



**Universidad de Sancti-Spíritus**  
**“José Martí Pérez”**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS**  
**AGRÍCOLAS**

**MENCIÓN: CAFÉ**

**Título:** Evaluación de alternativas organominerales en condiciones de maceta utilizando el cafeto (*Coffea arabica* L.) como planta indicadora en Topes de Collantes

**Autor:** Ing. Emiliano Luís Pérez Martín

**Año 2013**

**“Año 55 de la Revolución”**



**Universidad de Sancti-Spíritus  
“José Martí Pérez”**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS  
AGRÍCOLAS**

**MENCIÓN: CAFÉ**

**Título:** Evaluación de alternativas organominerales en condiciones de maceta utilizando el cafeto (*Coffea arabica* L.) como planta indicadora en Topes de Collantes

**Autor:** Ing. Emiliano Luís Pérez Martín

**Tutor:** Dr.C. Alfredo Reyes Hernández

**Consultante:** MSc. Ana Belkis Manes Suárez

**Año:** 2013

**“Año 55 de la Revolución”**

# *Pensamiento.*

*La agricultura es la única fuente constante, cierta y  
eternamente pura de riqueza.*

*De los bosques haremos el manifiesto de nuestra libertad y  
nuestra gloria.*

*José Martí.*

# *Agradecimientos.*

*A mi tutor Dr. Alfredo Reyes Hernández por su asesoría y  
apoyo metodológico.*

*A aquellos compañeros que de una forma u otra me  
apoyaron. Para ellos mi agradecimiento.*

*A todos Muchas Gracias*

## RESUMEN

Las investigaciones fueron realizadas en la finca “La Providencia” CCS “Lucas Castellanos” y en la Facultad Agropecuaria de Montaña del Escambray, Topes de Collantes, municipio de Trinidad, provincia de Sancti - Spíritus a una altitud de 750 m.s.n.m. Se tomaron muestras de los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado a las profundidades de 0 – 20 cm. con el objetivo de evaluar el efecto de las alternativas organominerales sobre las variables del crecimiento de las plantas de caféto (*Coffea arabica L.*) variedad Villalobos como planta indicadora en dos experimentos en condiciones de maceta con 10 tratamientos consistentes en: 15 t.ha<sup>-1</sup> de residuo del café y 4 t.ha<sup>-1</sup> compost, 4 t.ha<sup>-1</sup> caliza fosfatada y 4 t.ha<sup>-1</sup> caliza dolomítica, combinaciones de abonos orgánicos y minerales naturales, NPK y testigo. Se evaluaron pH (agua), pH(KCl), materia orgánica (%), fósforo y potasio asimilables (mg.100g<sup>-1</sup>), acidez hidrolítica, de cambio y aluminio tóxico en cmol(+).Kg<sup>-1</sup>. Se seleccionaron seis plantas al azar por tratamiento, para evaluar pesos frescos y secos (g) de raíces, tallos y hojas; altura (cm) y pares de hojas. El mejor efecto sobre las propiedades del suelo y las variables del crecimiento de las plantas de caféto se logra con la aplicación de los organominerales combinados, las propiedades del suelo que más correlacionaron con las variables del crecimiento de las plantas de caféto fueron: pH (agua), pH (KCl), acidez hidrolítica y de cambio, con mayor rentabilidad para los tratamientos donde se aplicaron los organominerales solos o combinados si se comparan con el tratamiento control.

## ABSTRACT

The research was conducted at "La Providencia" farm "Lucas Castellanos" CCS and the Agricultural Faculty of the Escambray, province of Sancti – Spiritus at an altitude of 750 meters above the sea level. Samples of soils and leachate ferralitic yellowish red and red ferralitic leachate, samples were taken in to the depths of 0 to 20 cm. with the objective of evaluating the effect of alternative variables organominerals on growth of coffee plants (*Coffea arabica L.*), as an indicator plant variety Villalobos in two pot experiments with 10 treatments consisting of: 15 t.ha<sup>-1</sup> coffee residue and 4 t.ha<sup>-1</sup> compost, 4 t.ha<sup>-1</sup> phosphatic limestone and 4 t.ha<sup>-1</sup>, organic fertilizers and combinations natural minerals, NPK its comparative results. We evaluated pH (water), pH (KCl), organic matter (%), assimilable phosphorus and potassium (mg.100g<sup>-1</sup>), hydrolytic and of change acidity, and toxic aluminium in cmol(+).Kg<sup>-1</sup>. Six plants were selected at random for treatment, to evaluate fresh and dry weights (g) of roots, stems and leaves; height (cm) and leaf pairs. The best effect on the soil characteristics that more correlated with the variables of growth of coffee plants were: pH (water), pH (KCl), hydrolytic acidity and change, with increased profitability for the treatments were applied alone or combined when compared with the control treatment.

## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO 1 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....	5
1.1. Generalidades sobre el cultivo del café .....	5
1.1.1. Suelos y clima sobre el cultivo del café .....	5
1.1.2. Características de la variedad Villalobos .....	7
1.1.3. Fertilidad y propiedades de los suelos .....	7
1.2. Uso de organominerales para el mejoramiento de los suelos .....	9
1.2.1. Materia orgánica aplicada al suelo .....	9
1.2.2. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades del suelo .....	10
1.2.3. Alternativas de fertilización y mejoramiento para los suelos .....	10
1.2.4. Características y utilización de los abonos orgánicos , minerales naturales solos o combinados .....	16
1.3. Agricultura orgánica y sostenible e indicadores de sostenibilidad .....	17
1.3.1. Indicadores de sostenibilidad.....	18
CAPITULO 2 DIAGNOSTICO Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	19
2.1. Condiciones experimentales generales .....	19
2.2. Descripción de los experimentos .....	20
2.2.1. Tomas de muestras de suelos y preparación de los mismos para el llenado de las bolsas.....	20
2.2.2. Momento de siembra de las semillas de café y trasplante hacia las bolsas..... .....	21
2.3. Evaluaciones realizadas durante la investigación.....	22
2.4. Métodos estadísticos empleados.....	24
2.5. Valoración económica de los resultados .....	24
2.6. Efecto de los organominerales sobre las propiedades químicas de los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado.....	25
2.7. Efecto de los tratamientos sobre los indicadores de la acidez de los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado.....	27
2.8. Efecto de los tratamientos sobre las variables del crecimiento de las plantas de café trasplantadas para los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado.....	29

2.9. Estudio de las correlaciones entre las propiedades químicas de los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado y entre estas con las variables del crecimiento de las plantas de cafeto.-----	33
2.10. Analisis económico de los resultados -----	41
3. CONCLUSIONES -----	44
4. RECOMENDACIONES -----	45
5.BIBLIOGRAFÍA-----	46

## INTRODUCCIÓN

El sistema empresarial cubano y en especial el Ministerio de Agricultura, está inmerso en un ambiente de cambios para hacer frente a las amenazas del entorno y el medio ambiente; es por ello que se requieren según Altieri, (1994) transformaciones y empleo de alternativas que reduzcan las importaciones y aceleren la producción de alimentos.

La importancia del desarrollo perspectiva de la agricultura y su relación con otros sectores económicos y sociales, no está en discusión, cualquiera que sea su modalidad es una alternativa para fortalecer la economía, acometer avances de todo tipo, aumentar la oferta y variedad de las producciones (Lezcano - Ferrat, 2000).

El hombre tiene como deber, revertir el eminente deterioro de los recursos naturales. Uno de estos, que por cierto se encuentra en declive, es el suelo, del cual dependemos casi totalmente, que desde tiempos antiguos el hombre se esfuerza por aumentar su productividad. En los inicios se utilizaron enmiendas derivadas de la naturaleza tales como: estiércol, restos de cosechas, abonos verdes, entre otros. Luego con el progreso de la humanidad y de acuerdo con sus necesidades alimenticias, se descifraron otras alternativas en este sentido, hasta llegar a la revolución de los químicos, los cuales, aparentemente eran más eficaces; pero lamentablemente no tan inofensivos como aparentan y si producen efectos secundarios a largo y corto plazo sobre el suelo (Cabrera, 1998b).

Otra de las problemáticas relacionadas con la investigación es la acidificación del suelo, que Hipólito (2000), define como un proceso en el cual se incrementa la concentración de hidrogeniones en el sistema, dando como resultado una disminución del pH, asociando los suelos ácidos (Agro, 2000), con un exceso de manganeso. También De Rojas (2002), expresa que la acidificación afecta sobre todo la absorción y traslocación del calcio por la planta, causando mal desarrollo de las raíces, reduce la absorción de agua y nutrientes, disminuyendo así su parte aérea.

Además, Jaramillo (2002) ,considera que en los suelos ácidos, predominan las formas de aluminio intercambiable ( $Al^{3+}$ ) y la disponibilidad de fósforo puede ser muy baja debido a que frecuentemente hay una alta fijación de este elemento, que lo lleva a formar compuestos completamente insolubles y que existen otros factores que favorecen la formación de suelos ácidos como: condiciones climáticas en las cuales se presente un exceso permanente de la precipitación sobre la evapotranspiración potencial que genere

excedentes de agua que, en suelos con una condición adecuada de drenaje, puede causar altas pérdidas de bases por lixiviación, reduciendo su participación en el complejo de intercambio y favoreciendo la acumulación de aluminio, hierro y otros cationes de carácter ácido; que el consumo de bases por parte de las plantas también ayuda a romper el equilibrio entre cationes básicos y ácidos, favoreciendo la acumulación de los ácidos y las prácticas de manejo de suelos, como fertilización continua e intensiva con ciertos fertilizantes de efecto residual ácido, favorecen la acidificación.

Al respecto, Cabrera (1998), considera que la caliza fosfatada es un mineral natural muy importante, y que la mejor respuesta en el suelo se logra a partir de niveles de  $4 \text{ t.ha}^{-1}$ . También coincide con esta dosis Cairo (1999), al realizar trabajos con este mineral en condiciones controladas, al probar niveles entre  $0\text{-}10 \text{ t.ha}^{-1}$  en suelos oscuros plásticos.

Debido a lo antes expuesto algunos investigadores han reforzado las investigaciones orgánicas y un ejemplo de ello lo que constituye el estudio realizado por Rodríguez y Pérez (1999), los cuales demostraron que al aplicar en condiciones controladas caliza fosfatada y caliza dolomítica en un suelo oscuro plástico, mejoran las propiedades físicas, además de aumentar el pH, así como el contenido de fósforo y materia orgánica.

Es por ello que Lezcano-Ferrat (2000) y Vilariño (2000), consideran muy acertado el uso de enmiendas minerales sobre todo la caliza fosfatada y la caliza dolomítica, por ser portadores del calcio en su composición; y adicionan que ellas contribuyen a mejorar el valor de pH del suelo y por ende la disponibilidad de elementos como el fósforo asimilable. También Vilariño (2000), obtuvo buenos resultados al combinar caliza fosfatada con cachaza, compost, zeolita y ceniza en un suelo pardo con carbonato.

Reyes (2007), evaluó el efecto sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos ferralítico rojo amarillento lixiviado y ferralítico rojo lixiviado y empleo las alternativas organominerales relacionadas con este estudio, pero utilizando maíz (*Zea mays*. L) como planta indicadora en un experimento en macetas. En este caso, los tratamientos de mayor respuesta se obtuvieron donde se aplicaron las combinaciones de materiales orgánicos con minerales naturales.

Todo este análisis fundamentó el siguiente problema científico de la investigación:

## **PROBLEMA CIENTÍFICO**

¿Qué efecto pudieran tener las alternativas organominerales sobre las variables del crecimiento de plantas de cafeto (*Coffea arabica* L.) variedad Villalobos en dos experimentos en macetas, a partir de las relaciones cuantitativas que se establecen entre dichas variables y las propiedades químicas de los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado de la localidad Topes de Collantes?.

Para dar solución al problema científico planteado se formuló la siguiente hipótesis de investigación:

## **HIPÓTESIS**

Si se comprueba que las alternativas organominerales tienen un efecto beneficioso sobre las variables del crecimiento de las plantas de cafeto (*Coffea arabica* L.) variedad Villalobos utilizada como planta indicadora en dos experimentos en condiciones de maceta, entonces se podrán conocer sus efectos a partir de las relaciones cuantitativas que se establecen entre dichas variables y las propiedades químicas de los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado.

Con la finalidad de comprobar la hipótesis propuesta, este trabajo tiene como objetivos:

## **OBJETIVO GENERAL:**

Evaluar el efecto de las alternativas organominerales sobre las variables del crecimiento de las plantas de cafeto (*Coffea arabica* L.) variedad Villalobos como planta indicadora para dos experimentos en condiciones de maceta, utilizando como sustrato los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

Para cumplir el objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar el efecto de la utilización de abonos orgánicos como el residuo del beneficio húmedo del café y compost realizado del propio residuo y de los minerales naturales caliza fosfatada y caliza dolomítica, con sus respectivas combinaciones sobre las propiedades químicas de los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado.
2. Evaluar el efecto de los materiales antes mencionados sobre las variables del crecimiento de las plantas de cafeto (*Coffea arabica* L.) de la variedad Villalobos en dos experimentos de macetas.
3. Establecer relaciones cuantitativas entre las propiedades químicas de ambos suelos en estudio y las variables del crecimiento evaluados a las plantas de cafeto.

#### 4. Realizar una valoración económica de los resultados de las investigaciones.

La novedad científica de la investigación está dada en que se podrán conocer y recomendar las mejores alternativas de organominerales a utilizar de dos experimentos en condiciones de maceta a partir de una información básica resultante de las relaciones cuantitativas que se establecen entre las propiedades químicas de los suelos en estudio y las variables del crecimiento de las plantas de cafeto, que pudieran ser investigadas en condiciones de vivero.

La importancia práctica de la investigación está dada por la posibilidad de recomendar el uso de minerales naturales y abonos orgánicos para mejorar la calidad del sustrato de forma tal que permita seleccionar cuáles son los tratamientos mejores para una plantación de café con la variedad en estudio, con el consiguiente ahorro de recursos en moneda libremente convertible, mitigación de los daños al medio ambiente por el uso del residuo del beneficio húmedo del café y la reducción del uso de fertilizantes químicos en la zona de Topes de Collantes.

## CAPITULO 1. REFERENCIA BIBLOGRÁFICA

### 1.1. Generalidades sobre el cultivo del cafeto

El café, la familiar bebida que se elabora hirviendo los granos tostados y molidos de *Coffea arabica* L. y otras especies de *Coffea*, ha sido por mucho tiempo una de las bebidas más importantes en el mundo, rivalizado sólo por el té, la cocoa y el mate. Durante el siglo XVII, el café se producía en áreas localizadas en Arabia y los países vecinos para el consumo en toda la región musulmana. La popularidad de la bebida fue tal que su uso por los mahometanos fue prohibido por algún tiempo. Aunque fue introducido a los mercados europeos del sur por los comerciantes árabes, a fines de la Edad Media, el café no fue ampliamente conocido en Europa sino hasta que las rutas marítimas hacia el Oriente fueron abiertas por los navegantes holandeses e ingleses en el siglo XVII. Gran cantidad de cafés, los cuales en muchos casos estaban destinados a volverse centros renombrados de actividad social, literaria y política, se establecieron en Inglaterra, Holanda y otros lugares del norte de Europa, más o menos hacia 1650 y posteriormente en las colonias americanas (Obando, 1994).

Arabia y las zonas cercanas permanecieron como las únicas fuentes de abastecimiento para el café hasta 1658, cuando los holandeses introdujeron *Coffea arabica* L. a Ceilán y, en 1699, a Java. Unos veinte años después de establecerse en Java, los embarques de *C. arabica*, vía París, a las Martinicas y otros países, proporcionaron el núcleo para una gran cantidad del café arábico ahora bajo cultivo, incluyendo casi todas las plantaciones del Nuevo Mundo (Lovato y Schmidt, 2006).

#### 1.1.1. Suelos y clima para el cultivo del cafeto

En Cuba el cultivo del cafeto se ubica en las regiones montañosas y premontañosas (200 - 300 msnm en zonas de microclima favorable) como el Valle de Viñales, las zonas llanas de los suelos Ferralíticos Rojos en San José de las Lajas y se utilizan especies de café Arábica y Robusta en los macizos Nipe - Sagua - Baracoa, Sierra Maestra y Guamuhaya, y con menor densidad en la Sierra de los Órganos (Pentón y col., 1993).

Autores como Hernández y col. (1999), señalan que en Topes de Collantes existen dos tipos de suelos asociados con la producción cafetalera: ferralítico rojo amarillento lixiviado a una altitud de 720 m.s.n.m y ferralítico rojo lixiviado a 680 m.s.n.m, que Rivera (1992), los clasificó como de baja fertilidad al presentarse en ambos valores de pH(H<sub>2</sub>O) de 4,6 y 4,33; materia orgánica 5,9 y 5,69 (%); fósforo asimilable de 1,6 mg.100 g<sup>-1</sup> para ambos y

potasio asimilable 0,40 y 0,20  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ; calcio 3,85 y 2,04; magnesio 0,93 y 0,58  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ; relación  $\text{K}/\text{K}+\text{Ca}+\text{Mg}$  de 7,7 y 7,1%; capacidad de intercambio catiónico entre 10 - 12; aluminio cambiante 0,65 y 1,96, expresados estos últimos en  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ; respectivamente, donde se puede llegar a alcanzar rendimientos en toneladas de café  $\text{oro}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  según Rivera (1999), de 2,5 para el primero y entre 2,20 - 2,80 para el segundo en relieve relativamente estable, temperatura promedio de 20,5°C, precipitaciones de 2 178 mm anuales como promedio y con un sistema de manejo de 12 500 plantas. $\text{ha}^{-1}$  bajo sombra.

En las regiones tropicales se caracterizan por su alto grado de meteorización, pH ácido y dominancia de grandes cantidades de sesquióxidos; poseen alta capacidad de fijación de fósforo, lo cual conduce a una severa deficiencia del mismo, hecho que lo transforma en factor limitante de la producción (Piccolo y col., 2002).

Ruíz (1998), destaca que los suelos dedicados al cultivo del café presentan una diferencia textural, acompañada de fuerte acidez en la parte media inferior o en todo el perfil; contenido alto de materia orgánica en el horizonte húmico acumulativo como resultado de la humificación forestal del suelo (Valor T alto); composición mineralógica: caolinita, goethita y un poco de gibbsita, y con factores limitantes como la fijación del fósforo, condiciones de erodabilidad, baja fertilidad y profundidad efectiva si el horizonte B es muy arcilloso según Hernández y col. (1999), y consideran para los Ferralíticos rojos amarillentos lixiviados que la acidez es muy marcada pero no tanto como en los alíticos.

Reyes y col. (2004), al estudiar el estado de las propiedades químicas y el comportamiento de los indicadores degradativos de la fertilidad de un suelo Ferralítico rojo lixiviado en la localidad de Topes de Collantes demostraron que este suelo bajo los sistemas agroforestales pino y albizia falcataria más café tenían las propiedades más desfavorables, al igual que las áreas sometidas a la producción de cultivos y que bajo guamo, el suelo conservaba sus propiedades muy similares al bosque pluvisilva de montaña.

Cairo y col. (2004), demostraron que el guamo (*Inga vera* Willd.) es el árbol de sombra que debe ser utilizado para el control de la acidificación de los suelos en sistemas agroforestales bajo café en Topes de Collantes. Reyes y col. (2005) obtuvieron resultados similares a los alcanzados por Cairo y col. (1994) para el mismo tipo de suelo, pero en las propiedades físicas.

Reyes y col. (2007), al evaluar el efecto de los diferentes sistemas agroforestales sobre algunos indicadores de la fertilidad, indicadores de la acidez y propiedades físicas de un suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado de Tope de Collantes obtuvieron resultados similares a los alcanzados para el suelo Ferralítico rojo lixiviado.

Carvajal (1984), considera como adecuado para el cultivo cafeto un rango de temperaturas medias anuales entre 17 – 23 °C, mientras que Rena y Maestri (1986), consideran que por encima de 24 °C se limita la tasa de asimilación neta de este cultivo.

Las características climáticas expresadas a través de la temperatura, precipitación, días de lluvia en unión con las correspondientes al relieve y propiedades del suelo entre otros, interactúan e influyen decisivamente sobre el crecimiento y rendimiento y por ende sobre los requerimientos nutricionales del cultivo, de forma tal que el grado de influencia de las características climáticas sobre las plantaciones de cafeto es atenuado o intensificado por las características del relieve, exposición de la vertiente, propiedades físicas del suelo, entre otras (Valencia, 1995).

