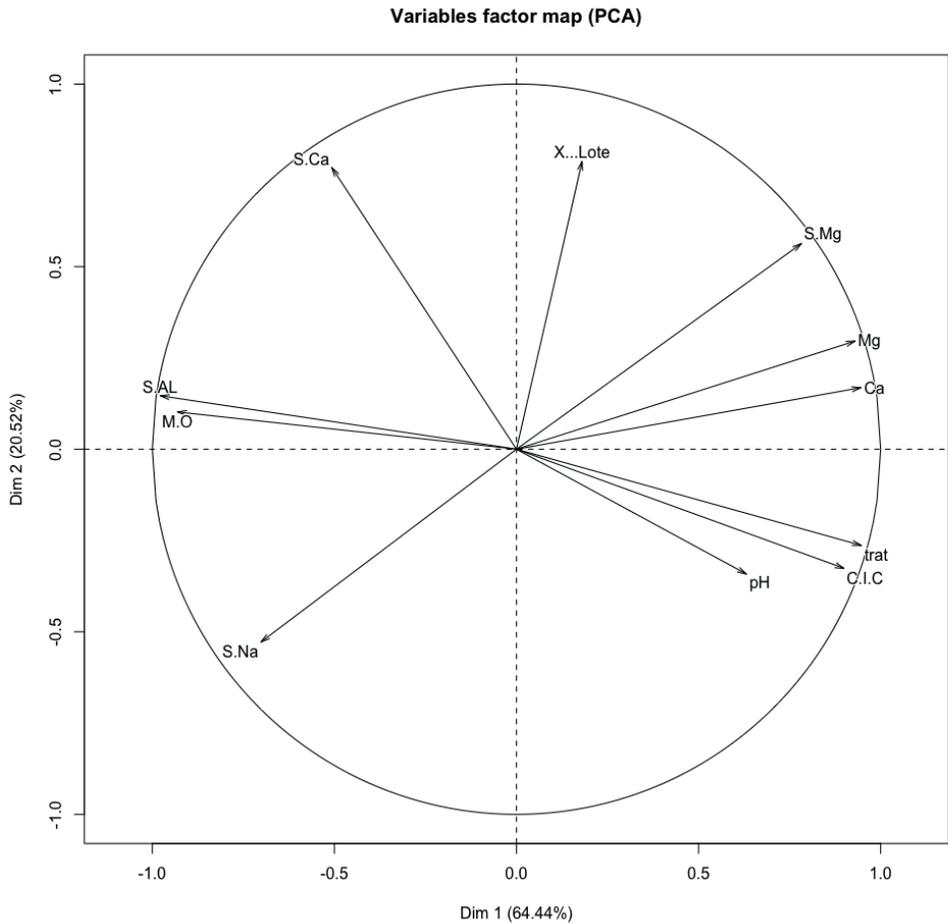


Figura 2: Relación entre variables (ACP) que se muestra mediante la gráfica de dispersión de los dos primeros componentes principales en función de los principales rasgos de análisis de suelo iniciales en el 2016 (Control), a 2018 con la adición de la matriz de CaCO_3 + MO durante dos años.

El agregado órgano-mineral de materia orgánica y carbonato de calcio se comporta como enmienda agrícola en el suelo, a pesar que no cambian el pH y el contenido de materia orgánica, aumenta la capacidad de intercambio catiónico a medida que aumenta la disponibilidad y cantidad de calcio y magnesio en el suelo, como también reduce la saturación por sodio, como lo muestra el análisis de componentes principales en la **Figura 2**.

