



# FOSFATASA ÁCIDA AFECTADA POR LA APLICACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS EN UN *Typic Melanudands* DEL CAUCA

Isabel Bravo✉, Libardo Ante, Camilo Arboleda

Universidad del Cauca,  
Grupo de Agroquímica,  
Calle 5#4-70 Popayán  
Cauca.

✉:  
[ibravo@unicauca.edu.co](mailto:ibravo@unicauca.edu.co)

**Palabras clave:** Abono orgánico, AFA, calentamiento global, materia orgánica, suelo.

## RESUMEN

La actividad de la fosfatasa ácida (AFA) permite hacer seguimiento a la mineralización y disponibilidad del fósforo en el suelo y es un importante indicador bioquímico impactado por actividades agrícolas. La fuerte acidez y deficiencia de fósforo de Andisoles Caucaños, impulsa el encalamiento y aplicación de fertilizantes y abonos orgánicos, afectando en forma progresiva la calidad biológica derivada del alto contenido de materia orgánica (MO). En este trabajo se evaluó el efecto de un abono orgánico (lombricompost) sobre la calidad del suelo mediante un indicador bioquímico, la actividad de la fosfatasa ácida (AFA) en un *Typic Melanudands* del Departamento del Cauca, Colombia, dedicado al cultivo de café. Se caracterizaron diferentes propiedades físicas y químicas del suelo y del abono. Para evaluar dicho efecto, se aplicó un diseño factorial de bloques con 16 tratamientos generados a partir de dos dosis de abono con dos testigos x 4 tiempos de incubación, con tres réplicas por tratamiento, utilizando el método en paralelo. Se evaluó la actividad de la fosfatasa ácida (AFA) en un período de tres meses en forma mensual, mediante el método reportado por Tabatabai, (1994) al cual se le hicieron algunas modificaciones. La AFA del abono fue significativamente superior (entre 1.3 y 1.6 veces) a la del suelo, en los primeros 60 días. El rango de pH entre 5.0 y 6.8 se considera adecuado para la AFA, se encontraron cambios significativos en la AFA del suelo aplicado con lombricompost que indican fuertes cambios en la actividad biológica del suelo.

## ACID PHOSPHATASE AFFECTED BY THE APPLICATION OF ORGANIC MANURES ON A *Typic Melanudands* OF CAUCA

**Key words:** Organic manure, APA, global warming, organic matter, soil

SUELOS  
ECUATORIALES  
43 (1): 53-60

ISSN 0562-5351

## ABSTRACT

The acid phosphatase activity allows monitoring the mineralization and availability of phosphorus in the soil and is an important biochemical indicator impacted by agricultural activities. The strong acidity and phosphorus deficiency of Andisols Caucaños, promotes liming and application of fertilizers and organic manures, progressively affecting the biological quality resulting from high organic matter (OM). In this work the effect of organic manure (vermicompost) on soil quality using a biochemical indicator, the acid phosphatase activity (APA) was evaluated in a *Typic Melanudands* Department of Cauca, Colombia, dedicated to coffee crop. Different physical and chemical soil and manure properties were characterized. To evaluate this effect, a factorial block design applied with 16 treatments generated from two doses of manure with two witnesses x 4 incubation times, with three replicates per treatment, using the method in parallel. The activity of acid phosphatase (APA) was evaluated in a three-month period on a monthly basis by the method reported by Tabatabai (1994) which were made some modifications. The AFA of manure was significantly higher (between 1.3 and 1.6 times) to the soil, in the first 60 days. The pH range between 5.0 and 6.8 is considered appropriate for the AFA, significant changes were found in the soil AFA vermicompost applied indicating large changes in soil biological activity.

## INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo tiene un rol decisivo en el balance global del carbono, considerado como el factor más influyente en el calentamiento global, por aporte o reducción de gases efecto invernadero, sin embargo, es un componente dinámico que ejerce influencia en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, su gestión en la agricultura es una posibilidad más para la reducción de estos gases (Robert M, 2002, Garbisu *et al.*, 2007; Pretty J. *et al.*, 2001). Los Andisoles, son suelos que acumulan grandes capas de materia orgánica (MO) con escasa mineralización, generada por la fuerte acidez, asociada a la presencia de alófanos (Bravo *et al.*, 2007., Mosquera *et al.*, 2007), su acumulación provoca a su vez más acidez e incrementa la MO fresca, que puede emitir gases efecto invernadero, como lo demuestran varios autores (Pretty 2001, Robert, 2002; Xuyang *et al.* 2008, Saugier & Pontailier, 2006; Garbisu *et al.*, 2007; Xuyang & Genwei, 2008; Rivero C. 2001); la aplicación de grandes y repetidas dosis de abonos orgánicos además pueden incrementar esta fracción de la MOS. Sin embargo, los cambios en el contenido de MO no son detectables a corto plazo, y por esta razón, algunas propiedades bioquímicas pueden ser empleadas como un gran indicador de cambios a corto plazo, por su gran sensibilidad aún a débiles modificaciones.

La aplicación de abonos orgánicos puede ocasionar serios cambios en la actividad de enzimas como las fosfatasa ácidas que contribuye en la mineralización de la MO y suministro de fósforo requerido por las plantas. En consecuencia, la evaluación de la actividad enzimática de la fosfatasa ácida puede ser utilizada como una herramienta bioquímica sensible e inmediata para evaluar a corto plazo el impacto del manejo agrícola del suelo sobre su calidad, permitiendo tomar correctivos a tiempo y evitando su daño irreparable (Tabatabai *et al.*, 1994., Acosta *et al.*, 2000., Scheneider *et al.*, 2001., García *et al.*, 2003., Borivoj, 2003., Contreras *et al.*, 2005., Garbisu *et al.*, 2007., Torres y Lizarazo, 2007., Trasar *et al.*, 2008). En el Departamento del Cauca se ha venido implementando el sistema de manejo orgánico de los cultivos, con aplicación de grandes y repetidas dosis de abonos orgánicos, sustituyendo los fertilizantes químicos, lo que puede conducir a una mayor emisión de gases efecto invernadero a la

atmósfera y puede ocasionar serios cambios en la actividad de enzimas como las fosfatasa.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de un lombricompost sobre la actividad de la fosfatasa ácida en un suelo *Typic Melanudands* dedicado al cultivo de café en el municipio de Cajibío, departamento del Cauca, Colombia, cuyos suelos son de gran valor biológico por su alto contenido de MO. La información obtenida en este estudio es importante para optimizar el manejo del suelo, contribuir al conocimiento del funcionamiento de este tipo de suelos en relación a los procesos biológicos implicados y promover el uso de bioindicadores que permitan evaluar el efecto potencial de diferentes manejos agrícolas sobre el calentamiento global.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción de la zona y suelos en estudio

El suelo estudiado está ubicado en la Vereda Aurelia, localizado a 2° 37' 32" N y 76° 34' 03" O, en el municipio de Cajibío, Departamento del Cauca (Colombia), a 1740 m.s.n.m., con una precipitación, promedio anual, de 1500 mm y 19°C. Los suelos se clasifican como Andisoles, *Typic Melanudands* (IGAC, 2009), están dedicado al cultivo *Coffea arabica* desde hace más de veinte años con presencia abundante de helecho, plátano y limón tahití, se ha tratado con fertilización tradicional y en los dos últimos años se ha venido utilizando abonos orgánicos para su tratamiento en cantidades superiores a 5 Ton por hectárea.

### Muestreo y caracterización de suelos.

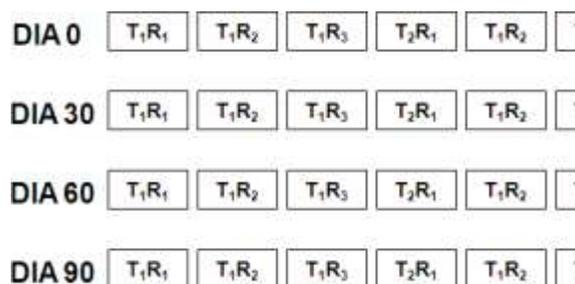
Se seleccionó una unidad de muestreo de 1 hectárea, en el lote de terreno (parcela) dedicada a cultivo de café, *Coffea arabica*, las muestras de suelo fueron tomadas en el horizonte A, a una profundidad de 0 - 30 cm, se delimita el área y se tomaron muestras de 1 kg cada 5 m en las esquinas de una rejilla de 400 m<sup>2</sup>, para un total de 25 submuestras que fueron mezcladas de forma homogénea para obtener una muestra compuesta. Para la georreferenciación se utilizó el sistema GPS Garmin 60CS.