### **1.1.2. Características de la variedad Villalobos**

La variedad de café Villalobos es una mutación de la variedad Typica desarrollado en Costa Rica, es similar a esta, en que las ramas forman un ángulo de 60 grados con respecto al tallo y tienen las hojas nuevas de color bronce. La variedad Villalobos produce muy bien en altitudes más altas, son muy resistentes al viento e incluso puede producir bien en suelos privados de nutrientes (Anónimo, 2011).

### **1.1.3. Fertilidad y propiedades de los suelos**

Según King (1990), la clave del manejo eficiente de la fertilidad del suelo reside en ir disminuyendo el uso de insumos externos, sincronizar la demanda de nutrimentos en el cultivo con las tasas de liberación de los mismos y la promoción de reciclaje con el manejo adecuado de los residuos agrícolas e industriales. No obstante, Altieri (1994), considera que las características que hacen fértiles y productivos a los suelos dependen del comportamiento de la intensidad, equilibrio, interacciones e interdependencia entre los factores: clima, suelo, planta y hombre. Aunque Bertsch (1995), expresa que no existe un concepto aceptado del término "suelo fértil" ya que este tiene que suministrar cantidades razonables y con equilibrio adecuado de todos los nutrimentos esenciales y debe estar localizado en una zona climática que proporcione la luz, humedad y calor suficientes para lograr un crecimiento satisfactorio de los cultivos.

Primavesi (1996), plantea de manera muy acertada que para recuperar los suelos, hay que corregir las causas que generan la degradación y no los síntomas, por lo que hay que determinar cuales son estas causas.

La base de la fertilidad del suelo es entendida en su expresión más amplia como la transformación de la materia orgánica en humus, el cual al unirse a la arcilla, forma el complejo arcillo - húmico; lo que asegura a su vez la formación de agregados estables en el suelo, una bioestructura favorable a la retención y circulación del agua y por tanto la penetración de raíces de las plantas en el suelo (Felipe - Morales, 2004).

Pérez y Mury (2004), consideran que el conocimiento del estado físico y químico del suelo permite medir el nivel relativo de la fertilidad, su textura, pH, saturación de sus bases, así como la capacidad de cambio catiónico (capacidad que posee un suelo de absorber cationes y es equivalente a la carga negativa del suelo), entre otras.

Por otra parte Moreno (2002), considera que entre los indicadores y valores límites para valorar la degradación física de los suelos ferralíticos rojos se encuentran el porcentaje de agregados hidroestables (> 0,25 mm), que no debe ser menor del 60%. También, Gomero y Vázquez (2004) expresan que en la degradación física del suelo, las partículas son transportadas por la acción del agua de lluvia, mientras que la degradación química reduce la capacidad de cambio catiónico y provoca la acidificación del suelo, toxicidad del aluminio y magnesio.

En Venezuela, la mayoría de los suelos ácidos son pobres en nutrientes, especialmente en calcio, magnesio y fósforo; lo que imposibilita según De Rojas y Comerma (2004), generalizar prácticas agronómicas tendientes a mejorar su potencialidad para uso agrícola y pecuario. Estos autores definen el nivel de pH 5,5 como límite general por debajo del cual se presentan contenidos de aluminio intercambiable y saturación del complejo de intercambio, con éste elemento en niveles superiores a 0,8 y 20% respectivamente, los cuales serían tóxicos para cultivos sensibles, asociado esto a bajo contenido de calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) y saturación con bases. Esta asociación del aluminio en suelos fuertemente ácidos, la investigaron Gines y Mariscal (2004), y explican que la acidificación es una consecuencia de la reacción del aluminio con el agua, liberando hidrogeniones:  $(\text{Al}^{+3} + \text{H}_2\text{O} \text{ ----> } \text{Al}(\text{OH})^{+2} + \text{H}^+)$ .

También la acidez guarda estrecha relación con los problemas en las condiciones físicas de los suelos, debido a que Fundora y col. (1994) enunciaron que si ésta aumenta, da como resultado la dispersión de las arcillas y añade Torres (2003) que al parecer, esta

dispersión es por una disminución del calcio cambiante en el sistema y que la saturación del aluminio aumenta por las condiciones del medio y Fixen (2004), al expresar que la acidez permite el rompimiento de la estructura de los minerales arcillosos y en consecuencia se libera aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) y hierro ( $\text{Fe}^{+3}$ ), formándose fosfatos insolubles de hierro y aluminio, de esta forma el fósforo está menos disponible.

## **1.2. Uso de organominerales para el mejoramiento de los suelos**

### **1.2.1. Materia orgánica aplicada al suelo**

Sobre la importancia que tiene la materia orgánica para los suelos se ha referido Guerrero (1999), al expresar que mejora la porosidad y aumenta la infiltración y la capacidad de almacenar el agua; los suelos compactados se vuelven más suaves; crea estructura favorable al crecimiento de las raíces; es fuente permanente y gran reserva de nutrimentos para las plantas; alimenta a los microorganismos, los cuales al morir se convierten también en nutrientes y regula el pH, para que no esté muy ácido, ni muy alcalino. Hipólito (2000), expresa que la materia orgánica forma parte del ciclo del nitrógeno, del azufre y del fósforo, contribuye a la asimilación de nutrientes, mejora la estructura y la retención de agua del suelo, y da soporte a todo un mundo de microorganismos cuya actividad resulta beneficiosa para el cultivo.

La materia orgánica ayuda al enrizamiento de la planta, al existir un buen contacto entre las raíces y el suelo, además de conllevar a un mejoramiento de las funciones fisiológicas (Cairo, 2000). El propio autor agrega que el aumento del contenido de materia orgánica influye significativamente en la estabilidad de los agregados y Osejo (2001), expresó que posee iones con carga negativa que atraen a los cationes; esto evita la pérdida de los nutrientes por lixiviación a las capas más profundas del suelo.

Martínez y col. (2001), ponen de manifiesto que el uso continuado del monocultivo provoca grandes alteraciones en el contenido y composición de la misma, disminuye el contenido total de carbono y los complejos orgánicos móviles y semimóviles de las fracciones del suelo; he aquí entonces su papel como barrera ecológica.

Adicionan Crespo y col. (2002) y Fernández y col. (2003), que la materia orgánica tiene una capacidad de fijar iones de la solución del suelo de 3 - 5 veces superior a la de la arcilla, es por tanto una reserva de nutrientes; influye en el estado de dispersión y floculación del suelo, en el pH al producir compuestos orgánicos que tienden a acidificar el suelo, por lo que es un agente de alteración debido a su carácter ácido. Además de que

puede formar un complejo con las arcillas que reduce la capacidad de los agregados de humedecerse, e impide que el agua destruya la estructura del suelo (Ponce de León y Balmaceda, 2003). Vicente (2003), afirma que es un elemento favorecedor en la composición tanto física, química como biológica del suelo, puede además formar un complejo con las arcillas, reduce la capacidad de los agregados de humedecerse e impide que el agua destruya la estructura del suelo (Ponce de León y Balmaceda, 2003).

Fundora (2005), encontró aumentos del contenido de materia orgánica del suelo por el solo aporte de NPK inorgánico.

### **1.2.2. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades del suelo**

La materia orgánica ofrece una variedad de beneficios que condicionan al suelo para lograr las producciones que permite la oferta ambiental. Un resumen de estas condiciones se presenta a continuación (Núñez y col., 1994).

#### Efecto de la materia orgánica en las propiedades físicas:

- Mejora la estructura del suelo
- Aumenta la agregación de las partículas y el suelo resiste mejor la erosión
- Incrementa la aireación, la permeabilidad y la retención de humedad

#### Efecto de la materia orgánica en las propiedades químicas:

- Aumenta la capacidad buffer o resistencia a cambios de pH
- Aumenta la capacidad de intercambio de cationes
- Suministra nutrientes al cultivo

#### Efecto de materia orgánica en las propiedades biológicas:

- Incrementa la actividad de los microorganismos que ayudan a la mineralización de los residuos orgánicos. Un suelo puede ser fértil pero improductivo, es decir, de condiciones físicas inadecuadas. Un suelo puede ser infértil pero productivo, es decir de buenas condiciones físicas, en este caso el suelo puede ser manejable desde el punto de vista químico.

### **1.2.3. Alternativas de fertilización y mejoramiento para los suelos**

Altieri (1994) y Montesino (1998), consideran que la combinación entre las sustancias orgánicas y fertilizantes químicos, representan una alternativa muy útil y realista para el aumento de los rendimientos, fertilidad del suelo y evitar la contaminación del ambiente, Antúnez (1999), al reflexionar que siempre es necesario pensar en el abonado del suelo y no en la fertilización de la planta . Reafirma lo antes señalado Rivera (1999), al plantear

que el estiércol en suelos Ferralíticos rojos lixiviados aporta nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio con sensibles mejoras de la acidez en los primeros 25 cm. de profundidad en el perfil del suelo, que la cachaza aplicada a estos suelos rojos en dosis de 20 - 25 t.ha<sup>-1</sup>, garantiza en alto porcentaje de los requerimientos del cafeto y cuando el pH es menor de 5 y el fósforo disponible es menor de 2,0 mg.100g<sup>-1</sup>, se debe adicionar 75 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup> en el momento de la plantación para garantizar un suministro adecuado durante el primer ciclo.

Peñaloza y col. (2000), consideran que generalmente la mejor opción técnica y financiera es usar fertilizantes orgánicos e inorgánicos juntos, aunque Kolmans y Vázquez (2001), enfatizan que el uso del abonamiento químico, perturba el ecosistema y afecta los microorganismos beneficiosos en favor de patógenos y/o parásitos; su suministro en exceso, disminuye la concentración de otros por efecto antagónico, y se producen alteraciones desfavorables en el pH. Sin embargo, existen alternativas al uso de abonos para la agricultura ecológica y éstas comprenden productos como cal, ceniza de madera, roca fosfórica, cal dolomita, entre otros, siempre y cuando se cumpla lo planteado por Jaramillo (2002), al decir que antes de aplicar un abono orgánico se deben saber sus características: composición de elementos nutrientes, contenido de humedad, contenido de ácidos fúlvicos, relación C/N, pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico, entre otras.

El uso de la caliza dolomítica en nuestro país ha tomado auge, al localizar Núñez y col. (1994), algunas yacimientos en: Lomas de Madruga en La Habana, Sierra de Jatibonico, Sierra de Cubitas en Camagüey, Lomas de Copeycillo en Holguín y la de Villa Clara con una composición química de un 16,91 - 18,35% de MgO; 33,38 - 34,99 % de CaO; 0,09 - 0,87% de SiO<sub>2</sub>; 0,04 - 0,21% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y 0,04 - 0,13% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. En tal sentido Aguiar (1997) se pronunció por el uso de éste mineral en los suelos ferralíticos rojos, quien utilizó el compost junto con ésta, y demostró que de ese modo aumentan el pH y el fósforo asimilable, y que las mezclas de caliza dolomítica + ceniza + zeolita constituyen un buen sustituto de éste mineral.

A estos criterios se unen con sus experiencias Cabrera (1998), con los nuevos datos sobre la caliza dolomítica de Villa Clara, que indican valores de 34,24% de CaO; 17,92% de MgO; 0,26% de SiO<sub>2</sub>; 0,20% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y 0,04% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y al estudiar la aplicación de ésta fuente mineral y compost en un suelo Ferralítico rojo en la estación experimental "Pedro Lantigua" de Remedios, dio como resultado que el contenido de fósforo aumentara

significativamente en todos los tratamientos, además de que la capacidad de cambio catiónico aumenta significativamente en el tratamiento de 4 t.ha<sup>-1</sup> de caliza dolomítica + 4 t.ha<sup>-1</sup> de compost, pasando de una forma desaturada a saturada, lo que permite una mayor absorción de los nutrientes.

Goya (1998), plantea que en los suelos de Manicaragüa con la aplicación de 4 t.ha<sup>-1</sup> de compost + 2 t.ha<sup>-1</sup> de caliza dolomítica y caliza dolomítica sola a razón de 4 t.ha<sup>-1</sup>, se logró un aumento significativo del pH y mejoramiento de la estructura del suelo.

Cabrera (1998b), al utilizar algunos tratamientos en un suelo pardo con carbonato, determinó que entre los tratamientos aplicados, la estabilidad del suelo mejoró con 4 t.ha<sup>-1</sup> de caliza dolomítica + 4 t.ha<sup>-1</sup> compost; además, el potasio soluble aumentó; también mejoraron la aireación y la porosidad. También Rodríguez y Pérez (1999), al aplicar en condiciones controladas caliza fosfatada y caliza dolomítica en un suelo oscuro plástico, demostraron que pueden mejorar las características del suelo tanto físicas como químicas, además de aumentar el pH del suelo así como el contenido de fósforo y materia orgánica.

Cairo (2001), expone que la caliza dolomítica ha manifestado efectos sobre el potasio asimilable e intercambiable del suelo; los estudios consideran que existe un mecanismo de intercambio de cationes entre el magnesio y el potasio en este caso particular de la caliza dolomítica.

Vizcaíno y García (2002), al utilizar caliza dolomítica y el yeso como alternativas enmendantes de la acidez del suelo, han obtenido resultados inmejorables en el aluminio extraído, ya sea unido a la materia orgánica, o absorbido, en forma de oxalato o citrato. Siempre que se tenga en cuenta dos criterios para encalar un suelo ácido: uno, para llevar a neutralidad o a pH más básico; y otro para neutralizar el aluminio intercambiable y suplir cantidades de calcio y magnesio necesario a las plantas (De Rojas, 2002). También Gines y Mariscal (2004), al expresar que la cal reduce la acidez del suelo, incrementar el pH, pues convierte parte de los hidrogeniones en agua al subir el valor del pH (H<sub>2</sub>O) hasta valores de 5,5 y más, el aluminio se precipita como Al(OH)<sub>3</sub>, lo que elimina la acción tóxica del metal.

También Salas y col. (2004), plantean que en el caso de zonas de laderas, los suelos son muy ácidos con poca profundidad efectiva, con fijación de fósforo, contenido de aluminio intercambiable que alcanza niveles tóxicos en todo el perfil y con muy baja fertilidad natural y que han aplicado en estos casos enmiendas calcáreas del tipo dolomítica para desplazar al aluminio intercambiable y aumentar el pH, con una dosis de 1,5 t.ha<sup>-1</sup>.

Adicionan Romera y Guerrero (2004), que este mineral constituye una alternativa en suelos ácidos o neutros en dosis de 200 - 500 Kg.ha<sup>-1</sup>, y que serán más efectivas mientras más finamente sean pulverizadas las rocas para su uso en el suelo, y así puede ocurrir más fácil según Gines y Mariscal (2004), que los iones Ca<sup>+2</sup>, reemplacen al Al<sup>+3</sup> de los sitios de intercambio y el ión carbonato (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) reacción con el agua de solución del suelo, lo que crea un exceso de iones OH<sup>-</sup>, que a su vez reaccionan con los excesos de iones H<sup>+</sup> (acidez) y forma agua, y concluyen estos autores que se encuentra en muchos lugares del mundo y su calidad depende del contenido de impurezas del material, tales como la arcilla o residuos de materia orgánica.

Otro de los minerales naturales utilizados en la investigación es la caliza fosfatada, al respecto Cabrera y col. (1998), manifiestan que la mejor respuesta en el suelo se logra a partir de niveles de 4 t.ha<sup>-1</sup>, coincidiendo con esta dosis Cairo (1999), al realizar algunos trabajos con ésta en condiciones controladas probando niveles entre 0 - 10 t.ha<sup>-1</sup> en suelos oscuros plásticos. No obstante Cairo (2000), expone que el término caliza fosfatada no es muy usado en el mundo, por lo que se conoce este mineral por roca fosfática o fosfato mineral, aunque la considera como una roca fosfórica con muy bajo contenido de fósforo asimilable (menos de un 10%) cuya función fundamental en el suelo es la del mejoramiento integral del mismo, lo cual lleva implícito un aumento del pH, del fósforo, del calcio y de las relaciones intercatiónicas, entre otras propiedades del suelo.

Enfatizan Fernández y Noguera (2001), que si se usa finamente molida es una ventaja tanto para el suelo como para el cultivo al favorecer la solubilidad, demostrando Bolland y Gilkes (2003), en sus estudios con roca fosfórica en condiciones de laboratorio que hasta el 70% se disuelve en suelos ácidos, sobre todo en áreas de alta precipitación (> 800 mm anuales). Por esto Gomero y Vázquez (2004), recomiendan el aprovechamiento del yacimiento de rocas fosfatadas que se encuentra al norte de Perú, como opción que resolvería la deficiencia de fósforo en diferentes tipos de suelos de su país, considerado este nutrimento como de gran importancia por Garcia y Picote (2004), al formar parte de enzimas, ácidos nucleicos y proteínas, al estar involucrado en prácticamente todos los procesos de transferencia de energía, y Dibb (2004), al expresar que solamente una pequeña fracción del fósforo está en forma soluble, la cual está en equilibrio con la fracción lábil que comprende el fósforo orgánico fácilmente mineralizable y los fosfatos débilmente adsorbidos en las arcillas.

Kolmans y Vázquez (1996), definen el compost como el aprovechamiento de desperdicios por microorganismos, los cuales lo descomponen y degradan transformándolos en sustancias de complejidad variable, el humus, que si se aplica según López (1997), como fuente de materia orgánica estabilizada en el suelo, con alta calidad sanitaria y agronómica puede promover entre otras cosas una intensa actividad biológica, la capacidad de intercambio de nutrimentos, el equilibrio del agua y la estructura del suelo. Un ejemplo lo constituye el uso continuado de abonos orgánicos por parte de los agricultores en el norte de Ghana, que les permitió mejoras significativas de la fertilidad del suelo y producción de los cultivos (Dittoh, 2000). Concluye Jaramillo (2002), sobre los beneficios de la aplicación del compost al suelo: el material producido por éste método es económico y biológicamente estable, la producción puede hacerse en la finca, con lo cual se ahorran costos de transporte, el material transformado adquiere una relación C/N total que es capaz de aportar buena cantidad de humus al suelo, el abono es balanceado desde el punto de vista nutricional, se reducen las características fitotóxicas de los residuos utilizados y el contenido de patógenos en los desechos tratados y se reducen los malos olores si se hace correctamente.

Zamora (2000), ratifica que el uso de la pulpa de café (proveniente de la plantación), en el cultivo de café orgánico reduce la acidificación del suelo. En Costa Rica existen 92 plantas de beneficio de café, que generan 350 000 t. de pulpa que pueden dar 87 000 t. de abono orgánico luego de su descomposición aerobia, según Pujol y col. (2004). Por otra parte García y Picote (2004), informan los volúmenes que son capaces de generar las despulpadoras de café en Guantánamo (34,09 t. de abonos orgánicos) las que pudieron ser aplicadas a 28,5 ha de café a razón de 2,5 y 1,5 t.ha<sup>-1</sup> en el 2001 y en el 2003, respectivamente. En los trabajos realizados por Gómez y col. (2004), se utilizaron 5 kg.planta<sup>-1</sup> de residuos de café y 5 kg.planta<sup>-1</sup> de estiércol vacuno, sobre plantas de plátano y obtuvieron las mejores características productivas en el plátano con el subproducto del café.

Es por ello que Cairo y col. (1998), ven que el mejoramiento de los suelos tiene una gran importancia actual y perspectiva, y para ello deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos: necesidad de detener su degradación acelerada, posibilidad de la sustitución de los fertilizantes y necesidad de controlar los recursos más importantes del medio natural, ya que sin él no tendríamos agua, vegetación, ni animales.

Existen fuentes inorgánicas de minerales que se pueden utilizar en procesos de transición hacia la agricultura orgánica y que contribuyen a la recuperación del equilibrio perdido por el mal manejo que la agricultura convencional ha ocasionado en la mayoría de los suelos. Algunas de estas fuentes inorgánicas son: cal, carbonato de calcio, algunos sulfatos, azufre, roca fosfórica, entre otros (Picado y Añasco, 2005).