Para capacidad de intercambio catiónico (C.I.C18) representa un aumento en la cantidad de cationes disponibles para la nutrición vegetal lo que promueve la absorción de otros cationes como el calcio, magnesio, potasio y amonio. Además la reducción significativa de saturación de sodio (S.Na18) incrementa la absorción de otros cationes alrededor de las raíces. El aumento de las concentraciones de magnesio (Mg18) y Calcio

(Ca18), hacen más disponibles estos cationes para ser absorbidos por las raíces y ser translocados por toda la planta.

| | GI | Sc | Dm | Valor-f | Valor-p |
|------------------|----|---------|--------|---------|---------|
| Número de hojas | 1 | 36,44 | 36,44 | 1,18 | 0,29 |
| Residuales | 22 | 681,95 | 31,00 | | |
| Masa seca hojas | 1 | 4,76 | 4,76 | 1,94 | 0,17 |
| Residuales | 22 | 53,95 | 2,45 | | |
| Área Foliar | 1 | 69,98 | 69,97 | 0,51 | 0,47 |
| Residuales | 22 | 2974,66 | 135,21 | | |
| Número de granos | 1 | 37,80 | 37,79 | 0,14 | 0,71 |
| Residuales | 22 | 5795,70 | 263,44 | | |
| Masa seca granos | 1 | 259,91 | 259,92 | 5,77 | 0,025* |
| Residuales | 22 | 989,94 | 44,99 | | |

Tabla 2. Análisis de varianza (ANOVA) Parámetros de productividad para Número de Hojas, Masa seca hojas, Área Foliar, Número de granos y Masa seca granos Tratamientos: Lote uno fertilización 17-6-18 (L1Control); Lote 1 fertilización 17-6-18-8.2-2.1"CaCO₃, MO"(L1CaCO₃+MO); Lote 2 fertilización 17-6-18(L2Control); Lote 2 fertilización 17-6-18-8.2-2.1"CaCO₃, MO"(L2CaCO₃+MO); *p*-valor indica diferencias significativas $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**) y $p < 0,001$ (***).

Para la evaluación de parámetros de producción se utilizó análisis de varianza (ANOVA), el cual permitió establecer cuál de las variables presentó diferencia significativa. Masa seca granos presentó diferencia significativa con un nivel de significancia de $p < 0,05$, (Tabla 2).

Para la masa seca de grano se realizó el test de comparaciones múltiples de medias Tukey (Figura 3), el cual presentó diferencia significativa para los tratamientos (L1CaCO₃ y L2CaCO₃), lo que representa una mayor masa seca de grano, como una respuesta positiva en producción, de los tratamientos con la mezcla AGACAFE (17-8- 22) con el agregado órgano-mineral de materia orgánica y carbonato de calcio en los dos lotes en donde se realizó el muestreo. Esto lo explica la mayor cantidad de calcio y magnesio suministrado por el agregado órgano mineral, debido a que el ion calcio es utilizado en la síntesis de nuevas paredes celulares y durante la división celular, y proteínas del citoesqueleto (White & Broadley, 2003; Hetherington & Brownlee, 2004), procesos claves en la formación y llenado del fruto. Y el ion magnesio tiene un papel específico en la activación enzimática como en la respiración y la fotosíntesis, lo cual aumenta la cantidad de fotoasimilados en la planta, de los cuales un porcentaje va al fruto. El aumento en la capacidad de intercambio catiónico mejora la fertilidad del suelo, ya que dificulta el lavado de sales por la lluvia y proporciona una reserva de nutrientes disponibles para la planta (Brady, 1974).