Las muestra compuesta de suelo fue secada a temperatura ambiente y tamizadas en malla No.10 para determinar algunas propiedades físicas y químicas de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana NTC ISO/IEC 17025:2005, siguiendo la metodología descrita por el IGAC (2006), entre ellas: textura por el método de Bouyoucos; pH por el método

potenciométrico (1:1), contenido de carbono orgánico por Walckley Black con determinación colorimétrica a 585 nm en Espectronic Génesis 20, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (cmol/kg) por NH<sub>4</sub>OAc 1M pH 7 y espectrofotometría de absorción atómica en equipo Varian Spectraa-280, fósforo disponible por el método de Bray II y determinación colorimétrica El abono orgánico fue caracterizado de acuerdo a la Norma ICONTEC NTC 5167/2011

### Tratamientos y diseño experimental.

Para determinar el efecto del lombricompost sobre la actividad de la enzima Fosfatasa Ácida se utilizó un diseño factorial de bloques con 16 tratamientos generados a partir de 4 dosis de abono x 4 tiempos de incubación, con tres réplicas por tratamiento, utilizando el método en paralelo (Bravo *et al.*, 2007) (Figura 1).



T1: Abono; T2:suelo sin abono orgánico;  
T3: suelo con abono orgánico dosis 1(7.2000 Kg abono /ha); T4: suelo con abono orgánico dosis 2. (14200 kg abono /Ha) R<sub>1</sub>: Réplica 1; R<sub>2</sub>: Réplica 2; R<sub>3</sub>: Réplica 3.

**Figura.1** Diagrama de diseño experimental para la evaluación del efecto de diferentes dosis de abono orgánico sobre la actividad de la fosfatasa ácida.

La aplicación del abono al suelo se realizó en sendas bolsas de polietileno color negro, con 500 g de suelo en cada una, se distribuyeron para el seguimiento de los tratamientos por un período de tres meses, durante los cuales se mantiene el suelo a la humedad de campo, asperjando agua de acuerdo al requerimiento. En forma mensual se evaluaron la Actividad de la AFA, el C orgánico y el pH.

Para determinar la actividad de la fosfatasa ácida, (AFA) se implementó el método descrito por Tabatabai & Bremner (1994) con las modificaciones propuestas por Saá *et al.*, 1993, (para suelos orgánicos). El método se basa en la determinación espectrofotométrica (400nm) del p-nitrofenol (PNF) liberado cuando se incuba el suelo a 37°C durante 30 minutos con una

disolución tamponada de p-nitrofenil fosfato disódico incoloro (pH 6.5). Se utiliza una curva de calibración con PNF (amarillo) en el rango de 0 a 12 ppm, expresando la actividad de la fosfatasa ácida en  $\mu\text{mol de P-NFg}^{-1}\text{h}^{-1}$ . Las modificaciones realizadas consistieron en reducción del tiempo de incubación a 30 minutos para evitar el crecimiento microbiano y sobreestimación de la actividad de la fosfatasa, incremento en la concentración de cloruro de calcio a 2M de modo que haya calcio en cantidad suficiente para complejar toda la materia orgánica extraída. También fue necesario disminuir la concentración del hidróxido de sodio a 0.2M para evitar la precipitación de hidróxido de calcio que afectaría la determinación de la actividad.

Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza, pruebas de comparación de medias de Tukey utilizando como nivel de significancia  $P < 0.05$  y correlaciones de Pearson, y de Spearman utilizando como software estadístico SPSS versión 20 (IBM SPSS, 2011)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis físicos y químicos muestran un suelo con textura franco arenosa, predominio de arenas (73,51%), 8,01% de arcillas, indicando pérdida de materiales grumosos y posible erosión. La densidad aparente es baja ( $0.90 \text{ g cm}^{-3}$ ) asociada al alto contenido de MO (14,91%) y al origen volcánico de estos suelos con presencia de alófanos, manifestada también en muy fuerte acidez (pH 4,8), deficiencia de Ca ( $0.11 \text{ cmol}+\text{kg}^{-1}$ ), y Mg ( $0.045 \text{ cmol}+\text{kg}^{-1}$ ), alta CIC ( $37.3 \text{ cmol}+\text{kg}^{-1}$ ). Además se detecta fuerte deficiencia de fósforo disponible ( $4.15 \text{ mg kg}^{-1}$ ), asociada a la extrema acidez del suelo, indicando falta de mineralización de la materia orgánica, como lo muestra la alta relación C/N (15,18), revelando que el fósforo se encuentra en forma orgánica no disponible, precipitado o adsorbido en la fase coloidal del suelo. El valor de Nitrógeno es alto (0,57%), Se observa deficiencia en la disponibilidad de potasio intercambiable ( $0.22 \text{ cmol}+\text{kg}^{-1}$ ) atribuida principalmente a la fijación sobre las Ilitas presentes en estos suelos.

En la tabla 1 se comparan diferencias relevantes de características químicas de suelo y abono, este último presenta un valor de pH óptimo para cualquier actividad agrícola, alta cantidad de fósforo disponible, el contenido de C orgánico es bajo, no apropiado para un abono orgánico de acuerdo a la Norma ICONTEC NTC 5167/2011. El fósforo disponible corresponde a un

88.84% del Orgánico, la relación C/N indica que este abono ha sufrido un verdadero proceso de transformación, dando como resultado un suministro de nutrientes óptimo para los cultivos, pero con deficiencia de C orgánico. Mientras que hay fuerte deficiencia de fósforo disponible en el suelo, equivale únicamente al 0.56% de su P orgánico, siendo este último 1.7 veces superior al del abono, equivalente a la misma relación en el contenido de C orgánico, corroborando que la MO en este suelo está Los diferentes tratamientos sí presentan diferencia significativa en el %MO ( $p=0,000$ ), los porcentajes de C y de MO del suelo (T2) son significativamente superiores y los del Abono (T1) significativamente inferiores a los demás tratamientos, de acuerdo a la prueba de Tukey. Los tratamientos de suelo adicionado con abono orgánico no difieren significativamente entre sí ( $p =0.361$ ), pero son siendo acumulada sin llevar a cabo un proceso óptimo de mineralización.

**Tabla 1.** Comparación de parámetros entre abono y suelo

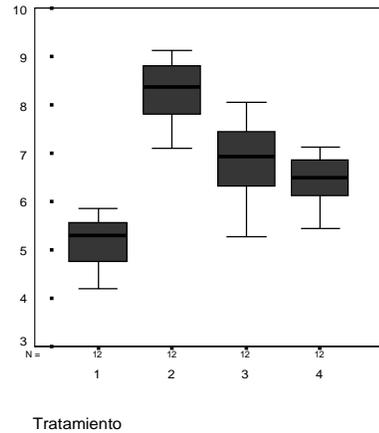
Muestra	P disponible	P orgánico	P total	C Org	pH	C/N
	mg kg <sup>-1</sup>			%		
<b>Abono</b>	386,27	434,8	717,34	4,96	6,27	10,78
<b>Suelo</b>	4,15	738,55	812,76	8.65	4,92	15,18

La prueba de ANOVA ( $p= 0.802$ ) considerando como factor el tiempo, revela que no hay diferencia significativa en los contenidos de carbono (C) y MO

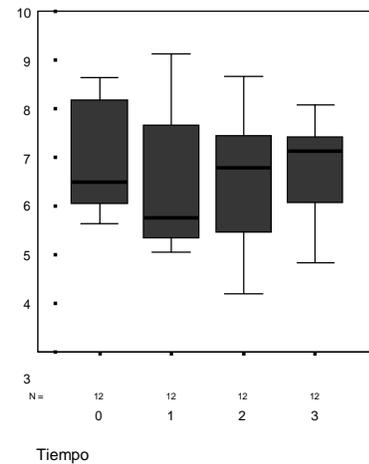
para los diferentes tratamientos en función del tiempo, (figuras 2 y 3), demostrando que en el período de tiempo estudiado no ha variación significativa en el contenido de C orgánico en los diferentes tratamiento, similares resultados presentan Contreras y otros (2005).