Anónimo (2005), en la metodología del café orgánico explica que en la fertilización del café orgánico los abonos serán elaborados con material de origen animal o vegetal tales como la pulpa de café, gallinaza de aves, murcielaguina, estiércol de ganado, y minerales que provienen de rocas fosfóricas (salitre).

Sánchez (2006), plantea que los suelos ácidos no son favorables para el desarrollo de la mayoría de los cultivos, por lo que es preciso corregir la acidez, tratando de sustituir los cationes hidrógeno por cationes calcio. Esta operación se llama enmienda caliza o encalado y recomienda minerales como carbonatos cálcicos (calizas), dolomitas (carbonato cálcico magnésico).

Los métodos biológicos para mejorar la eficiencia agronómica de las Rocas fosfóricas (RF) aplicadas directamente como fertilizantes fosfatados son: (1) la compostación de los residuos orgánicos con la RF (fosfocompostes), (2) la inoculación de las semillas o de las plántulas con microorganismos solubilizadores de fosfatos (hongos, bacterias y actinomiceto y, la inclusión en el sistema de cultivos de genotipos de plantas que poseen un mejor crecimiento radicular y, por lo tanto, un mayor volumen de exploración del suelo, exudan protones y ácidos orgánicos que incrementan la solubilización de los fosfatos poco solubles mediante la disminución del pH y la quelación, y producen niveles altos de las enzimas fosfatasas que pueden descomponer las formas de fósforo orgánico en P inorgánico, donde el procesamiento de las RF con diversos materiales orgánicos y su compostación, es una técnica promisoría para mejorar la solubilidad y la subsiguiente disponibilidad de P de las RF para las plantas (Cantera y col., 2008).

Calero y col. (2009), plantean que el empleo de fertilizantes órganominerales puede ser una alternativa eficaz para incrementar el rendimiento agrícola y proteger los recursos edáficos de los agroecosistemas, donde los abonos orgánicos son portadores de nutrientes de baja concentración, por lo que para satisfacer los requerimientos nutricionales de las plantas, se necesitan grandes cantidades que, en ocasiones, se hacen insostenibles desde el punto de vista práctico y económico; esto puede atenuarse utilizando

combinaciones de abonos orgánicos con minerales industriales, también conocidos como naturales, alternativos o técnicos, entre los que se encuentran las calizas fosfatadas.

#### **1.2.4. Características y utilización de los abonos orgánicos, minerales naturales solos o combinados**

Rodríguez y Pérez (1999), aplicaron diferentes fuentes minerales (zeolita, caliza fosfatada, fosforita, ceniza y caliza dolomita) en condiciones controladas en un suelo oscuro plástico demostrando que pueden mejorar las características del suelo tanto físico como químicamente además de aumentar el pH del suelo así como el contenido de fósforo y materia orgánica.

Los depósitos de fosfatos pueden dividirse en residuales, de emplazamiento o sustitución, y sedimentario, son calizas que se han fosfatado o convertido en fosfatos cálcico por la acción de las soluciones portadoras de fosfatos derivados de los guanos y otras materias orgánicas (Osejo, 2001). Por otro parte John y col. (2006), plantean que en Cuba existen un grupo de materiales minerales como la zeolita, la bentonita y las rocas fosfóricas con capacidad de mejorar la eficiencia de los fertilizantes cuando se mezclan con fuentes orgánicas, llegando a la conclusión en sus estudios que tienen un efecto mejorador en las propiedades de los suelos y posibilitan la reducción de las dosis de fertilizantes minerales, siendo los mismos de alta eficiencia en la protección del medio ambiente.

Entre los factores que afectan la eficiencia agronómica de la roca fosfórica, se encuentran:

- Reactividad de las rocas fosfóricas
- Propiedades del suelo
- Las condiciones climáticas
- Especies cultivadas
- Las prácticas de manejo (FAO, 2007)

Reyes (2002), al estudiar el efecto del residuo del beneficio húmedo del café, del compost del propio residuo y de minerales naturales sobre las propiedades de un suelo ferralítico rojo lixiviado de montaña demostró que las combinaciones de los abonos orgánicos con los minerales naturales tenían el mejor efecto sobre las propiedades químicas y físicas del suelo en estudio, así como en los indicadores del crecimiento del maíz utilizada como planta indicadora en experimento en condiciones de maceta. Reyes y col. (2006), estudiaron niveles de residuo del beneficio húmedo del café en un suelo ferralítico rojo

amarillento lixiviado, definiendo como la dosis más efectiva la de  $15 \text{ t.ha}^{-1}$ , en experiencia con maíz como planta indicadora.

### **1.3. Agricultura orgánica y sostenible e indicadores de sostenibilidad**

La agricultura se ha desarrollado como un proceso continuado, que ha marchado acorde a las tendencias tecnológicas, económicas y sociales de las diferentes épocas que se han sucedido, con un vertiginoso auge con posterioridad a la II Guerra Mundial, en que surgió el paradigma de la “revolución verde”, sobre la base de aumentos productivos sostenidos mediante tecnologías de producción intensivas, mecanizadas y con grandes volúmenes de insumos, principalmente agroquímicos y energía (Rodríguez y Pérez, 1999).

Este modelo de agricultura “revolución verde” favoreció el desarrollo de los agroquímicos y su tecnología de aplicación, que ha sido la tendencia predominante de la sanidad vegetal y la nutrición vegetal en el ámbito mundial, la cual se ha arraigado con tanta fuerza que aún en la actualidad, a pesar de que se conocen y se han practicado diversas alternativas, muchos agricultores y profesionales agrarios tienen la percepción de que para la lucha contra las plagas es necesario el empleo de un producto (plaguicida) como única opción y para que las plantas crezcan y produzcan se requiere de un fertilizante sintético (Vázquez, 2006).

Precisamente, debido a que existe mucho interés en conocer sobre agricultura sostenible, a la vez que en ocasiones se manifiestan incertidumbres sobre sus ventajas o criterios en contra, consideramos necesario compartir nuestra percepción a través de un grupo de preguntas y respuestas, con el propósito de favorecer un diálogo que contribuya a enriquecer los conocimientos sobre la agroecología como base para la agricultura sostenible (Vilariño, 2000).

La necesidad de establecer actividades sostenibles con el entorno natural y humano, comienza a ejercer influencia también en el beneficiado de la producción agrícola (Obando, 1994). Desde luego, en la mayoría de los debates sobre agricultura y ruralidad se arriba a la conclusión de que a nivel mundial la agricultura se encuentra en una crisis, motivada principalmente por los impactos negativos y la alta dependencia de los plaguicidas sintéticos, los fertilizantes y la maquinaria agrícola, entre otras causas según Altieri (1994); sin embargo, en muchos lugares se observan experiencias que demuestran que resulta posible obtener producciones agrícolas mediante sistemas sostenibles,

siempre que se otorgue participación a los agricultores y técnicos o extensionistas (Vázquez, 2004).

Debido a que la agricultura sostenible no se enfoca sobre la base del productivismo, existen muchas personas que cuestionan sus ventajas; sin embargo, los argumentos y estudios realizados han permitido demostrar que constituye una solución que se basa en la agroecología, con un gran enfoque social, por lo que es muy resistente y reduce significativamente los impactos negativos sobre el medio ambiente, sin comprometer el futuro de los sistemas agrícolas y los ecosistemas naturales cercanos (Altieri, 1994; Pengue, 2005; Lovato y Schmidt, 2006 y Sevilla, 2007).

### **1.3.1. Indicadores de sostenibilidad.**

Algunos investigadores han indicado que el impacto ambiental de los sistemas orgánicos de producción de cultivos es todavía desconocido y se necesitan más investigaciones que demuestren el real efecto de estos (Condrón y Cameron, 2000). Alonso y Carrobelo (2002) a través del Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía, han dado a conocer que 11 de las 14 provincias de nuestro país están afectadas por la falta de materia orgánica, erosión, compactación, acidez o exceso de sales, lo que se hace aun más dramático en zonas montañosas, de humedales y costeras. Por eso Astier (2002), plantea que es imprescindible poner en práctica sistemas de manejo más sustentables para el mantenimiento y la restauración de los suelos y frenar la pérdida de tierras, suelo y biodiversidad con el desarrollo de sistemas más eficientes desde el punto de vista nutricional y de la conservación de la materia orgánica del suelo.

Gispert (2003), enfatiza sobre la necesidad de estudiar técnicas que permitan obtener producciones económicamente factibles que den respuestas al mejoramiento, mantenimiento y conservación del medio ambiente y a su vez a las necesidades de las comunidades de zonas montañosas, sobre la base del uso de recursos locales como el residuo de café, compost, restos de cultivos y otros para garantizar el reciclaje de nutrimentos, la sostenibilidad y conservación ambiental de estos ecosistemas. Por eso Bautista y col. (2004), hace alusión a que el desarrollo agrícola sostenible debe abarcar tres aspectos: económico, social y ecológico.

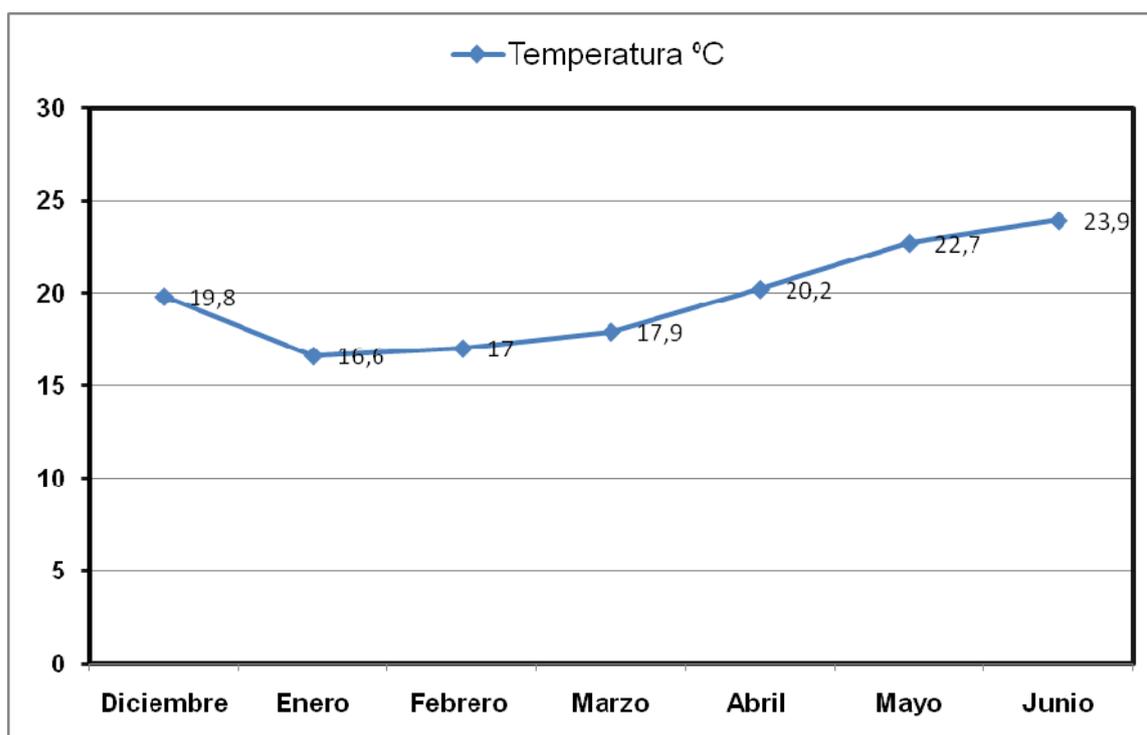
## CAPITULO 2. DIAGNÓSTICO Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### 2.1. Condiciones experimentales generales

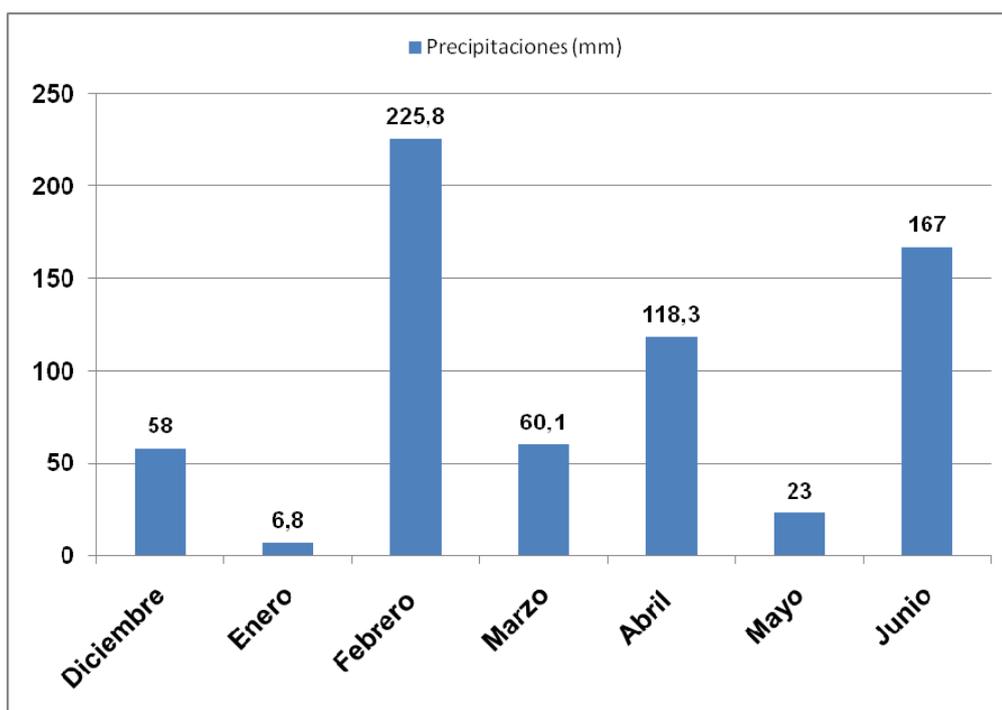
La investigación se llevó a efecto en la zona de Topes de Collantes, municipio de Trinidad, provincia de Sancti – Spíritus a una altitud de 750 m.s.n.m. y con un régimen pluviométrico de 2000 mm como promedio anualmente.

Para llevar a cabo la investigación se realizaron dos experimentos en condiciones de macetas, uno sobre suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado y otro con suelo Ferralítico rojo lixiviado con la variedad de cafeto “Villalobos”. Ambos suelos presentan propiedades químicas y físicas muy desfavorables según Reyes (2006), (Anexo 1) y están ubicados el primero en zonas cercanas a la Finca “La Providencia” perteneciente a la C.C.S. Lucas Castellanos y el segundo en la Facultad Agropecuaria de Montaña del Escambray.

Las figuras 2.1 y 2.2 muestran el comportamiento de las temperaturas medias mensuales en °C y las precipitaciones acumuladas por meses (mm) en el período diciembre de 2009 y junio de 2010.



**Figura 2.1.** Comportamiento de las temperaturas medias mensuales en °C durante la investigación



**Figura 2.2.** Comportamiento de las medias de las precipitaciones en mm durante la investigación

En la Tabla 2.1 se muestra la denominación de los suelos según correlación entre la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba de Hernández y col. (1999), con la F.A.O. UNESCO y la Soil Taxonomy.

**Tabla 2.1.** Correlación entre la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba con F.A.O. - UNESCO y Soil Taxonomy

Tipo genético de suelo	Correlación con FAO UNESCO	Correlación con Soil Taxonomy
Ferralítico rojo lixiviado	Nitisol	Kandiudalf
Ferralítico rojo amarillento lixiviado	Acrisol	Kandiudalf

## 2.2. Descripción de los experimentos

### 2.2.1. Toma de muestras de suelos y preparación de los mismos para el llenado de las bolsas

Se realizaron tres muestreos a los suelos en el período comprendido del 1 de octubre al 30 de noviembre de 2009:

- Para evaluar la densidad aparente de cada suelo a las profundidades de 0 – 20 cm.
- Otro en forma de zig-zag para la elaborar una muestra compuesta de 270 kg, representativa de cada suelo para su utilización como sustrato.

- c) Análisis nematológico de los suelos utilizando (*Cucubita pepo* L.) como planta indicadora.

Una vez que el suelo estuvo completamente seco, se procedió al llenado de las bolsas de polietileno con dimensión de 25 x 13,5 cm. hasta una cantidad de 1 kg., para posteriormente eliminar la cantidad de suelo equivalente a los organominerales y realizar las mezclas correspondientes para cada tratamiento.

### 2.2.2. Momento de siembra de las semillas y trasplante hacia las bolsas

Del 1 al 15 de diciembre de 2009, las semillas de café se sometieron a un proceso de pregerminación por un período de 24 horas y posteriormente se sembraron para que ocurriera la germinación en bandeja de posliespuma de 270 orificios (una semilla por orificio). Del 25-30 de enero se efectuó el trasplante hacia las bolsas, solo las plántulas que tuvieran 2,5 cm. de altura en estado de fosforito, para evitar el error que tienen las semillas de cafeto en cuanto a las diferencias de germinación. El riego de las bandejas se mantuvo de forma tal que la humedad del suelo fuera de aproximadamente el 60% de la capacidad de campo. Los tratamientos utilizados en la investigación para ambos suelos se muestran en la Tabla 2.2., con 25 plantas por tratamientos (cada planta representa una observación), 250 plantas por cada suelo (500 plantas en total) y de ellas se seleccionaron al azar seis macetas por cada tratamiento para el análisis químico del suelo y las variables de crecimiento que se le realizaron a las plantas de cafeto.

**Tabla 2.2.** Tratamientos utilizados en la investigación

Tratamientos	Descripción
1	Testigo absoluto (suelo solo)
2	N – P – K (5,3 - 12 - 6 de N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y K <sub>2</sub> O, respectivamente)
3	4 t.ha <sup>-1</sup> de compost
4	15 t.ha <sup>-1</sup> de residuo del café
5	4 t.ha <sup>-1</sup> de compost + 4 t.ha <sup>-1</sup> de caliza fosfatada (CF)
6	4 t.ha <sup>-1</sup> de compost + 4 t.ha <sup>-1</sup> de caliza dolomítica (CD)
7	15 t.ha <sup>-1</sup> de residuo del café + 4 t.ha <sup>-1</sup> caliza fosfatada
8	15 t.ha <sup>-1</sup> residuo del café + 4 t.ha <sup>-1</sup> caliza dolomítica
9	4 t.ha <sup>-1</sup> caliza dolomítica
10	4 t.ha <sup>-1</sup> caliza fosfatada

Las cantidades de organominerales que se aplicaron están en función del peso ha-surco donde se determinó la densidad aparente de casa suelo en g/cm<sup>3</sup> a las profundad de 0 – 20 cm. Para la aplicación de la fórmula completa indicada en el tratamiento 2 fue necesario utilizar los portadores simples Urea (46% de N), Superfosfato triple (46% de

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y KCl (60% de K<sub>2</sub>O) a razón de 9,6; 2,6 y 8,08 g/l para posteriormente verter en cada bolsa 25 ml de la solución de los tres portadores, equivalente con la dosis recomendada.