Parámetros de productividad Masa seca granos

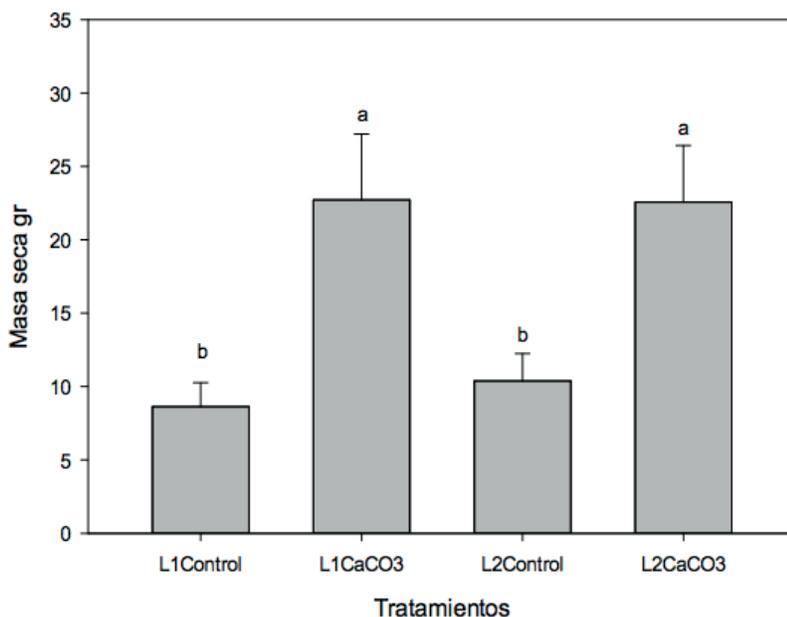


Figura 3. Test de comparaciones múltiples de medias Tukey; tratamientos: Lote uno fertilización 17-6-18 (L1Control); Lote 1 fertilización 17-6-18-8.2-2.1"CaCO₃, MO"(L1CaCO₃+MO); Lote 2 fertilización 17-6-18(L2Control); Lote 2 fertilización 17-6-18-8.2-2.1"CaCO₃, MO"(L2CaCO₃+MO). Tukey 95% de significancia. Letras representan diferencias entre los tratamientos.

CONCLUSIONES

La evaluación de la mezcla del agregado órgano-mineral [matriz de carbonato de calcio y materia orgánica (malla 100 - 150)] en mezcla con el fertilizante AGACAFE (17-8-22), presento mayor masa seca de granos, que los controles debido al aumento de la conductividad eléctrica en el suelo y la reducción de la saturación de sodio, lo que permitió un mejor flujo nutritivo en la transición suelo planta.

La inclusión de calcio y magnesio por parte de los tratamientos con agregado órgano-mineral [matriz de carbonato de calcio y materia orgánica (malla 100 - 150)] en mezcla con el fertilizante AGACAFE (17-8-22) mejoro la estructura de los frutos.

REFERENCIAS

Alexander, M. (1981). Introducción a la microbiología del suelo (No. 631.46 A439.). México DF, México: AGT editor.

Banco Mundial. (2015). Datos- Indicadores. Obtenido de http://datos.bancomundial.org/indicador/:http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.CON.FERT.ZS?order=wbapi_data_value_2012+wbapi_data_value+wbapi_data_value-last&sort=desc (consultado 6 de septiembre de 2018).

Barber, S. 1984. Liming materials and practices. In Adams, F. ed. Soil acidity and liming. 2 ed. Madison, Wisconsin, US. P 171-209. (Agronomy Monograph no.12).

Brady, N. C. (1974). The nature and properties of soils. 8th edn. Macmillan, New York.

Climate-Data. org. (2018). Clima: Pitalito, <https://es.climate data.org/location/49679>, (consultado 2 de agosto de 2018).

Colombia, A. (2014). Área cosechada, producción y rendimiento de Café, 2017. Agronet; [consultado 7 de agosto de 2018].

Fassbender, H. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, CR, IICA. 398 p.

Hetherington, A. M., & Brownlee, C. (2004). The generation of Ca²⁺ signals in plants. Annu. Rev. Plant Biol., 55, 401-427.

International Coffee Organization, Total production by all exporting countries, <http://www.ico.org/historical/1990%20onwards/PDF/1a-total-production.pdf>, (Consultado 6 de Agosto de 2018)

Lemus, F. 1989. ¿Síndrome de toxicidad de aluminio, manganeso y hierro en el café, o "Mal de Viñas"? Laboratorio de análisis de suelos y plantas, AGROSA (nombre actual: Soluciones Analíticas), Guatemala

Noriega Altamirano, G., Cárcamo Rico, B., Gómez Cruz, M. Á., Schwentesius Rindermann, R., Cruz Hernández, S., Leyva Baeza, J., & Martínez Hernández, A. (2014). Intensificación de la producción en la agricultura orgánica: caso café. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 5(1), 163-169.