**Figura 2:** diagrama de Cajas: Porcentaje de C orgánico en función de los tratamientos y del tiempo

inferiores al del suelo (T1), mostrando que la aplicación de abono al suelo disminuye el contenido de C, por la introducción de una alta carga microbiana en condiciones apropiadas de pH y al llegar al suelo encuentra materia orgánica fresca, empiezan a mineralizarla de forma inmediata, generando posiblemente un efecto Primming.



Tratamiento



Tiempo

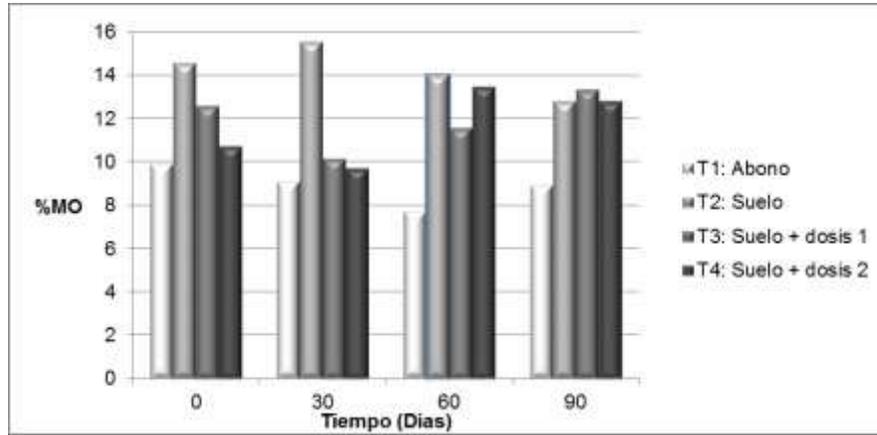


Figura 3. Evolución de la materia orgánica en función del tiempo

El análisis del pH en función del tiempo (figura 4 y 5), muestra en el abono un valor de pH cercano a la neutralidad, propio de un abono altamente transformado, con moléculas posiblemente humificadas que presentan alta capacidad buffer, permitiéndole mantener estable su valor de pH en función del tiempo. Además con alta actividad microbiana, deducible de sus condiciones apropiadas, así como un alto valor nutritivo como se demostró anteriormente por su alto contenido de P disponible.

La aplicación del abono logra un ligero incremento en el valor del pH al suelo, aun cuando el incremento no es apreciable, logra mejorar levemente las condiciones de este suelo, para una mejor actividad microbiana. Este efecto se confirma con la prueba de ANOVA existiendo diferencia altamente significativa entre los valores de pH para los diferentes tratamientos, en función del tiempo ( $p= 0.000$ ) indicando las bondades del abono en cuanto a mejora de la reacción química del suelo.