### 2.3. Evaluaciones realizadas durante la investigación

El 25 de abril de 2010 se realizó la primera medición de la altura del tallo en cm. con el auxilio de una regla milimetrada y el conteo de los pares de hojas de las seis plantas que se seleccionaron al azar de los tratamientos en los dos experimentos. La segunda medición, igual que la anterior, se efectuó el 25 de junio de 2010. Los días restantes de junio y principio de julio se procedió a evaluar las variables pesos frescos del tallo, raíz y hojas; pesos secos del tallo, raíz, hojas con el auxilio de una balanza analítica y por cálculo la materia seca total, expresadas en (g). Los análisis efectuados a las muestras de ambos suelos se realizaron en el Laboratorio Provincial de Suelos de Santa Clara; provincia Villa Clara. Se evaluaron el pH en agua y en KCl, fósforo y potasio asimilables (mg.100 g<sup>-1</sup>), materia orgánica (%), acidez hidrolítica, acidez de cambio y aluminio cambiante (cmol+.kg<sup>-1</sup>), según las metodologías descritas en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3.** Metodologías utilizadas para el análisis de los indicadores químicos del suelo

Indicadores	Método / Solución extractiva
<b>Análisis químico del suelo</b>	
pH	Potenciométrico. En H <sub>2</sub> O y en KCl: relación suelo - solución 1:2,5. (Comité Técnico de Normalización N° 3, 1999a)
Materia orgánica	Wakley - Black. Colorimetría. Oxidación con dicromato de potasio 1N y ácido sulfúrico concentrado (Comité Técnico de Normalización N° 3, 1999a)
Fósforo y potasio asimilables	Oniani. Fósforo por Colorimetría (NRAG 279, 1980) y Potasio por fotometría de llama. Extracción con ácido sulfúrico 0,1 N, relación suelo - solución 1:2,5; 3 minutos. (Comité Técnico de Normalización N° 3, 1999)
Acidez hidrolítica	Valoración. Extracción con acetato de sodio (NaOAc 1N, pH = 8) (NRAG 279, 1980)
Acidez de cambio y aluminio cambiante	Valoración. Utilización como solución extractiva KCl (1N), valorado posteriormente con NaOH 0,1 N ( $Y_2 = a \cdot f \cdot 0,02 \cdot 1,5 \cdot 100 / p$ ) (Al cambiante = $a \cdot f \cdot 0,02 \cdot 1,5 \cdot 100 / p$ ) (NRAG 279, 1980)

La caracterización de los distintos materiales orgánicos y minerales naturales utilizados en la investigación aparecen reflejadas en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4.** Caracterización de los abonos orgánicos y minerales naturales

Composición	Residuo del beneficio húmedo	Compost	Caliza dolomítica	Caliza fosfatada
pH(agua)	8,40	8,60	-	-
Humedad (%)	74,27	66,6	-	-
Ceniza (%)	76,80	54,02	-	-
Materia orgánica (%)	80,99	28,26	-	-
Carbono orgánico total (%)	46,98	16,39	-	-
Ácido Húmico (AH en mg.100 <sup>-1</sup> )	5,08	4,57	-	-
Ácido Fúlvico (AF en mg.100 <sup>-1</sup> )	1,01	1,14	-	-
Relación AH/AF	5,02	4,00	-	-
MgO (%)	-	-	7,92	0,29
CaO (%)	-	-	34,24	85,27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	-	-	-	3,74
CO <sub>2</sub> (%)	-	-	-	42,18
N (%)	3,57	1,68	-	-
P (%)	0,21	1,04	-	-
K (%)	0,46	0,30	-	-
Ca (%)	2,45	7,41	-	-
Relación C/N	13,16	9,75	-	-
Conductividad eléctrica (dS.m <sup>-1</sup> )	2,30	1,13	-	-

Para establecer las evaluaciones de dichos análisis se utilizaron las clasificaciones según Mesa y col. (1984), como se muestra en las tablas 2.5, 2.6 y 2.7. Para el caso del fósforo y el potasio asimilables (Tabla 2.8), se siguieron los criterios de evaluación de Fundora y Yepis (2000).

**Tabla 2.5.** Evaluación de los valores de pH tanto en agua como en KCl

Valores de pH (H <sub>2</sub> O)	Valores de pH (KCl)	Clasificación
< 5,0	< 3,5	Muy ácido
5,0 – 5,5	3,5 – 4,5	Ácido
5,6 – 6,0	4,6 – 5,5	Medianamente ácido
6,1 – 6,5	5,6 – 6,0	Ligeramente ácido
6,6 – 7,5	6,1 – 7,0	Neutro
7,6 – 8,0	7,1 – 8,0	Ligeramente alcalino
8,1 – 8,5	8,1 – 8,5	Medianamente alcalino
> 8,5	> 8,5	Alcalino

**Tabla 2.6.** Evaluación de la acidez hidrolítica y del contenido de materia orgánica

<b>Acidez hidrolítica (cmol(+).kg<sup>-1</sup>)</b>		<b>Materia orgánica (%)</b>	
Valores de acidez	Clasificación	Valores	Clasificación
< 1,00	Baja	> 1,5	Muy bajo
1,00 – 1,99	Media	1,5 – 3,0	Bajo
2,00 – 3,99	Alta	3,1 – 5,0	Mediano
> 3,99	Muy alta	> 5,0	Alto

Tanto para la acidez de cambio como para el aluminio cambiante se utiliza la misma clasificación expresados ambos en (cmol (+).kg<sup>-1</sup>):

**Tabla 2.7.** Evaluación de la acidez de cambio y del aluminio cambiante

<b>Valores de acidez</b>	<b>Clasificación</b>
< 1,00	Baja
1,00 – 2,00	Media
> 2,00	Alta

**Tabla 2.8.** Criterios de evaluación para el fósforo y el potasio asimilables

<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg.100g<sup>-1</sup>)</b>	<b>K<sub>2</sub>O(mg.100g<sup>-1</sup>)</b>	<b>Clasificación</b>
< 6	< 8	Bajo
6 – 11	8 – 16	Mediano
> 11	> 16	Alto

## **2.4. Métodos estadísticos empleados**

Para el procesamiento estadístico de los datos, en la comparación múltiple de las medias se utilizó un análisis de varianza simple, considerándose la diferencia significativa cuando  $p \leq 0,05$ , utilizando la prueba de Tukey con el paquete estadístico STARGRAFIC versión 5.1, para la construcción de las curvas de las relaciones entre las propiedades químicas del suelo y las variables del crecimiento de las posturas de cafeto. Para la confección de la matriz de correlaciones de Pearson se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 15.0.

## **2.5. Valoración económica de los resultados**

Para la valoración económica de los resultados cálculo de la relación beneficio/costo se tuvo en cuenta la metodología descrita por CIMMYT (2011), que consiste en calcular el costo unitario por planta a partir de los costos fijos los cuales se determinaron según Carta Tecnológica (2009), y los costos variables resultantes de la aplicación de los fertilizantes químicos y los organominerales, técnica aprobada en los casos que existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados. El precio de venta de posturas de cafeto a productores de café se obtuvo del GEAM (2011).

## 2.6. Efecto de los organominerales sobre las propiedades químicas de los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado.

En la Tablas 2.9 y 2.10 se aprecia el estudio del efecto de los organominerales sobre las propiedades químicas de los suelos en estudio.

**Tabla 2.9.** Efecto de los organominerales sobre las propiedades químicas del suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado

Tratamientos	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	M. O. (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg.100 g <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (mg.100 g <sup>-1</sup> )
1.Testigo	4,39e	3,17g	3,06c	8,82c	5,10d
2.NPK	4,61d	3,62e	3,86b	10,90b	5,76c
3.Compost	4,86bcd	3,87cde	3,89b	11,15b	7,67ab
4.Residuo del café	4,87bcd	3,88cde	5,19a	11,04b	7,37b
5.Compost + CF	5,13ab	4,15bcd	5,29a	11,78b	7,40ab
6.Compost + CD	4,94bc	3,98bcd	4,02b	11,69b	7,53ab
7.Residuo + CF	5,15ab	4,26ab	5,29a	13,76a	7,80ab
8.Residuo + CD	5,38a	4,37a	5,41a	11,86b	7,87a
9.Caliza dolomítica	4,74cd	3,75cde	3,96b	10,79b	5,69c
10.Caliza fosfatada	4,90bcd	3,94cd	4,01b	11,67b	6,34c
Es x	0,09*	0,09*	0,15*	0,41*	0,15*
C.V. (%)	3,38	3,99	5,74	6,30	3,72

(a, b, c, d, e) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey a  $p \leq 0.05$ .

**Tabla 2.10.** Efecto de los organominerales sobre las propiedades químicas del suelo Ferralítico rojo lixiviado

Tratamientos	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	M. O. (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg.100 g <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (mg.100 g <sup>-1</sup> )
1.Testigo	3,95e	3,00f	2,95e	5,29g	7,37g
2.NPK	4,40e	3,18e	3,08de	5,98f	7,49g
3.Compost	4,42e	3,22e	3,28c	5,65g	8,64f
4.Residuo del café	4,59e	3,56c	3,45b	5,89f	9,13e
5.Compost + CF	4,68d	3,50c	3,39b	8,45d	10,45c
6.Compost + CD	4,79c	3,50c	3,37b	7,41e	10,67b
7.Residuo + CF	4,91b	3,65b	3,83a	10,87a	12,50a
8.Residuo + CD	5,30a	3,72a	3,39b	9,32c	12,68a
9.Caliza dolomítica	4,57d	3,32d	3,12d	8,47d	10,66b
10.Caliza fosfatada	4,58c	3,33d	3,12d	10,61b	9,48d
Es x	0,81*	0,82*	0,22*	0,59*	0,53*
C.V. (%)	2,35	4,21	3,03	3,33	4,27

(a, b, c, d, e) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey a  $p \leq 0.05$ .

En el suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado (Tabla 2.9), los valores de pH en agua fluctúan entre 4,39 (muy ácido) para el caso del testigo y 5,38 como el mayor valor el tratamiento 8 (ácido) que no difiere significativa con respecto a los tratamientos 7 y 5; pero

si con respecto al resto de los tratamientos. En cambio, para el suelo Ferralítico rojo lixiviado (Tabla 2.10), con esta propiedad sucede algo similar, ya que el mejor resultado corresponde con el tratamiento 8, con un valor de 5,30 (ácido) que difiere significativamente del logrado con el resto de los tratamientos, aunque con la aplicación de los tratamientos el suelo sigue siendo muy ácido, y el tratamiento 7 supera al 2 en 0,51 unidades. Los resultados concuerdan con lo planteado por Sánchez (2006), sobre la necesidad de corregir la acidez del suelo, con tratamientos que eliminen los hidrógeno por calcio.

En el caso del pH(KCl), éste alcanza valores desde 3,17 (muy ácido) correspondiente al testigo (Tabla 2.9), el mayor incremento se logra con el tratamiento 8, que es de 4,37 (ácido); mientras que para el otro suelo en estudio (Tabla 2.10), sucede similar, pero solo con el mejor tratamiento se logra alcanzar el valor de 3,72 (ácido). Estos resultados coinciden con lo planteado por Gines y Mariscal (2004), al expresar que los minerales naturales utilizados reducen la acidez del suelo e incrementan el pH.

En la Tabla 2.9 el porcentaje de materia orgánica alcanza su mayor valor con el tratamiento 8 (5,41%) que no difiere estadísticamente de los tratamientos 7, 5 y 4 dentro de la misma categoría de evaluación (alto). Para el resto de los tratamientos este indicador se encuentra dentro de las categorías de evaluación de mediano y bajo para el testigo.

Pero la respuesta no es igual para el otro suelo (Tabla 2.10), ya que el mayor valor (3,83%), se logra con el tratamiento 7 (mediano contenido), con diferencias significativas del resto de los tratamientos, que se evalúan de (mediano), excepto el testigo que es de 2,95% (bajo). Los resultados de la investigación corroboran los planteamientos realizados por Crespo y col. (2002) y Fernández y col. (2003), sobre la necesidad de mantener en los suelos altos porcentajes de materia orgánica, ya que fija iones de la solución del suelo de 3 - 5 veces más que las arcillas (reserva de nutrientes) y Vicente (2003), al afirmar que es un elemento favorecedor en la composición tanto física, química como biológica del suelo. Lo que sucede con el tratamiento 2 para ambos suelos, coincide con lo planteado por Fundora (2005), al decir que el contenido de materia orgánica en el suelo, puede incrementarse por el solo aporte de nitrógeno, fósforo y potasio inorgánico.

En cuanto al contenido de fósforo asimilable (Tabla 2.9) se incrementó desde 8,82 mg.100 g<sup>-1</sup> (muy bajo), correspondiente al testigo, hasta 13,76 mg.100 g<sup>-1</sup> (alto), con el tratamiento 7 con diferencias estadísticas significativas con respecto al resto de los tratamientos. Mientras que la respuesta no fue igual en el otro suelo (Tabla 2.10), ya que para el mismo

nutrimento el mayor valor se alcanza también con el tratamiento 7, (10,87 mg.100 g<sup>-1</sup>), pero en la categoría de mediano. Estos resultados son similares a los logrados por Rodríguez y Pérez (1999) al aplicar estos minerales naturales en condiciones controladas en un suelo oscuro plástico, donde demostró que pueden mejorar el contenido de fósforo y materia orgánica; por Cabrera y col., (1998) al obtener resultados en cuanto al contenido de fósforo asimilable en el suelo con la combinación del compost más la caliza dolomítica (tratamiento 6 para los dos suelos), sin dejar de señalar las bondades del tratamiento 10 descritas por Cairo (2000), para los suelos oscuros plásticos, pero en este caso, también lo hacen para estos tipos de suelos.

El potasio asimilable tuvo un incremento con respecto al testigo, desde 5,10 mg.100 g<sup>-1</sup> (bajo contenido), hasta 7,87 mg.100 g<sup>-1</sup> dentro de la misma categoría de evaluación con el tratamiento 8, valor que no difiere estadísticamente de los tratamientos 7, 6 y 5, pero sí del resto (Tabla 2.9). Mientras que para el otro suelo la respuesta a los organominerales fue diferente (Tabla 2.10) ya que el nutrimento logra alcanzar con el mismo tratamiento 8, los 12,68 mg.100 g<sup>-1</sup> (mediano), resultados similares a los logrados por Reyes (2006), en experimentos de maceta utilizando el maíz como planta indicadora.

## **2.7. Efecto de los tratamientos sobre los indicadores de la acidez de los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado.**

La Tablas 2.11 y 2.12 muestran el efecto de los organominerales sobre los indicadores de la acidez del suelo para ambos suelos.

El tratamiento 8 es el que ejerce mejor efecto en la disminución de la acidez hidrolítica de ambos suelos como se muestra en las Tablas 2.11 y 2.12, con 3,69 cmol(+).kg<sup>-1</sup> (alto) para el primero, que no difiere estadísticamente de los logrados con los tratamientos 7, 6, 10 y 4, respectivamente; y 3,50 cmol(+).kg<sup>-1</sup> e igual categoría de evaluación, pero en este caso difiere estadísticamente de lo logrado con los tratamientos 10, 7, 5, 6 dentro de la misma categoría de evaluación. Los resultados son similares a los logrados por Aguiar (1997) al utilizar esta combinación en los suelos Ferralíticos rojos y a los logrados por Cabrera y col. (1998) y Cairo (1999) con los minerales en las propiedades del suelo oscuro plástico, de Villa Clara.

**Tabla 2.11.** Efecto de los organominerales sobre los indicadores de la acidez del suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado

Tratamientos	Y <sub>1</sub> (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	Y <sub>2</sub> (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	Al (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )
1.Testigo	4,70a	2,07a	0,20a
2.NPK	4,41b	1,93a	0,16ab
3.Compost	4,27bc	1,64b	0,14bcd
4.Residuo del café	4,07cd	1,51bcd	0,12cd
5.Compost + CF	3,93c	1,20cde	0,11cd
6.Compost + CD	3,81cd	1,11def	0,13bcd
7.Residuo + CF	3,78cd	0,98ef	0,11cd
8.Residuo + CD	3,69d	0,73f	0,10d
9.Caliza dolomítica	4,31bc	1,90ab	0,15bc
10.Caliza fosfatada	3,90cd	1,56bc	0,11cd
Es x	0,09*	0,13*	0,19*
C.V. (%)	2,02	8,85	3,42

(a, b, c, d, e) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey a  $p \leq 0.05$ .

**Tabla 2.12.** Efecto de los organominerales sobre los indicadores de la acidez del suelo Ferralítico rojo lixiviado

Tratamientos	Y <sub>1</sub> (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	Y <sub>2</sub> (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	Al (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )
1.Testigo	5,04a	2,30a	0,86a
2.NPK	4,62ab	1,86b	0,73b
3.Compost	4,50b	1,79c	0,71b
4.Residuo del café	4,04d	1,67d	0,60c
5.Compost + CF	3,83e	1,56e	0,50d
6.Compost + CD	3,82e	1,35g	0,29f
7.Residuo + CF	3,70f	1,36g	0,31f
8.Residuo + CD	3,50g	1,27h	0,20g
9.Caliza dolomítica	4,20c	1,53e	0,50d
10.Caliza fosfatada	3,69f	1,43f	0,38e
Es x	0,35*	0,09*	0,07*
C.V. (%)	1,53	1,43	2,82

(a, b, c, d, e) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey a  $p \leq 0.05$

En el caso de la acidez de cambio se observa en la Tabla 2.11 que los tratamientos que contribuyeron más con su disminución fueron el 8 y el 7, con valores de 0,73 y 0,98 cmol+.kg<sup>-1</sup>, respectivamente, coincidiendo que para el otro suelo (Tabla 2.12) con el tratamiento 8 se disminuye hasta 0,66 cmol+.kg<sup>-1</sup>. Para los dos suelos los tratamientos donde se utilizaron organominerales fueron efectivos en la disminución del aluminio tóxico, a pesar de que se evalúa como de bajo contenido. Los resultados son similares a los logrados por Vizcaíno y García (2002), al utilizar caliza dolomítica y el yeso como alternativas enmendantes de la acidez del suelo; Gines y Mariscal (2004), al expresar que

la cal reduce la acidez del suelo, y elimina la acción tóxica del metal; Salas y col. (2004), al emplear estos minerales naturales logran desplazar el aluminio intercambiable y aumentar el pH, con solo una dosis de 1,5 t.ha<sup>-1</sup>.

## 2.8. Efecto de los tratamientos sobre las variables del crecimiento de las plantas de café trasplantadas para los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado.

En cuanto a las variables del crecimiento de las plantas de café descritos en las Tablas 2.13 y 2.14, se puede apreciar que con el tratamiento 8 se logran los mayores incrementos de peso fresco del tallo y fresco de las raíces, con 2,67 y 6,69 gramos; respectivamente, mientras que para el peso seco de las hojas el mejor tratamiento es el 7 con 8,59 gramos, con diferencias significativas estadísticamente con respecto al resto de los tratamientos (Tabla 2.13), sin embargo, en el otro suelo (Tabla 2.14) el tratamiento 8 es el que logra los mayores incrementos con valores de 2,86; 7,81 y 5,67 gramos de los pesos frescos del tallo; hojas y raíces, respectivamente.

**Tabla 2.13.** Efecto de los organominerales sobre las variables del crecimiento de las plantas de café en estado fresco trasplantadas para el suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado.

Tratamientos	Peso fresco tallo (g)	Peso fresco hoja (g)	Peso fresco raíz (g)
1. Testigo	1,28i	3,29j	2,17g
2. NPK	1,46g	3,88i	2,27fg
3. Compost	1,78f	5,58g	3,21e
4. Residuo del café	2,01d	6,87d	4,39c
5. Compost + CF	2,41c	6,44e	4,32c
6. Compost + CD	1,95e	7,06c	3,67d
7. Residuo + CF	2,47b	8,59a	4,55b
8. Residuo + CD	2,67a	7,35b	6,69a
9. Caliza dolomítica	1,41h	4,72h	2,74f
10. Caliza fosfatada	2,02d	5,80f	3,99cd
Es x	0,06*	0,21*	0,16*
C.V. (%)	4,55	3,48	5,23

(a, b, c, d, e) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey a  $p \leq 0.05$ .

Estos resultados corroboran lo planteado por Mora y col. (1995), al decir que el compost solo o combinado con otros materiales puede incrementar el peso fresco, seco y la altura de las plantas; que pudiera estar relacionado con lo expresado por Cairo (2000), al decir que la materia orgánica aplicada a los suelos conlleva a un mejoramiento de las funciones fisiológicas de las plantas, aspectos con los que coincide Reyes (2002), al estudiar estos

organominerales sobre las propiedades químicas y físicas de un suelo Ferralítico rojo lixiviado en Topes de Collantes y los indicadores del crecimiento del maíz en experimento de macetas.

**Tabla 2.14.** Efecto de los organominerales sobre las variables del crecimiento de las plantas de cafeto en estado fresco trasplantadas para el suelo Ferralítico rojo lixiviado.

Tratamientos	Peso fresco tallo (g)	Peso fresco hoja (g)	Peso fresco raíz (g)
1. Testigo	0,93f	3,81g	2,89i
2. NPK	1,30e	4,35f	2,94h
3. Compost	1,34e	4,83e	2,96h
4. Residuo del café	1,51c	5,37d	4,04e
5. Compost + CF	1,55c	5,69c	4,94d
6. Compost + CD	1,83b	6,39b	4,99c
7. Residuo + CF	1,86b	6,52b	5,38b
8. Residuo + CD	2,86a	7,81a	5,67a
9. Caliza dolomítica	1,51c	4,71e	3,34g
10. Caliza fosfatada	1,42d	5,25d	3,78f
Es x	0,20*	0,06*	0,02*
C.V. (%)	1,23	2,03	1,44

(a, b, c, d, e) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey a  $p \leq 0.05$ .

Las Tablas 2.15 y 2.16 muestran similares evaluaciones, pero relacionadas con los parámetros que determinan la materia seca total de las plantas de cafeto para los dos suelos en estudio. En la Tabla 2.15 se puede apreciar que con el tratamiento 8 se logran los mayores incrementos de peso seco del tallo, raíces y materia seca total con 0,83 ; 2,63 y 5,06 gramos, respectivamente; pero con el tratamiento 7 se logra el mayor peso seco de las hojas (1,81 gramos), con diferencias significativas desde el punto de vista estadístico, con respecto al resto de los tratamientos. Sucede de forma similar para el otro suelo (Tabla 2.16) ya que con el tratamiento 8 se logran los mayores incrementos de los cuatro parámetros evaluados, sin diferencias significativas para el peso seco de las raíces con respecto al tratamiento 9. Para la materia seca total los mejores tratamientos fueron donde se aplicaron las combinaciones de materiales orgánicos con minerales naturales, resultados que están relacionados con lo expuesto por Jaramillo (2002), sobre los beneficios de la aplicación del compost a los suelos y a los cultivos; y Gispert (2003), sobre la necesidad de utilizar recursos locales para garantizar el reciclaje de nutrientes, la sostenibilidad y conservación ambiental de estos ecosistemas.

**Tabla 2.15.** Efecto de los organominerales sobre las variables del crecimiento de las plantas de cafeto en estado seco trasplantadas para el suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado.

Tratamientos	Peso seco tallo (g)	Peso seco hoja (g)	Peso seco raíz (g)	Materia seca total (g)
1. Testigo	0,27g	0,73h	0,86i	1,85i
2. NPK	0,45e	1,03f	1,09g	2,56g
3. Compost	0,51d	1,02f	1,21f	2,74f
4. Residuo del café	0,53d	1,49d	1,65c	3,66d
5. Compost + CF	0,67b	1,48d	1,59d	3,73c
6. Compost + CD	0,55cd	1,53c	1,43e	3,49e
7. Residuo + CF	0,69b	1,81a	2,46b	4,95b
8. Residuo + CD	0,83a	1,61b	2,63a	5,06a
9. Caliza dolomítica	0,39f	0,80g	0,97h	2,15h
10. Caliza fosfatada	0,58c	1,21e	1,57d	3,35e
Es x	0,02*	0,05*	0,73*	0,13*
C.V. (%)	6,75	4,22	2,01	1,63

(a, b, c, d, e) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey a  $p \leq 0.05$ .

**Tabla 2.16.** Efecto de los organominerales sobre las variables del crecimiento de las plantas de cafeto en estado seco trasplantadas para el suelo Ferralítico rojo lixiviado.

Tratamientos	Peso seco tallo (g)	Peso seco hoja (g)	Peso seco raíz (g)	Materia seca total (g)
1. Testigo	0,98h	1,67g	0,30h	2,45i
2. NPK	1,05g	1,26f	0,37g	2,67h
3. Compost	1,73f	1,38e	0,47f	2,96g
4. Residuo del café	1,67d	1,56d	0,52e	3,74e
5. Compost + CF	2,01c	1,79c	0,57d	4,37d
6. Compost + CD	2,19b	1,85c	0,64c	4,68c
7. Residuo + CF	2,24b	2,20b	0,78b	5,21b
8. Residuo + CD	2,84a	2,56a	0,89a	6,29a
9. Caliza dolomítica	1,48e	2,52a	0,49ef	3,48f
10. Caliza fosfatada	1,67d	1,54d	0,53e	3,73e
Es x	0,04*	0,21*	0,02*	0,58*
C.V. (%)	1,19	1,01	2,36	1,78

(a, b, c, d, e) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey a  $p \leq 0.05$ .

Las Tablas 2.17 y 2.18 muestra el efecto sobre la altura y los pares de hojas en dos mediciones realizadas a las plantas de cafeto sobre los dos suelos en estudio. La Tabla 2.17 muestra que con el tratamiento 8 se logra la mayor altura para las plantas y número de pares de hojas en las dos mediciones, con valores de 10,7 cm y 3,5 pares de hojas para la primera medición; 11,7 cm. y 4,5 pares de hojas para la segunda, respectivamente. Estos resultados con el tratamiento 8 son similares a los logrados para el otro suelo (Tabla 2.18), si se comparan con los de la Tabla 2.17, resultados que pudieran estar

relacionados con la mejora en los contenidos de fósforo en el suelo que se muestran en las Tablas 2.9 y 2.10 y lo expuesto por García y Picote (2004) y Dibb (2004), que consideran este nutrimento está involucrado en casi todos los procesos de transferencia de energía de las plantas.

**Tabla 2.17.** Efecto de los organominerales sobre la altura y los pares de hoja de las plantas de cafeto trasplantadas para el suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado en dos mediciones.

Tratamientos	Primera medición		Segunda medición	
	Altura (cm)	Pares de hoja	Altura (cm)	Pares de hoja
1. Testigo	6,4e	2,3c	7,4e	3,4c
2. NPK	6,5e	2,4c	7,5e	3,4c
3. Compost	6,5e	2,5c	7,5e	3,5c
4. Residuo del café	7,9c	3,0b	8,9c	3,5c
5. Compost + CF	8,3b	3,2a	9,3b	3,8b
6. Compost + CD	8,4b	3,4a	9,5b	4,4a
7. Residuo + CF	8,5b	3,4a	9,5b	4,4a
8. Residuo + CD	10,7a	3,5a	11,7a	4,5a
9. Caliza dolomítica	7,4d	2,8b	8,4d	3,8b
10. Caliza fosfatada	7,6d	3,0b	8,7c	4,0b
Es x	0,27*	0,02*	0,46*	0,15*
C.V. (%)	1,47	1,24	4,54	5,55

(a, b, c, d, e) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey a  $p \leq 0.05$ .

**Tabla 2.18.** . Efecto de los organominerales sobre la altura y los pares de hoja de las plantas de cafeto trasplantadas para el suelo Ferralítico rojo lixiviado, en dos mediciones.

Tratamientos	Primera medición		Segunda medición	
	Altura (cm)	Pares de hoja	Altura (cm)	Pares de hoja
1. Testigo	5,6c	1,83cd	7,0c	2,83g
2. NPK	5,9c	1,83cd	7,5bc	3,50f
3. Compost	6,2bc	2,33c	7,7abc	3,67ef
4. Residuo del café	6,3bc	3,00b	8,0abc	4,17d
5. Compost + CF	7,3a	2,33c	9,2ab	4,50c
6. Compost + CD	7,0ab	3,50ab	9,2ab	4,17d
7. Residuo + CF	7,3a	3,50ab	10,2ab	5,14b
8. Residuo + CD	7,7a	3,67a	10,7a	6,17a
9. Caliza dolomítica	5,7c	1,33d	7,2bc	3,83e
10. Caliza fosfatada	6,2bc	3,17ab	7,8abc	3,83e
Es x	0,12*	0,12*	0,12*	0,23*
C.V. (%)	11,18	17,57	10,58	10,64

(a, b, c, d, e) medias con letras no comunes en una misma columna difieren por Tukey a  $p \leq 0.05$ .

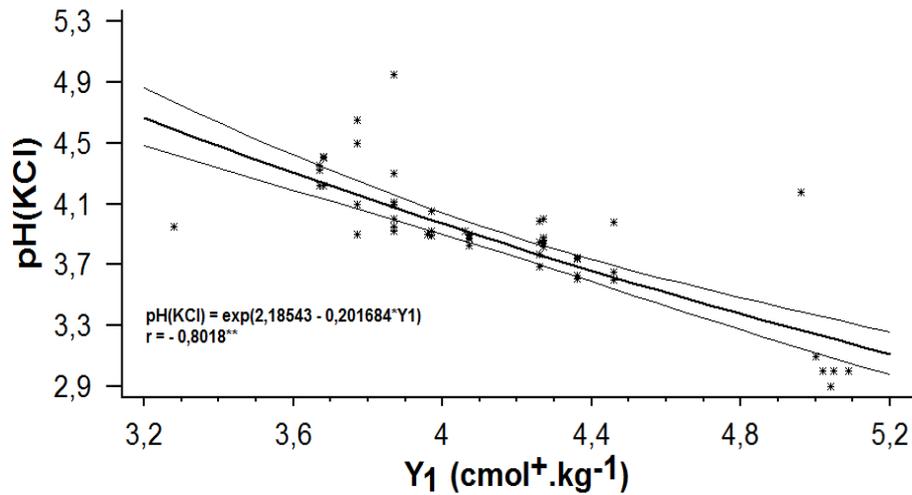
## **2.9. Estudio de las correlaciones entre las propiedades químicas de los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado y entre estas con las variables del crecimiento de las plantas de cafeto.**

En las Tablas 1 y 2 del Anexo 2 se resaltan las relaciones entre las propiedades de los dos suelos en estudio con los indicadores del crecimiento de las plantas de cafeto que alcanzan coeficientes de correlación superiores a 0,70\*\* y con nivel de significación del 99%.

Los resultados de la Tabla 1 indican que las propiedades que lograron alcanzar mayor número de correlaciones una con respecto al resto (15) incluyendo las variables del crecimiento de las plantas fueron: el pH(agua), 13 (86,66%); pH(KCl), 13 (86,66%); materia orgánica, 11 (73,33%); acidez de cambio, 11 (73,33%) y acidez hidrolítica, diez (66,66%). Mientras que en la Tabla 2 fueron: K<sub>2</sub>O asimilable, 14 (93,33%); acidez hidrolítica, 13 (86,66%); acidez de cambio, 13 (86,66%); aluminio tóxico, 13 (86,66%); el pH(agua), 12 (80%) y pH(KCl), 12 (80%), respectivamente. De esta forma se da respuesta a lo planteado por Cairo (2001), sobre la necesidad de estudiar las relaciones entre las propiedades que se evalúan a los suelos cuando se aplica en ellos organominerales.

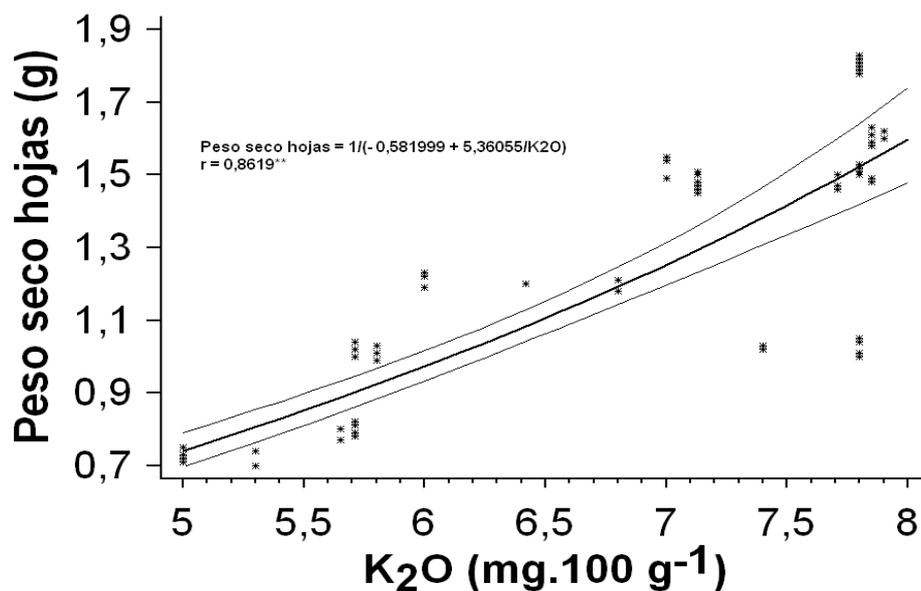
Las Figuras 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 y 2.8 muestran las relaciones entre las propiedades del suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado y de éstas con el peso seco de la planta indicadora con mayor coeficiente de correlación alcanzado.

En la Figura 2.3 se puede apreciar como las distintas variantes utilizadas tiene un efecto marcado en la disminución de la acidez del suelo, fundamentalmente donde se utilizan los minerales naturales combinados con los abonos orgánicos, demostrado por la relación negativa existente entre la acidez hidrolítica y el pH(KCl) ( $r = - 0,8018^{**}$ ), que pudiera estar relacionado con los contenidos de calcio que tienen los minerales naturales y de esta forma se da respuesta a lo planteado por Gomero y Vázquez (2004), sobre la necesidad de disminuir la degradación del suelo por concepto de acidificación, toxicidad del aluminio y manganeso.



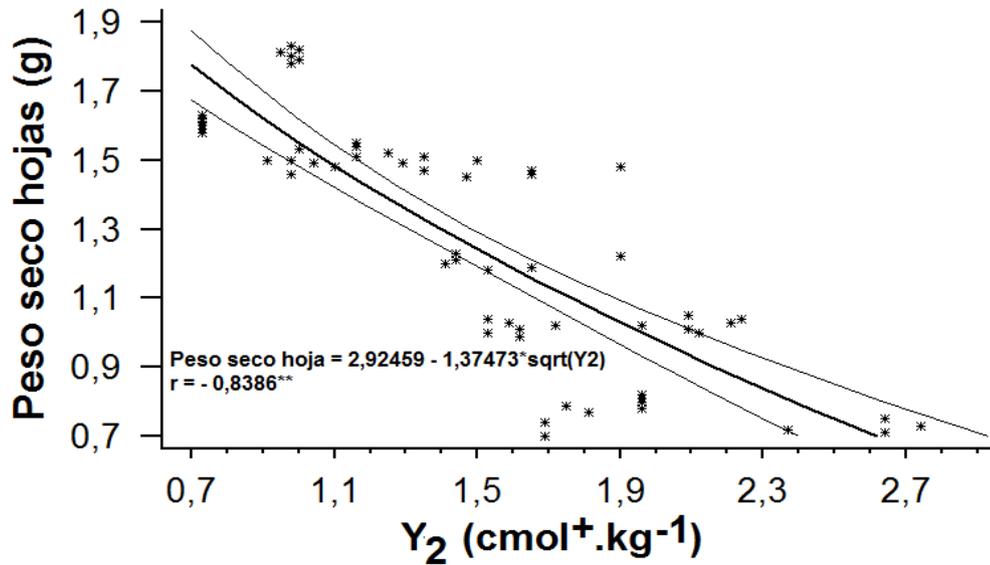
**Figura 2.3.** Relación entre la acidez hidrolítica y el pH(KCl) del suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado

La Figura 2.4 muestra la relación positiva entre potasio asimilable y el peso seco de las hojas, indicando que los tratamientos que incidieron en el incremento del primero, favorecieron el incremento del peso seco de las hojas, con  $r = 0,8619^{**}$ . De esta manera se corrobora lo planteado por De Rojas y Comerma (2004), sobre la posibilidad de generalizar prácticas agronómicas tendientes a mejorar la potencialidad del suelo para disminuir en los suelos ácidos su degradación, al ser pobres en nutrimentos.

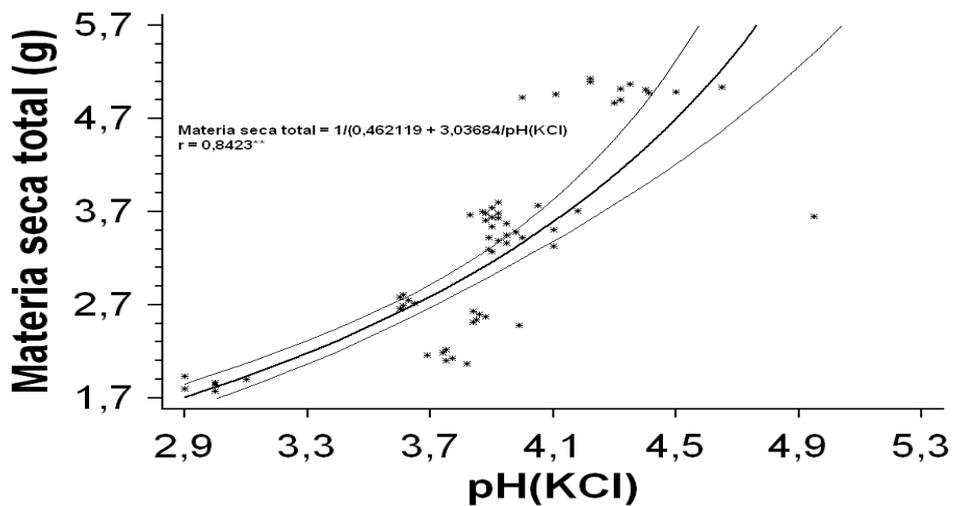


**Figura 2.4.** Relación entre potasio asimilable del suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado y el peso seco de las hojas

Los resultados más relevantes están relacionados con la disminución de la acidez de cambio del suelo y el incremento del peso seco de las hojas con los organominerales, Figura 2.5, con  $r = -0,8386^{**}$  y con el incremento del pH(KCl) y el aumento de la materia seca total (Figura 2.6), con un  $r = 0,8423^{**}$ .



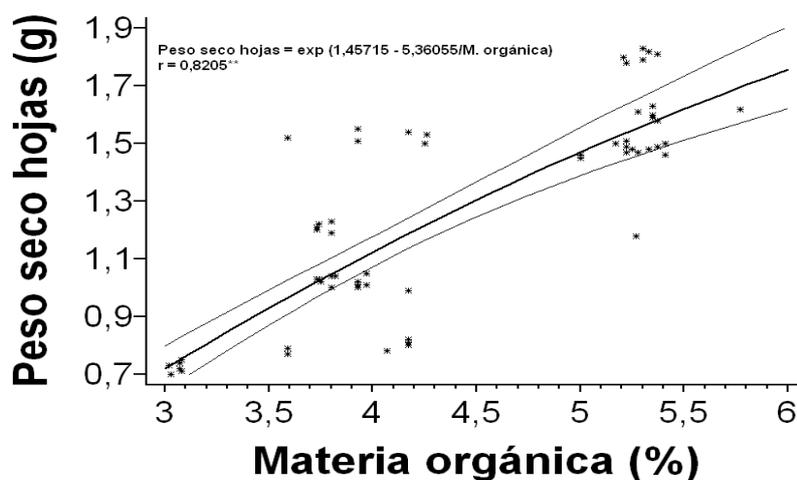
**Figura 2.5.** Relación entre la acidez de cambio del suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado y el peso seco de las hojas



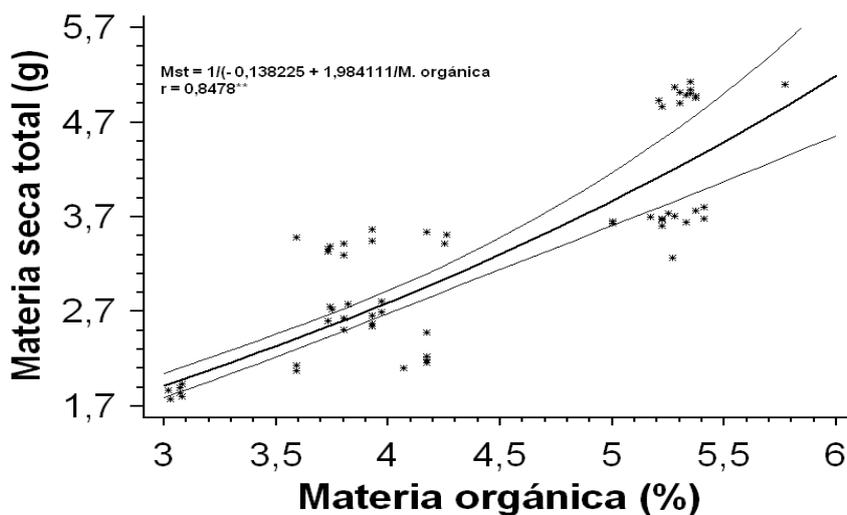
**Figura 2.6.** Relación entre el pH(KCl) del suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado y la materia seca total

Se destaca que al favorecer el incremento del porcentaje de materia orgánica se obtuvo un efecto positivo sobre el peso seco de las hojas de las plantas de café y la materia seca total, resultado relacionados con lo expuesto por Cairo (2000), cuando plantea que la

materia orgánica ayuda al buen enraizamiento de la planta, al existir un buen contacto entre las raíces y el suelo, además de conllevar a un mejoramiento de las funciones fisiológicas como se muestra en las figuras 2.7 y 2.8 con coeficientes de correlación  $r$  de 0,8206\*\* y 0,8478\*\*, respectivamente. El estudio de las correlaciones entre las propiedades del suelo por el efecto en los indicadores del crecimiento de las plantas de café con la aplicación de los organominerales, se relaciona con lo planteado por Gispert (2003), al referir que es necesario buscar la forma de estudiar otras técnicas que den la posibilidad de obtener producciones económicas sin dañar el medio ambiente, fundamentalmente en las zonas montañosas.