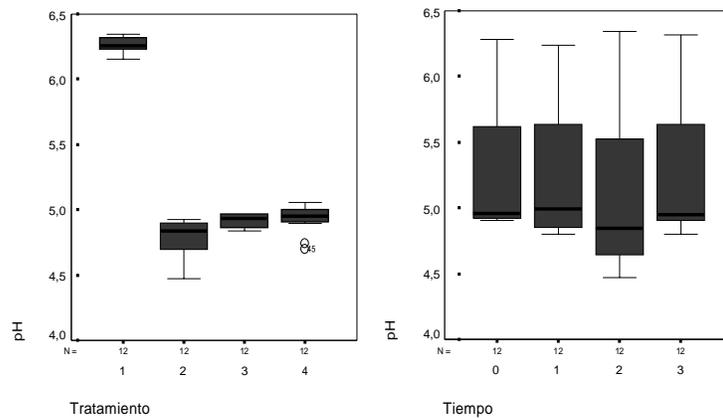


Figura 4: diagrama de Cajas: pH en función de los tratamientos y del tiempo

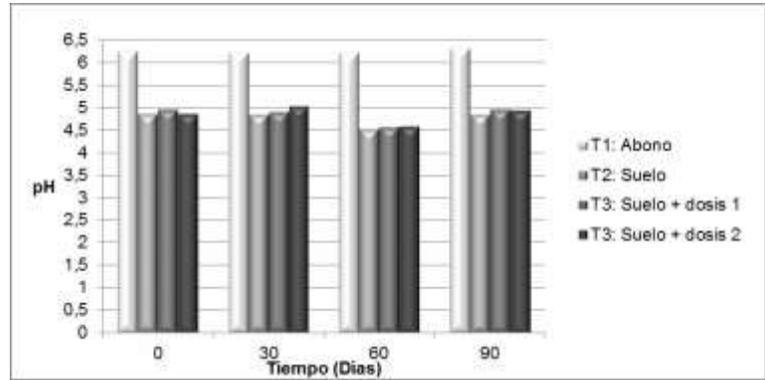


Figura 5. Evolución del pH en función del tiempo

En la figura 6 se relacionan los resultados del Efecto del abono orgánico sobre la actividad de la fosfatasa ácida.

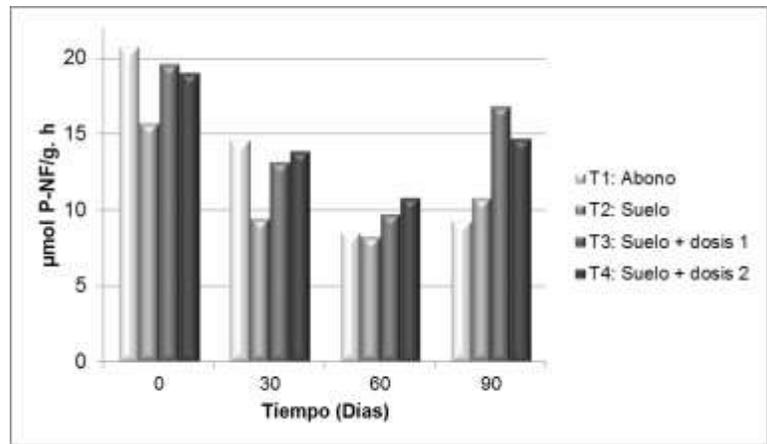


Figura 6. Evolución de AFA en función del tiempo

Inicialmente todos los tratamientos muestran superior actividad que el suelo testigo (T2), siendo mayor dicha actividad en el abono (T1), como era de esperarse de acuerdo a sus características químicas. Con la prueba de Tukey ( $p= 0.000$ ), se puede corroborar que la AFA del tratamiento T2 (Suelo solo) es significativamente inferior a la de los demás tratamientos, indicando que el abono sí ejerce efecto sobre la actividad de dicha enzima. No hay diferencia significativa de la AFA entre los tratamientos con presencia de abono ( $p= 0.356$ ), mostrando que su efecto es independiente de la dosis aplicada. Esto es importante puesto que al menos en las dosis del ensayo (7.2 y 14.4 ton/ha respectivamente) el abono aplicado lograría mejorar las condiciones del suelo y suministrar una carga microbiana importante para empezar a descomponer la MO del suelo que no ha podido ser adecuadamente transformada por su fuerte acidez.

En función del tiempo se aprecia una disminución de la AFA en todos los tratamientos y se comprueba con la correlación de Spearman negativa y altamente significativa, ( $-0.521, p= 0.000$ ) indicando que a medida que transcurre el tiempo disminuye dicha actividad y que el incremento a los 90 días, no logra alcanzar la AFA del tiempo inicial. La prueba de Tukey ( $p= 0,000$ ) muestra que la AFA en el tiempo 0 (el día de aplicado el abono) es significativamente superior a la del tiempo 1 y 3. El aumento observado es de carácter transitorio, por cuanto una vez agotados los sustratos fácilmente degradables, se estabiliza la actividad microbiana, siendo también posible que ya no necesiten degradar más MO, porque tienen los nutrientes necesarios para su respectiva neosíntesis. La menor AFA observada en el tiempo 2 (60 días de la aplicación del abono), se puede atribuir posiblemente al pH, ya que en el abono y los suelos con las dos dosis de abono este valor es superior que

el del suelo testigo, indicando que el abono influye positivamente en el incremento del valor del pH, con suministro de nutrientes y proliferación de microorganismos en el suelo, debido a la fuente de C de fácil degradación, con el consecuente aumento en dicha actividad. (Contreras *et al.* 2005). La correlación positiva entre la AFA y el pH ( $r= 0.287$ ,  $p= 0.000$ ) confirma un incremento de la AFA cuando aumenta el pH, al menos hasta el correspondiente al abono donde se encontró la mayor actividad. Como se estableció en trabajos anteriores (Arboleda *et al.* 2010) el valor de pH óptimo para la enzima en estos suelos está en valores cercanos a 6.3, y valores de pH inferiores a 5 no favorecen dicha actividad.