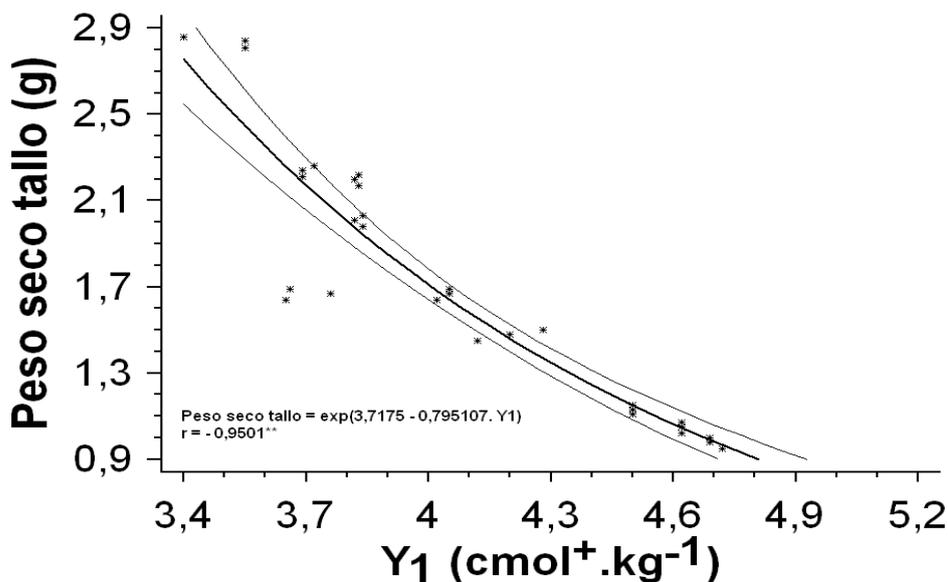
**Figura 2.7.** Relación entre la materia orgánica del suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado y el peso seco de las hojas



**Figura 2.8.** Relación entre la materia orgánica del suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado y la materia seca total

Las Figuras 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13 y 2.14 muestran las relaciones entre las propiedades del suelo Ferralítico rojo lixiviado y los indicadores del crecimiento de las plantas de café con mayor coeficiente de correlación alcanzado.

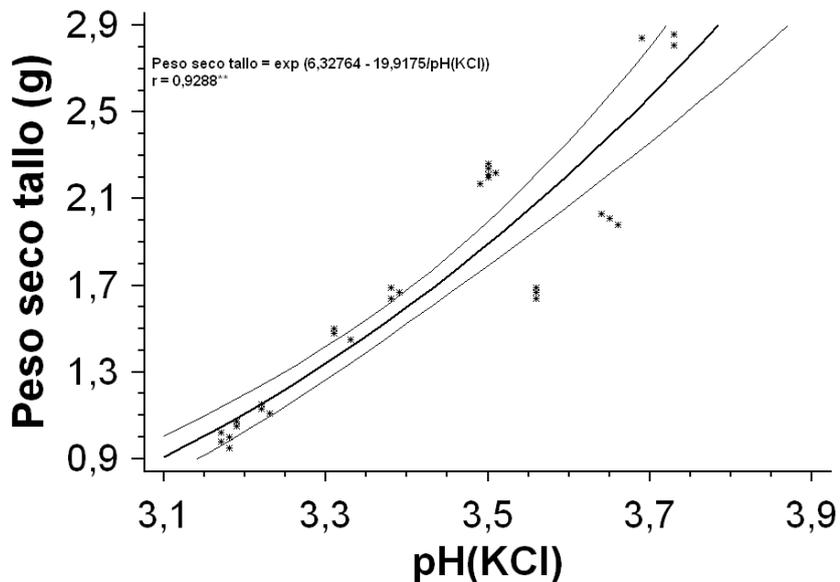
En la Figura 2.9 se puede apreciar como las distintas variantes utilizadas tiene un efecto marcado en la disminución de la acidez del suelo, fundamentalmente donde se utilizan los minerales naturales combinados con los abonos orgánicos, demostrado por la relación negativa existente entre la acidez hidrolítica y el peso seco del tallo de las plantas de café ( $r = -0,9501^{**}$ ), lo que está relacionado con los contenidos de calcio que tienen los minerales naturales y vinculado con lo planteado por Gines y Mariscal (2004), al expresar que la cal reduce la acidez del suelo, al incrementar  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  hasta valores de 5,5 y convertir parte de los hidrogeniones en agua, el aluminio se puede precipitar como  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , lo que elimina la acción tóxica del metal.



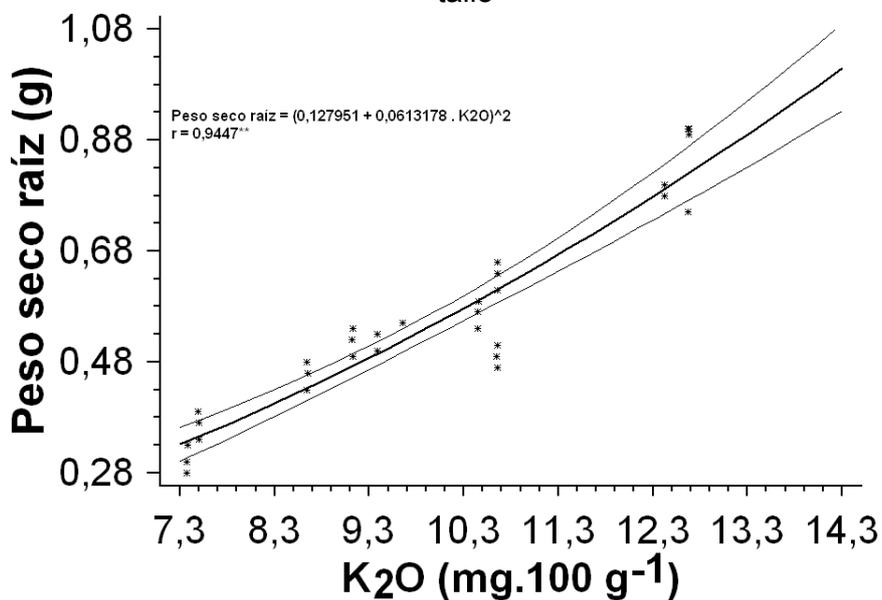
**Figura 2.9.** Relación entre la acidez hidrolítica del suelo Ferralítico rojo lixiviado y el peso seco del tallo

La Figura 2.10 muestra también que los tratamientos utilizados en esta experiencia contribuyeron a minimizar la degradación del suelo por concepto de acidificación, al incrementar el  $\text{pH}(\text{KCl})$  del suelo, y por ende el peso seco del tallo de las plantas de café, demostrado por el valor  $r = 0,9288^{**}$ . Resultados que coinciden con Rodríguez y Pérez (1999) al aplicar diferentes fuentes minerales demostrando que pueden mejorar las características químicas del suelo aumentando el  $\text{pH}$ , así como el contenido de fósforo y materia orgánica lo que trae como consecuencia un mejor crecimiento de la planta.

En la Figura 2.11 se observa que aquellos tratamientos que contribuyeron al incremento del potasio asimilable, también se corresponden con los incrementos del peso seco de la raíz, es decir, que este nutrimento tiene una estrecha relación positiva con este indicador de las plantas de cafeto, con un valor  $r = 0,9447^{**}$  de la ecuación que explica dicho fenómeno.

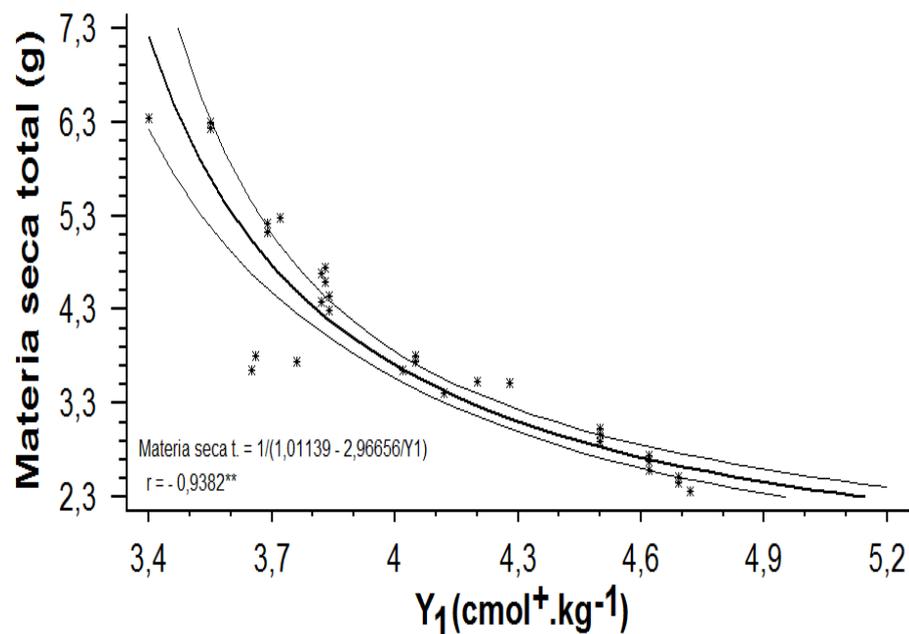


**Figura 2.10.** Relación entre el pH(KCl) del suelo Ferralítico rojo lixiviado y el peso seco del tallo



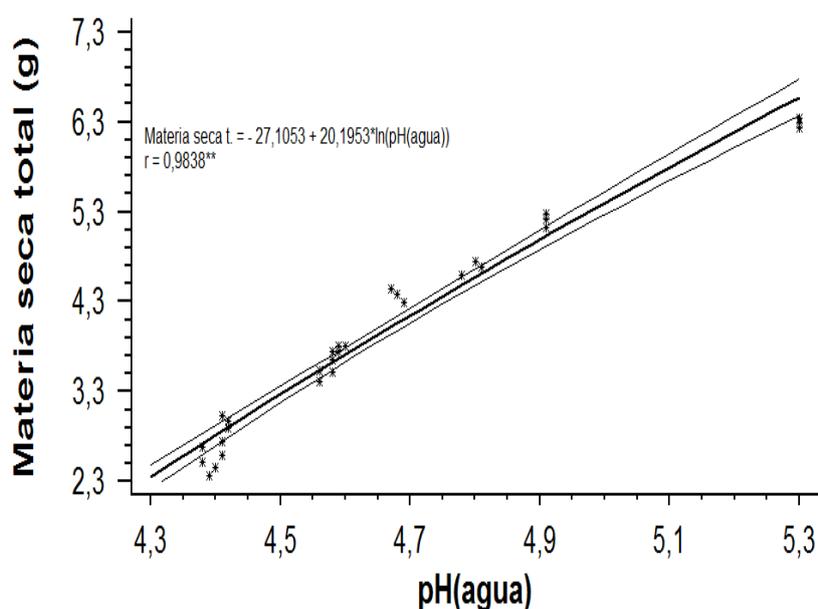
**Figura 2.11.** Relación entre el potasio asimilable del suelo Ferralítico rojo lixiviado y el peso seco de la raíz

La Figura 2.12 muestra que los tratamientos que incidieron de forma positiva en la disminución de la acidez hidrolítica del suelo, también lo hacen para el incremento de la materia seca total de las plantas de café, con un valor de  $r = -0,9382^{**}$ . Los resultados son positivos si se tiene en cuenta que Hernández y col. (1999), consideran la fijación del fósforo como uno de los factores limitantes de este suelo y Jaramillo (2002), considera que en los suelos ácidos hay una alta fijación de este elemento que lo lleva a formar compuestos completamente insolubles.



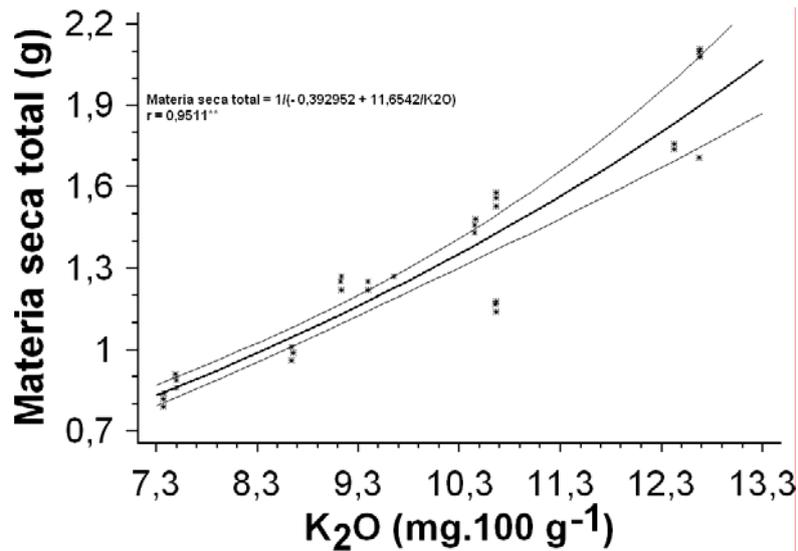
**Figura 2.12.** Relación entre la acidez hidrolítica del suelo Ferralítico rojo lixiviado y la materia seca total.

Otro de los aspectos a señalar es la relación positiva que existe entre el pH(agua) y la materia seca total de las plantas de café evaluadas (Figura 2.13), ya que los materiales enmendantes utilizados contribuyeron a la disminución de la acidez tan marcada del suelo, demostrado por el incremento del pH, lo que trajo consigo un aumento de dicho indicador del crecimiento, con un valor  $r = 0,9838^{**}$ . Los resultados son similares a los alcanzados por Cabrera y col. (1998) y Cairo (1999), con el uso de los minerales naturales utilizados en esta investigación en algunos trabajos en condiciones de maceta en suelos oscuros plásticos de Villa Clara y muestran la manera de evitar lo expuesto por Fixen (2004), al decir que en los suelos ácidos se forman fosfatos insolubles de hierro y aluminio, por lo que el fósforo está menos disponible.



**Figura 2.13.** Relación entre pH(agua) del suelo ferralítico rojo lixiviado y la materia seca total

En la Figura 2.14 se puede observar que los tratamientos que incidieron de forma positiva en el incremento del potasio asimilable del suelo, también lo hacen en el incremento de la materia seca total de las plantas se cafeto, con un valor de  $r = 0,9511^{**}$ . Este estudio sobre el uso de distintas alternativas para el mejoramiento de las características degradativas que presenta este suelo se sustenta en estudios como los de Alonso y Carrobello (2002), que han dado a conocer que los problemas de degradación de los suelos son aun más dramáticos en zonas montañosas, y corroboran los planteamientos hechos por Astier (2002), al decir que es imprescindible poner en práctica sistemas de manejo más sustentables para el mantenimiento y la restauración de los suelos y frenar la pérdida de tierras, suelo y biodiversidad con el desarrollo de sistemas más eficientes desde el punto de vista nutricional.



**Figura 2.14.** Relación entre potasio asimilable del suelo ferralítico rojo lixiviado y la materia seca total

### 2.10. Análisis económico de los resultados

En la tabla 2.19 los menores costos los presentaron los tratamientos 1, 9 y 10 con un costo unitario de 0,1668; 0,1892 y 0,1892 CUP respectivamente, en el caso de tratamiento uno el costo es menor por ser este el control donde solo se utilizó suelo, el costo general por planta producida en el ensayo fue de 0,1886 CUP. Y el mayor costo (0,2031 CUP) fue el tratamiento donde se emplearon los fertilizantes inorgánicos debido a los altos precios de los mismos. Los resultados de la comparación costo/beneficio que se muestra en la Tabla (2.20) por cada tratamiento, a partir del precio de venta de posturas de café a productores según el GEAM (2011) a nivel de vivero equivalente a 1,49 CUP se aprecia que en todos los tratamientos donde se aplicaron los abonos orgánicos y minerales naturales solos o combinados se obtuvo un mayor beneficio si se compara con el control NPK.

**Tabla 2.19.** Análisis económico del costo unitario (U\$) por planta

ACTIVIDADES	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Total General
Plantas por tratamiento	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	250
<b>COSTOS FIJOS</b>											
Limpia del área	0,02	0,02	0,021	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,211
Cargar y descargar tierra	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	4,046
Cernir tierra	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	2,156
Carga y desc. de fert. orgánico e inorgánico	0,00	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	3,615
Transportación orgánico e inorgánico	0,00	0,022	0,022	0,022	0,022	0,0220	0,022	0,0220	0,0220	0,0220	0,198
Preparación de mezcla	0,0000	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	1,199
Corte y preparación de estacas	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,0334	0,334
Transporte de estacas	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,055
Carga y descarga de estacas	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,054
Construcción de canteros	0,0406	0,0406	0,0406	0,0406	0,0406	0,0406	0,0406	0,0406	0,0406	0,0406	0,406
Construcción de zanja de drenaje	0,0297	0,0297	0,0297	0,0297	0,0297	0,0297	0,0297	0,0297	0,0297	0,0297	0,297
Llenado de bolsas	1,9797	1,9797	1,9797	1,9797	1,9797	1,9797	1,9797	1,9797	1,9797	1,9797	19,797
Siembra semilla café	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	4,144
Atenciones culturales	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	6,521
Costo de semilla certificada	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	2,400
Costo bolsa de polietileno	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	1,300
<b>SUB TOTAL</b>	<b>4,172</b>	<b>4,729</b>	<b>46,733</b>								
<b>COSTOS VARIABLES</b>											
UREA (46% N)	0,00	<b>0,169</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,169
S.F.T. (46% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,00	<b>0,045</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045
KCl (60% K <sub>2</sub> O)	0,00	<b>0,135</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,135
Caliza fosfatada	0,00	0,000	0,000	0,000	<b>0,003</b>	0,000	<b>0,003</b>	0,000	0,000	<b>0,003</b>	0,009
Caliza dolomítica	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	<b>0,002</b>	0,000	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	0,000	0,006
Compost	0,00	0,000	<b>0,007</b>	0,000	<b>0,007</b>	<b>0,007</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021
Residuo del beneficio húmedo	0,00	0,000	0,000	<b>0,016</b>	0,000	0,000	<b>0,016</b>	<b>0,016</b>	0,000	0,000	0,048
<b>SUB TOTAL</b>	<b>0,000</b>	<b>0,349</b>	<b>0,007</b>	<b>0,016</b>	<b>0,010</b>	<b>0,009</b>	<b>0,019</b>	<b>0,018</b>	<b>0,002</b>	<b>0,003</b>	<b>0,433</b>
<b>TOTAL COSTO (para 25 plantas)</b>	<b>4,1720</b>	<b>5,0781</b>	<b>4,736</b>	<b>4,745</b>	<b>4,739</b>	<b>4,738</b>	<b>4,748</b>	<b>4,747</b>	<b>4,732</b>	<b>4,732</b>	<b>47,1671</b>
<b>COSTO UNITARIO POR PLANTA</b>	<b>0,1668</b>	<b>0,2031</b>	<b>0,1894</b>	<b>0,1898</b>	<b>0,1896</b>	<b>0,1895</b>	<b>0,1899</b>	<b>0,1898</b>	<b>0,1892</b>	<b>0,1892</b>	<b>0,18866</b>

Fuente: carta tecnológica viveros de café, Empresa Agropecuaria Trinidad, 2011.

**Tabla 2.20.** Relación costo/beneficio

INDICADORES	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Costo unitario por planta	0,166881	0,203125	0,189419	0,189784	0,189552	0,189485	0,189917	0,189850	0,1892256	0,189292
Precio del producto (una postura)	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49
Beneficio neto unitario	1,323118	1,286874	1,300580	1,300215	1,300447	1,300514	1,300082	1,300149	1,300774	1,300707
Rentabilidad sobre venta	7,93	6,34	6,87	6,85	6,86	6,84	6,84	6,84	6,87	6,87

Fuente: Ficha de costo del Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña (GEAM, 2011)

### **3. CONCLUSIONES**

1. Los tratamientos que mostraron tener el mejor efecto sobre las propiedades químicas de los suelos fueron: residuo más caliza dolomítica, residuo más caliza fosfatada, compost más caliza fosfatada y compost más caliza dolomítica.
2. Se logran los mayores incrementos en las variables del crecimiento de las plantas de cafeto con los tratamientos donde se aplicaron los abonos orgánicos mezclados con los minerales naturales.
3. El establecimiento de relaciones cuantitativas entre las propiedades químicas de los suelos estudiados demostró que el mayor número de correlaciones coincidentes corresponde al pH (H<sub>2</sub>O), pH (KCl), acidez hidrolítica y acidez de cambio.
4. En todos los tratamientos donde se aplicaron los abonos orgánicos y minerales naturales solos o combinados se obtuvo una mayor rentabilidad con respecto al control.

#### **4. RECOMENDACIONES**

1. Aplicar para la producción sostenible de posturas de cafeto de la variedad Villalobos sobre los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado de Topes de Collantes los tratamientos donde se utilizaron las combinaciones de los abonos orgánicos con los minerales naturales.
2. Desarrollar estudios similares a la presente investigación utilizando otras variedades de café promisorias para la localidad Topes de Collantes.
3. Validar los resultados de la investigación en condiciones de plantación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agro. (2000). Reacción y encalado del suelo. Cap. 2.  
<http://www.agropecstar.com/portal/doctos/agronomia2.htm>
- Aguiar, J. (1997). Aplicación de fuentes minerales y compost en dos suelos de importancia agrícola de la Provincia Villa Clara. TD. Fac. CA UCLV. P. 35
- Altieri, M. A. (1994). Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. Agricultura técnica, 54(4), 371-386.
- Alonso, I. y Carrobello, C. (2002). Una mirada hacia abajo. Bohemia, 13, 24-32
- Anónimo (2005). Guía Metodología del café orgánico.  
[http://www.infomipyme.com/Docs/HN/Offline/Sectores\\_Productivos/GuiaMetodologicaCafeOrg.pdf](http://www.infomipyme.com/Docs/HN/Offline/Sectores_Productivos/GuiaMetodologicaCafeOrg.pdf)
- Anónimo (2011). Características de la variedad Villalobos. <http://spanish.alibaba.com/product-free/coffee-seed-villalobos-259856797.html>
- Antunez, Cristina. (1999). Efecto del residual sólido de café sobre las propiedades de un suelo. Trabajo de Diploma. Facultad de Agronomía de las Montañas del Escambray. UCLV. P. 70.
- Astier, C. M., M. Mass - Moreno y B. J. Etchevers. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. Agrociencia. 36 605-620.
- Bautista, Angélica; J. Etchevers; R. F. del Castillo y C. Gutiérrez. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. Ecosistemas. <http://www.aeet.org/ecosistemas/revision2.htm>.
- Bolland, M. y R. Gilkes. (2003). The relative effectiveness of superphosphate and rock phosphate for soils where vertical and lateral leaching of phosphate occurs. Nutrient Cycling in Agroecosystems. Informaciones Agronómicas INPOFOS, 53, 13.
- Bertsch, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. San José. Costa Rica, A.C.C.S., 157 p.
- Cabrera, M. T. (1998b). Estudio de la aplicación de diferentes fuentes minerales y compost en un suelo Ferralítico Rojo (Trabajo temático productivo. N° 119. Sector II). Santa Clara, Cuba: Empresa Geominera del Centro.
- Cabrera, M., G. Espinosa. y B. Cubrias. (1998). Comportamiento de la dolomita y fosforita en cuanto al rendimiento de la habichuela Cantón, en condiciones de organopónicos. Informe: Trabajo temático productivo. N°119. Empresa Geominera del Centro. p- 74-75.

- Cabrera, R. A. y Libia Bouzo. (1999). Fundamentos técnicos económicos para el uso de fertilizantes y enmiendas en la caña de azúcar. (SERFE). Curso. 1. INICA. P.16-22.
- Cairo, P. (1999). Estudio de niveles de aplicación de la dolomita y su interacción con fertilizantes y abonos orgánicos. CIAP. Proyecto Investigación.
- Cairo, P. (2000). Alternativas para el mejoramiento de los suelos para el cultivo de la caña. *Agricultura Orgánica*, 14(2), 23-25.
- Cairo, P. (2000). Compartimiento de la roca fosfórica como mejoradora de suelos. Comunicación personal. Dr. Cs.
- Cairo, P. (2001). La fertilidad física del suelo y la agricultura orgánica en el trópico. UCLV. 138 p.
- Cairo, P. I.; Machado, J. F.; Reyes, A. y Manes, Ana Belkis. (2004). El guamo (*Inga vera* Willd.) como control de la acidificación de los suelos en sistemas agroforestales bajo café. *Centro Agrícola*. No. 1 - 2. 118 - 120.
- Cairo, P. y O. Fundora. (1994). *Edafología*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Calero B., Rodríguez M., Morales A., Martínez F., Morejón L. (2009). Biodegradabilidad de mezclas de caliza fosfatada con abonos orgánicos en un suelo ácido. *Cultivos Tropicales*. vol.30 no.3 La Habana .  
[:http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362009000300008&lng=en&nrm=iso&ignore=.html](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000300008&lng=en&nrm=iso&ignore=.html)
- Cantera V. F., Darío E., Muñoz F., Montoya E., Herrera J., Loy J. (2008). Selección de la Mejor Alternativa para la Industrialización de la Roca Fosfórica en el departamento de Hula. [http://www.huila.gov.co/documentos/E/estudio\\_roca\\_fosforica.pdf](http://www.huila.gov.co/documentos/E/estudio_roca_fosforica.pdf)
- Castillo, J. y G. Moreno. (1988). La Variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del cafeto. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Cenicafé: Chinchina, Caldas. Colombia. pp: 19-20.
- Carvajal, J. (1984). *Cafeto, cultivo y fertilización*./ J.F. Carvajal-Berna: Ed, Instituto Internacional de la Potasa. 254 p. (falta ciudad)
- Carta tecnológica (2009). Cultivo del café tipo vivero en umbráculos para 100000 posturas.
- CIMMYT (2011). **Manual metodológico de evaluación económica**. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, 54 p.

- Condrón, L. y K. Cameron. (2000). **A comparison of soil and environmental quality under organic and conventional farming systems in New Zealand**. New Zealand Journal of Agricultural Research. 43(4): 443-446.
- Colás, Arianis.; Cairo, P. I.; Torres, P.; Reyes, A.; Díaz, B.; Dávila, A.; Rodríguez, Oralia; Abreu, Inés; Jiménez, R. (2006). **Evaluación de la degradación de los suelos de la región central de Cuba**. En: VI Congreso Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo (16: 2006 mar. 8 - 10: La Habana). Memorias. CD-RoM. Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. ISBN 959-7023-35-0.
- Comité Técnico de Normalización No 3. (2000). Calidad del suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y de los cationes del suelo. Norma cubana 65:10 p.
- Comité Técnico de Normalización No 3. (1999b). Calidad del suelo - análisis químico - y determinación del porcentaje de materia orgánica. Norma cubana 51:9 p.
- Comité Técnico de Normalización No 3. (1999<sup>a</sup>). Calidad del suelo. Determinación del pH. Norma cubana ISO 10390:11 p.
- Comité Técnico de Normalización No 3. (1999). Calidad del suelo. Determinación del pH y la conductividad eléctrica en el extracto de saturación. Norma cubana 72:8 p.
- Comité Técnico de Normalización No 3. (1999). Calidad del suelo. Determinación de las formas móviles de fósforo y potasio. Norma cubana 52:12 p.
- Crespo, G., Rodríguez, I., Ortiz, J., Torres, V. y Cabrera, G. (2002). Contribución al conocimiento del reciclaje de los nutrientes en el sistema suelo-pasto-animal en Cuba. La Habana: ICA.
- De Rojas, I. y J. Comerma. (2004). Caracterización de los suelos ácidos de Venezuela basada en algunas propiedades físicas y químicas. FONAIAP. Venezuela. <http://www.redpav-fpolar.info.ve/agrotrop/v35-3/v353a008.htm>.
- De Rojas, I. (2002). Evaluación de métodos químicos para determinar requerimientos de cal en suelos ácidos del país. Agronomía Tropical. CENIAP - Sección suelos Maracay-Venezuela. <http://www.redpav-fpolar.info.ve/agrotop/v24-4/v244a002.html>.
- Dibb, D. (2004). ¿Se está agotando el fósforo para la producción agrícola? Revista Informaciones Agronómicas. INPOFOS. Quito Ecuador. No 54: 1-2.
- Dittoh, Saa. (2000). Manejo sostenible de la fertilidad del suelo: Lecciones aprendidas de la investigación en acción". Revista LEISA. Perú. No1-2, 15: 51-52.
- F.A.O. (2007). "Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible", ISBN, 9789253050307. Job Number, Y5053/S. Número en series, 13 Boletines FAO.

- Fernández, J. A., García, I. y Martínez, F. (2003). Constituyentes del suelo. Fase sólida. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España. Tomado de: <http://www.edafologia.urg.es>. (Consultado: 15 de marzo del 2004).
- Fernández, S. y R. Noguera. (2001). Producción de fosfatos técnicos a partir de rocas fosfóricas. Maracaibo, Venezuela. 7 p. (le falta la editorial).
- Felipe - Morales, Carmen. (2004). Concepción y manejo del suelo en la Agroecología. <http://www.ciedperu.org/bae/b64c.htm>.
- Fundora, O. y Yepis, Olga. (2000). *Ahorro de fertilizantes y prevención de la contaminación ambiental*. Trabajo presentado en Forum Provincial de Ciencia y Técnica (Villa Clara), Santa Clara, Cuba.
- Fixen, P. (2004). Dinámica del fósforo en el suelo y en el cultivo con relación al manejo de los fertilizantes fosfatados. Tomado de: [http://www.inpofos.org/ppiweb/ltamn.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/68153a5e80e11d9c05256d58005bb04a/\\$FILE/Dinamica%20del%201%C3%B3foro.pdf](http://www.inpofos.org/ppiweb/ltamn.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/68153a5e80e11d9c05256d58005bb04a/$FILE/Dinamica%20del%201%C3%B3foro.pdf). (Consultado: 15 de diciembre del 2004).
- Fundora, O. (2005). Influencia de la fertilización NPK sobre el incremento de la materia orgánica del suelo. Comunicación personal con A. Reyes 12/8/2005.
- Fundora, O.; J. Machado y N. Arzola. 1994. La fertilidad del suelo y su manejo. Informe de resultado. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV.
- García, F. y L. I. Picote. (2004). Fósforo. Dinámica y manejo en Sistemas de sombra directa. Revista Informaciones Agronómicas. INPOFOS. Quito. Ecuador. No 55. pag.1-4.
- GEAM. (2011). Instrucciones técnicas para el cultivo del café.
- Gines, I. y I. Mariscal. (2004). Actuación de los fertilizantes sobre el pH del suelo. Tomado 12 de diciembre, de <http://www.fertiberia.com/informacion-fertilizacion/articulos/nutrientes-fertilizantes/pHfertilizantessuelo.htm>
- Gispert, J.(2003). Influencia de la enmienda cálcico - magnésica en la producción y calidad de pradera natural de montaña con suelos ácidos. Revista ITEA. Zaragoza, España. Vol. 99. No 2. 196-207 p.
- Gómez, Lida; A. Fernández y A. Blanco. (2004). Respuesta del Plátano (*Musa sp.*) a la fertilización con abonos orgánicos de la industria cafetalera. XIV Congreso Científico. Programas y Resúmenes. INCA. La Habana. 78 p

- Gomero, L. y Vázquez, H. (2004). Bases conceptuales y programáticas para el manejo ecológico del suelo. Tomado 15 de noviembre, 2004, de <http://www.cledperu.org/bae/bae71/b71b.htm>
- González, C., Sánchez C. y Rodríguez E. (2005). Alternativas para la nutrición órgano-mineral en la producción de posturas de café en suelo fersialítico del macizo montañoso Guamuaya. Centro Agrícola, año 32, no. 2, abr.-jun. pág 47
- Goya, Sonia Alejandra. (1998). Propuesta para mejoramiento de la fertilidad de los suelos en el municipio Manicaragua. T. M. Fac. Ca UCLV. p. 80.
- Guerrero, V. (1999). Fertilidad, conservación y manejo de los suelos. Manual para Promotores Comunitarios. Centro de Capacitación Campesina
- Hernández, A.; A. Cabrera; M. Ascanio; Marisol Morales; L. Rivero; N. Martín; J. Baisre y E. Frómata. (1999). Nueva versión de clasificación de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura. Ciudad Habana. CUBA. 64 p.
- Hipólito, M. (2000). Acidificación del suelo: ¿Mito o Realidad?. Revista LEISA. Boletín de ILEIA para la agricultura sostenible de bajos insumos externos. Lima, Perú. Vol.15. No 1-2. 24 p.
- Izquierdo, J.; Rodríguez A. y A. Nodals. (2005). Enfocando una agricultura orgánica sostenible frente al desafío de la mega-urbanización en América Latina y el Caribe. <http://biblioteca.idict.villaclara.cu/UserFiles/File/ciencia/292.pdf>.
- Jaramillo, D. F. (2002): Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia. 613 pp. Facultad de Ciencias, Medellín, Colombia.
- John, Clara María.; Martha. Velásquez; A. Vantour, F. Rivero y A. Reyes. (2006). [Mapping](#), ISSN 1131-9100, N° 114, 2006, pags. 91-96.
- King, L. D. (1990). "Sustainable soil fertility practices". Ch. 5 in: Sustainable agriculture in temperate zones. C. a. Francis, C. G. Flora y L. D. Kong .New York.144 - 177.
- Kolmans, E. y D. Vásquez. (1996). Manual de Agricultura Ecológica: Una introducción a los principios básicos y su aplicación. MAELA-SIMAS. . . 19-34, 87-106. (falta la ciudad)
- Kolmans, E. y D. Vásquez. (2001). Manual de Agricultura Ecológica: Programa Agroecológico. Campesino a Campesino. ANAP. Villa Clara. 12, 59 p.

- León, L. A. (1991). La experiencia del Centro Internacional para el Desarrollo de Fertilizantes en el uso de rocas fosfóricas en América Latina Facultad de Agronomía (Maracay) 17. 49 –66.
- Lezcano - Ferrat, I. (2000). Cal Agrícola. Conceptos básicos para la producción de cultivos. [http://www.cal\\_agricola.pdf](http://www.cal_agricola.pdf).
- López, A. (1997). El mejoramiento de la agricultura mediante la biodegradación controlada de los residuos agroindustriales. Servitecnia, S. A. Costa Rica (En prensa).
- Lovato, P. E. y W. Schmidt. (2006). Agroecología e sustentabilidade no meio rural. Experiencias e reflexoes de agentes de desenvolvimento local. Ed. Chapecó.151p.
- Malavolta, E. (1986). Nutricao, adubaacao e calagem para o cafeeiro. En: Cultivo do cafeeiro, factores que afetam a produtividades. Rio de Janeiro y Associacao Brasileira do Potassa, 447 p.
- Martínez, F., B. Calero, E. Calderón, M. Valera y J. Ticante. (2001). Transformación de los restos orgánicos en los suelos y su impacto ambiental. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la ciencia del suelo. En Soporte electrónico. Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. Cuba. 230 p
- Mesa ,A.;Colon , C.;Tremul,J. Suárez.O, (1984) Manual de interpretación de suelos . La Habana :Editorial Científico- Tecnico.
- Millar, C. E.; L. M. Turk.; H. D. Fath. (1962). Edafología. Fundamentos de la ciencia del suelo 3<sup>ra</sup> edición. Compañía Editorial Continental, S.A. México. P. 612\_ Montesinos, C. 1998. La fertilidad en la agricultura orgánica. Chile Agrícola. 235:247-251.
- Ministerio de la agricultura .Resolucion No:448 /2012 Anexo VI yVII
- Montesinos, C. (1998). La fertilidad en la agricultura orgánica. Chile Agrícola. 235:247-251.
- Moreno, R. y Castillo, Z. (1984). La variedad Colombia. Una variedad de café con resistencia a la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Cenicafé. Caldas, Colombia: 25 p.
- Moreno, J. M. (2002). Modificaciones estructurales de suelos ferralíticos rojos bajo diferentes manejos. Tesis de Maestría en Ciencias del Suelo. Universidad Agraria de la Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez". Facultad de Agronomía.
- Mora, R.; M. Mesa y J. Pérez. (1995). Estudio de la aplicación de dosis de compost y fertilizantes minerales en suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar (Ferralítico Cuarcítico amarillo rojizo lixiviado) en condiciones controladas. Trabajo Investigativo. Fac. CA. UCLV.

- Núñez, F., Roselia Fraga, Zaida Jova y Antonia Suárez. (1994). Algunos de los minerales que se pueden ofertar para investigaciones en la agricultura. Empresa Geólogo minera del Centro. Grupo de Agrominerales. 50p.
- Obando, L. (1994). Cultivo y fertilización del café. Dirección Nacional de Café y Cacao. MINAG, Cuba. 58 p.
- Osejo, L. (2001). Abono combinado beneficia los cafetales. <http://www.ni.laprensa.com.ni/cronologico/2001/enero/18/economia-20010118-07.htm1>.
- Pantoja L., C; Villota M., M y Santacoloma O., D.( 1985). Manual metodológico del proceso de ajuste de tecnología agrícola. ICA, Tibaitatá, Bogotá, Colombia. (Documento de Trabajo 01-6-231-86). p. 145.
- Pérez, R. y M. Mury. (2004). Plan de fertilización para rendimientos oportunos en el cultivo del café. <http://www.disagro.com/cafe/cafe1.htm>.
- Pengue, W. A. (2005). Agricultura industrial y transnacionalización en América Latina. ¿La transgénesis de un continente? Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental No.9. 220p. ISBN 968-7913-34-7.
- Pentón, G., G. Gutiérrez, J. Grant, y J. Rivero. (1993). Elementos básicos para la tecnología del café. Dirección. Nacional de Café y Cacao. MINAG. La Habana. 13 p.
- Peñaloza, D.; M. Mescallado y Marilene Hipolito. (2000). Reconstruyendo la Fertilidad del suelo. Revista LEISA. Vol. 15, No 1-2. 25-26 p
- Piccolo, G., L. Gioffré, C. Pascali, O. Heredia y E. Ciarlo. (2002). Fracciones del fósforo orgánico edáfico en agroecosistemas. Estación Experimental Agropecuario Cerro Azul. Informe técnico. No 77. INTA, Argentina, 11p
- Picado J., Añasco A. (2005). Preparación y uso de Abonos Orgánicos Sólidos y Líquidos.<http://www.see-barinas.gob.ve/manosalasiembra/descargas/pdfs/abonos.pdf>
- Ponce de León, D. y C. Balmaceda. (2003). El recurso suelo en el cultivo de la caña de azúcar. Publicación electrónica. Departamento de riego y drenaje. Ciencias del suelo. La Habana. 157 p.
- Primavesi, Ana. (1996). Recuperación del suelo. Revista hoja a hoja. CETEC. Paraguay. (falta volumen y número)
- Pujol, R. L., Zamora, Maria y F. Bonilla. (2004). Estudio de impacto ambiental del cultivo y procesamiento del café. Programa de desarrollo urbano sostenible. Universidad de Costa Rica. San José de Costa Rica.

<http://www.mideplar.go.cr/sinades/PUBLICACIONES/cambio-actitud/Articulo%20caso%20del20cafe.htm>.

- Rena, B. y M. Maestri. (1986). Fisiología do cafeeiro. Cultura do cafeeiro: factores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Potassa e do Fosfato, 447 p.
- Reyes, A.; Cairo, P. I.; Machado, J. F.; Fundora, O.; Manes, Ana Belkis; Almaguer, J.; León, J. y Vasallo, L. (2006). Estudio del efecto de niveles de residuo del beneficio húmedo del café en un suelo ferralítico rojo amarillento lixiviado. En: VI Congreso Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo (16: 2006 mar. 8 - 10: La Habana). Memorias. CD-RoM. Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. ISBN 959-7023-35-0.
- Reyes, A.; Cairo, P. I.; Machado, J. F.; Manes, Ana Belkis y Almaguer, J. (2004). Estado de las propiedades químicas de un suelo ferralítico rojo lixiviado de montaña y su relación con los distintos sistemas agroforestales establecidos (I). Centro Agrícola. No.1 - 2. 49 - 55.
- Reyes, A.; Cairo, P. I.; Machado, J. F.; Manes, Ana Belkis y Almaguer, J. (2005). Estado de las propiedades físicas de un suelo ferralítico rojo lixiviado de montaña y su relación con los distintos sistemas agroforestales establecidos (III). Centro Agrícola. No. 1. 5 - 10.
- Reyes, A.; Cairo, P. I.; Machado, J. F.; Manes, Ana Belkis; Almaguer, J. y Faldraga, D. P. (2004). Comportamiento de los indicadores degradativos de fertilidad de un suelo Ferralítico rojo lixiviado de montaña y su relación con los distintos sistemas agroforestales establecidos (II). Centro Agrícola. No. 3 - 4. 56 - 62.
- Reyes, A.; Cairo, P. I.; Machado, J.; Fundora, O.; Ríos, C.; Manes, Ana Belkis; Reyes, J.; Quesada, J. E.; Lino, G. y Domínguez, L. (2007). Efecto de los diferentes sistemas agroforestales sobre algunos indicadores de la fertilidad de un suelo ferralítico rojo amarillento lixiviado de Tope de Collantes. Parte I. Centro Agrícola, 34(3): 5-9; julio-sept. ISSN:0253-5785
- Reyes, A.; Cairo, P. I.; Machado, J.; Fundora, O.; Ríos, C.; Manes, Ana Belkis; Almaguer, J.; Quesada, J. E. y Rodríguez, Y. (2007). Efecto de los diferentes sistemas agroforestales sobre los indicadores de la acidez de un suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado de la localidad de Topes de Collantes. Parte II. Centro Agrícola, 34(3): 11-16; julio-sept. ISSN:0253-5785.

- Reyes, A.; Cairo, P. I.; Machado, J.; Fundora, O.; Ríos, C.; Manes, Ana Belkis; Almaguer, J.; Quesada, J. E. y Rodríguez, Y. (2007). Efecto de los diferentes sistemas agroforestales sobre el estado de las propiedades físicas de un suelo ferralítico rojo amarillento lixiviado de la localidad de Topes de Collantes. Parte III. Centro Agrícola, 34(4): 49-54; oct.-dic. ISSN:0253-5785.
- Reyes, A. (2006). Indicadores de calidad del suelo en áreas cafetaleras de Topes de Collantes. Tesis de Doctorado. INCA.
- Reyes, A.; Manes, Ana Belkis; Almaguer, J.; Cairo, P. I. y Machado, J. F. (2002). Efecto del residuo del beneficio húmedo del café, del compost del propio residuo y de minerales naturales sobre las propiedades de un suelo ferralítico rojo lixiviado de montaña. *Café y Cacao*. No. 2. 70 - 72.
- Rivera, R. (1992). Metodología para calcular los requerimientos de nutrientes y dosis de fertilizantes para el cafeto. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana. 29 p.
- Rivera, R. (1999). Nutrición y fertilización del *Coffea arabica* (L) en Cuba. Capítulo VI. En: El cultivo del cafeto en Cuba. Investigaciones y resultados. INCA. La Habana. 368 p.
- Rodríguez, D. L. y L. Pérez. (1999). Efecto integral de minerales y compost en suelo Oscuro plástico. T.C. Fac. C. A. UCLV. P. 16. S.A. Barcelona. P. 736.
- Romera, M. P. y L. Guerrero (2004). Agricultura Ecológica. Tomado 7 de enero, 2005, de <http://www.canalellaverdad.es/canalagro/datos/agriculturaecologica/agriculturaecologica09.htm>
- Ruiz, J. (1998). Particularidades de la formación y uso agrícola de los suelos del macizo montañoso Nipe - Sagua - Baracoa. Tesis de Doctor. Ciudad de la Habana. 103 p.
- Salas, J., M. Morros y A. Quiróz. (2004). "Pensaba que en este suelo ya no se podría sembrar nada, no salía ni monte". *Revista de Agroecología, LEISA*. Editorial LEISA. Lima Perú. Vol.19, No 4. 14-16 p.
- Sánchez C. M. (2006). Enmiendas calizas - corrección de suelos ácidos. <http://www.engormix.com/MA-agricultura/soja/articulos/enmiendas-calizas-correccion-suelos-t950/415-p0.htm>
- Sevilla, E. (2007). Agroecología y agricultura ecológica: hacia una "re" construcción de la soberanía alimentaria. *Agroecología (Murcia, España)* No. 1, pp.1-18.
- Suárez de Castro, F. (1983). Valor de la pulpa de café como abono. *Boletín Informativo, ISIC\_ (El Salvador)*, suplemento No 5.

- Torres, P. (2003). La caliza fosfatada, una alternativa para el mejoramiento de los suelos pesados de la costa norte de Villa Clara. Tesis de Maestría. UCLV
- Valencia, G. (1995). Nutrición y fertilización del cafeto. En R. Guerrero. Fertilización del cultivo en clima medio. Barranquilla. Monómeros Colombo Venezolanos S. A. 262 p.
- Vázquez, L. L. (2004). El manejo agroecológico de la finca como estrategia para la prevención y disminución de afectaciones por plagas agrarias. Ed. ACTAF. La Habana. 121p.
- Vázquez, L. L. (2006). Manejo Agroecológico de Plagas. Tema 1. Tendencias y percepciones acerca del manejo de plagas en la producción agraria sostenible. Ed. CIDISAV (Ciudad de La Habana). 31p. ISBN: 959-7194-08-2. Noviembre.
- Vicente, C. (2003). Origen de la materia orgánica. Tomado 7 de abril, 2004, de <http://www.terralia.com>
- Vilariño, Susana. (2000). Alternativas para el mejoramiento de los suelos Pardos con carbonatos con el uso de minerales naturales y abonos orgánicos. Tesis presentada en opción al título de Master en Agricultura Sostenible. UCLV
- Vizcaino, C. y M. García. (2002). Efecto de la aplicación de yeso y de yeso + caliza en las formas de aluminio extraíble de unos suelos ácidos. Departamento de suelos. Centro de Ciencias Medio Ambientales, CSIC, Serrano 115, dup.28006-Madrid, España. Edafología. Volumen 7-3. Septiembre 2000. Pág. 227-239. <http://www.edafologia.org.es/Revista/tomo7tr/a227v7tt.htm>.
- Zamora, L. (2000). Un enfoque para cafcultura sostenible en Costa Rica. Boletín 86. PROMECAFE. IICA. Honduras. 9-14 p.

## ANEXO 1

Características de los suelos Ferralítico rojo amarillento lixiviado y Ferralítico rojo lixiviado de la localidad Topes de Collantes.

**Tabla 1.** Propiedades químicas y físicas del suelo Ferralítico rojo amarillento lixiviado

Propiedades	Perfil 1 (prof. 110 cm) m = 12 %				Perfil 2 (prof. 160 cm) m = 35 %			
	0 - 20	20 - 35	35 - 57	57+	0-13	13-44	44-89	89+
pH(H <sub>2</sub> O)	5,52	4,87	4,68	4,72	5,08	5,03	5,14	5,04
pH (KCl)	4,02	3,43	3,02	3,34	3,75	3,70	3,58	3,30
Materia orgánica (%)	2,45	1,17	1,05	0,98	3,96	2,46	1,72	1,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg.100 g <sup>-1</sup> )	3,55	2,42	3,55	2,90	5,16	4,35	4,16	4,16
K <sub>2</sub> O (mg.100 g <sup>-1</sup> )	8,42	7,13	5,00	2,80	7,13	2,80	2,00	2,80
Y <sub>1</sub> (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	7,13	4,50	10,20	7,50	6,00	5,63	9,31	18,00
Y <sub>2</sub> (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	2,76	3,00	10,13	6,00	1,32	2,64	9,00	14,63
Al cambiante (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	0,16	0,14	4,06	0,43	0,40	0,37	3,04	8,00
Saturación de Al (%)	2,14	2,69	56,90	16,41	7,78	6,37	46,98	71,94
Ca (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	4,80	2,40	2,00	1,60	2,80	2,80	1,60	1,60
Mg (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	2,00	2,40	0,80	0,40	1,60	2,40	1,60	1,20
K (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	0,28	0,14	0,11	0,07	0,18	0,11	0,07	0,07
Na (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	0,25	0,12	0,16	0,12	0,16	0,12	0,16	0,25
Relación Ca/Mg	2,40	1,00	2,50	4,00	1,75	1,16	1,00	1,33
Valor T (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	10,00	6,80	11,20	8,40	8,40	8,40	10,40	18,40
Valor S (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	7,33	5,06	3,07	2,19	4,74	5,43	3,43	3,12
Valor V (%)	73,30	74,41	27,41	26,07	56,42	64,64	32,98	16,95
Agregados estables (%)	36,17	38,41	37,56	39,71	37,41	39,21	39,91	27,72
Factor de estructura (%)	58,70	62,20	72,00	71,00	60,29	59,00	71,20	53,00
Permeabilidad (log 10 K)	2,03	1,51	1,15	1,71	1,79	1,67	1,24	1,55
Límite Superior (% H.b.s.s)	41,44	37,67	40,27	46,76	43,42	53,30	52,90	51,45
Límite Inferior (% H.b.s.s)	21,34	24,16	22,27	23,23	27,43	24,91	26,62	20,53
Índice de plasticidad	20,01	13,50	18,00	23,53	15,99	28,39	26,28	30,92
Arena fina (%)	33,47	28,77	23,46	26,94	21,97	35,44	14,05	26,34
Arena gruesa (%)	3,23	3,27	3,49	13,33	5,12	4,15	4,76	6,35
Limo (%)	27,06	26,11	33,53	24,64	36,63	10,45	50,44	35,86
Arcilla (%)	36,24	41,84	39,52	35,09	36,28	49,96	30,74	31,45
Arcilla + Limo (%)	63,30	67,95	73,05	59,73	72,91	60,41	81,18	67,31
Limo/Arcilla	0,746	0,624	0,848	0,702	1,009	0,209	1,640	1,140

**Tabla 2.** Propiedades químicas y físicas del suelo Ferralítico rojo lixiviado

Propiedades	Perfil 12 (prof. 144 cm) m = 23 %				Perfil 13 (prof. 187cm) m = 40 %				
	0-24	24-41	41-76	76+	0-20	20-40	40-62	62-125	125+
pH(H <sub>2</sub> O)	4,25	4,23	4,75	4,35	4,47	5,00	4,85	4,94	5,12
pH (KCl)	3,23	3,12	2,79	2,73	3,66	3,19	3,06	3,05	3,78
Materia orgánica (%)	3,73	1,01	1,21	1,29	2,15	1,61	1,72	1,01	0,90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg.100 g <sup>-1</sup> )	8,21	7,42	5,81	7,42	7,42	5,35	5,16	5,01	5,01
K <sub>2</sub> O (mg.100 g <sup>-1</sup> )	7,85	2,00	2,00	2,80	9,28	2,00	2,80	2,00	2,00
Y <sub>1</sub> (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	23,74	19,92	18,67	21,38	9,00	11,25	12,38	9,75	5,25
Y <sub>2</sub> (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	10,50	9,00	11,63	17,50	3,98	9,72	12,38	2,93	4,00
Al cambiable (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	0,36	2,72	10,06	5,17	0,30	3,68	5,30	0,14	0,10
Saturación de Al (%)	8,20	51,61	81,53	66,28	4,00	44,28	60,08	6,91	7,19
Ca (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	2,00	1,60	1,60	1,60	4,80	2,40	1,60	0,40	0,40
Mg (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	2,00	0,80	0,80	0,80	2,40	2,00	0,80	0,80	0,80
K (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	0,14	0,07	0,07	0,07	0,14	0,07	0,07	0,07	0,07
Na (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	0,12	0,08	0,12	0,16	0,16	0,16	0,25	0,21	0,41
Relación Ca/Mg	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,20	2,00	0,50	0,50
Valor T (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	3,60	9,60	17,20	19,20	13,20	12,40	14,00	8,80	7,20
Valor S (cmol(+).kg <sup>-1</sup> )	4,26	2,55	2,59	2,63	7,50	4,63	2,72	1,48	1,68
Valor V (%)	31,32	26,56	15,05	13,69	56,81	37,33	19,42	16,81	23,33
Agregados estables (%)	37,12	38,19	39,12	39,72	36,20	38,76	37,71	25,76	35,59
Factor de estructura (%)	63,33	66,17	70,16	55,25	59,14	70,26	71,10	65,10	50,88
Permeabilidad (log 10 K)	2,35	1,64	1,04	1,64	1,36	1,59	1,29	1,35	1,53
Límite Superior (% H.b.s.s)	34,80	40,74	31,41	33,36	45,67	44,39	42,82	33,09	49,36
Límite Inferior (% H.b.s.s)	22,36	24,34	23,62	26,03	23,44	25,11	22,48	24,02	27,72
Índice de plasticidad	12,24	16,40	7,79	7,31	22,23	19,28	20,34	9,07	21,64
Arena fina (%)	55,95	55,02	55,66	52,25	59,60	59,74	60,12	55,17	47,47
Arena gruesa (%)	10,88	10,26	10,18	16,99	11,06	5,94	10,86	11,93	7,13
Limo (%)	17,02	15,50	15,20	15,26	13,44	5,94	12,34	8,30	18,40
Arcilla (%)	16,14	19,22	18,96	15,50	15,90	28,38	16,68	24,60	27,00
Arcilla + Limo (%)	33,16	34,72	34,16	30,76	29,34	34,32	29,02	32,90	45,40
Limo/Arcilla	1,054	0,806	0,801	0,984	0,845	0,209	0,739	0,37	0,681

## ANEXO 2

**Tabla 1.** Matriz de correlaciones entre las propiedades químicas del suelo Ferralítico rojo amarfillento lixiviado y los indicadores del crecimiento de las plantas

Indicadores		P. fresco tallo	P. fresco hoja	P. fresco raíz	P. seco tallo	P. seco hoja	P. seco raíz	Materia seca total	pH(agua)	pH(KCl)	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>
Peso fresco hoja	C. de P.	0,881(**)													
	Sig.	0,000													
Peso fresco raíz	C. de P.	0,925(**)	0,794(**)												
	Sig.	0,000	0,000												
Peso seco tallo	C. de P.	0,967(**)	0,826(**)	0,921(**)											
	Sig.	0,000	0,000	0,000											
Peso seco hoja	C. de P.	0,903(**)	0,947(**)	0,792(**)	0,856(**)										
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000										
Peso seco raíz	C. de P.	0,922(**)	0,857(**)	0,918(**)	0,913(**)	0,871(**)									
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000									
Materia seca total	C. de P.	0,957(**)	0,915(**)	0,910(**)	0,941(**)	0,945(**)	0,981(**)								
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000								
pH(agua)	C. de P.	0,767(**)	0,709(**)	0,720(**)	0,818(**)	0,736(**)	0,720(**)	0,767(**)							
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000							
pH(KCl)	C. de P.	0,783(**)	0,739(**)	0,718(**)	0,829(**)	0,766(**)	0,744(**)	0,792(**)	0,987(**)						
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000						
Materia Orgánica	C. de P.	0,852(**)	0,784(**)	0,799(**)	0,808(**)	0,814(**)	0,799(**)	0,835(**)	0,725(**)	0,731(**)					
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000					
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C. de P.	0,674(**)	0,757(**)	0,523(**)	0,674(**)	0,720(**)	0,670(**)	0,713(**)	0,685(**)	0,711(**)	0,563(**)				
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000				
K <sub>2</sub> O	C. de P.	0,813(**)	0,867(**)	0,733(**)	0,785(**)	0,820(**)	0,716(**)	0,788(**)	0,626(**)	0,639(**)	0,719(**)	0,611(**)			
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			
Y <sub>1</sub>	C. de P.	-0,775(**)	-0,785(**)	-0,714(**)	-0,815(**)	-0,800(**)	-0,719(**)	-0,788(**)	-0,818(**)	-0,841(**)	-0,696(**)	-0,636(**)	-0,653(**)		
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
Y <sub>2</sub>	C. de P.	-0,807(**)	-0,764(**)	-0,761(**)	-0,816(**)	-0,836(**)	-0,796(**)	-0,842(**)	-0,748(**)	-0,771(**)	-0,720(**)	-0,616(**)	-0,645(**)	0,781(**)	
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Al	C. de P.	-0,680(**)	-0,637(**)	-0,620(**)	-0,692(**)	-0,668(**)	-0,619(**)	-0,670(**)	-0,724(**)	-0,728(**)	-0,687(**)	-0,662(**)	-0,540(**)	0,695(**)	0,675(**)
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

C. de P. - Correlación de Pearson

N = 60

**Tabla 2.** Matriz de correlaciones entre las propiedades químicas del suelo Ferralítico rojo lixiviado y los indicadores del crecimiento de las plantas de cafeto.

INDICADORES		Peso fresco tallo	Peso fresco raíz	Peso fresco hoja	Peso seco tallo	Peso seco raíz	Peso seco hoja	Materia Seca Total	pH (agua)	pH (KCl)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MO (%)	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>
Peso fresco raíz (g)	C. de P.	0,851(**)													
	Sig.	0,000													
Peso fresco hoja (g)	C. de P.	0,944(**)	0,956(**)												
	Sig.	0,000	0,000												
Peso seco tallo (g)	C. de P.	0,912(**)	0,976(**)	0,975(**)											
	Sig.	0,000	0,000	0,000											
Peso seco raíz (g)	C. de P.	0,931(**)	0,944(**)	0,975(**)	0,960(**)										
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000										
Peso seco hoja (g)	C. de P.	0,940(**)	0,954(**)	0,972(**)	0,969(**)	0,988(**)									
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000									
Materia seca Total (g)	C. de P.	0,940(**)	0,972(**)	0,983(**)	0,992(**)	0,988(**)	0,992(**)								
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000								
pH (agua)	C. de P.	0,965(**)	0,933(**)	0,963(**)	0,964(**)	0,961(**)	0,982(**)	0,979(**)							
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000							
pH (KCl)	C. de P.	0,769(**)	0,872(**)	0,855(**)	0,907(**)	0,813(**)	0,835(**)	0,875(**)	0,820(**)						
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000						
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg.100 g <sup>-1</sup> )	C. de P.	0,513(**)	0,630(**)	0,586(**)	0,651(**)	0,681(**)	0,659(**)	0,664(**)	0,607(**)	0,500(**)					
	Sig.	0,004	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005					
K <sub>2</sub> O (mg.100 g <sup>-1</sup> )	C. de P.	0,840(**)	0,896(**)	0,885(**)	0,913(**)	0,939(**)	0,936(**)	0,934(**)	0,896(**)	0,770(**)	0,763(**)				
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000				
Materia Orgánica	C. de P.	0,523(**)	0,765(**)	0,697(**)	0,666(**)	0,737(**)	0,711(**)	0,699(**)	0,599(**)	0,644(**)	0,471(**)	0,723(**)			
	Sig.	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000			
Y <sub>1</sub> (cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup> )	C. de P.	-0,762(**)	-0,885(**)	-0,870(**)	-0,917(**)	-0,869(**)	-0,850(**)	-0,894(**)	-0,828(**)	-0,865(**)	-0,806(**)	-0,855(**)	-0,620(**)		
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
Y <sub>2</sub> (cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup> )	C. de P.	-0,775(**)	-0,873(**)	-0,857(**)	-,906(**)	-,876(**)	-,855(**)	-0,891(**)	-0,849(**)	-0,749(**)	-0,800(**)	-0,914(**)	-0,565(**)	0,935(**)	
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	
Al (cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup> )	C. de P.	-0,777(**)	-0,889(**)	-0,868(**)	-0,916(**)	-0,880(**)	-0,861(**)	-0,900(**)	-0,856(**)	-0,763(**)	-0,781(**)	-0,907(**)	-0,571(**)	0,937(**)	0,997(**)
	Sig.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000

**Nota.** \*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). Nota. C. de P. significa Correlación Pearson. N = 30