La variación no uniforme de la AFA en función de tiempo podría sugerir además, que aun cuando el pH influye considerablemente en el valor de la AFA, existe otro factor que determina su incremento o disminución, siendo probablemente la necesidad de liberar o no P a la solución del suelo, con base en el principio de Le chatelier, de acuerdo al incremento o disminución en la disponibilidad de este nutriente, fundamental en la proliferación de microorganismos, teniendo una fuente de C fácilmente degradable, con el consecuente aumento en dicha actividad, cuando se es requerido, (Contreras *et al.* 2005). En trabajos anteriores se encontró una relación directa entre la AFA y la disponibilidad de P y una relación inversa entre la AFA y el contenido de P orgánico en este tipo de suelos (Arboleda *et al.*, 2010). La correlación positiva y altamente significativa de la AFA con el P disponible corrobora el incremento de este nutriente con el incremento de la AFA puesto que el incremento de dicha actividad conduce a la mineralización del P orgánico. Estos resultados son comparables a los descritos por (Dick *et al.* 2000), (Tabatabai *et al.* 1994), (Trasar *et al.* 2008)

## CONCLUSIONES

El suelo analizado es muy fuertemente ácido, con fuertes deficiencias de P, Ca Mg, alta CIC, alto contenido de C orgánico y de N, mientras que el abono lombricompost, presenta un valor de pH óptimo para cualquier actividad agrícola, alta disponibilidad de P y bajo contenido de C orgánico. La AFA de estos suelos es 1.6 veces inferior a la del abono orgánico, mostrando la influencia del pH en dicha actividad, con un rango de pH apropiado en valores

superiores de 5 hasta alrededor de 6.3. La disponibilidad del fósforo está asociada directamente con la AFA. El abono aplicado mejora las condiciones del suelo, incrementa la mineralización de la MO nativa y la AFA y por ende la disponibilidad del fósforo, pero este efecto no se puede garantizar en tiempos prolongados de aplicación. El efecto sobre la calidad del suelo producido por la aplicación de altas dosis de abono orgánico a suelos fuertemente ácidos tipo Andisoles, se puede evaluar mediante un indicador bioquímico, la actividad de la Fosfatasa ácida (AFA), lográndose cambios significativos en ella que indican fuertes cambios en la actividad biológica del suelo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Cauca por el apoyo logístico y cofinanciación que permitió adelantar esta investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARBOLEDA C., BRAVO I., FIGUEROA A (2010). Encalamiento y Su efecto sobre la AFA y mineralización de P en un Andisol Caucaño. Comisión II Química de Suelos. XV Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo “El Suelo Soporte de la Biodiversidad y la Producción Agrícola en los Agroecosistemas tropicales” Octubre 27 28 y 29 de 2010. Pereira Colombia. Publicación de memorias. *Extenso*
- ACOSTA V, MARTINEZ M., A. TABATABAI (2000). Enzyme activities in a limed agricultural soil. *Biol Fertil Soils*. Springer Verlag. 31: 85- 91.
- BOŘIHOJ ŠARAPATKA (2003). Phosphatase activities (ACP, ALP) in agroecosystem soils. Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences .Uppsala. Czech Republic. 12-38 pp.
- BRAVO I, MARQUÍNEZ L, POTOSÍ S (2007). Fraccionamiento del Fósforo y correlación con la materia orgánica en dos suelos del departamento del Cauca. *Suelos Ecuatoriales*. Soc Col Ci Suelo. 37 (2): 147-154.
- CONTRERAS F, PAOLINI J; RIVERO C (2005). Efecto de la adición de enmiendas orgánicas sobre la actividad de las enzimas de la fosfomono-esterasa ácida y arilsulfatasa en

- suelos del municipio Rivas Dávila (estado Mérida). Rev. Fac. Agron. (Maracay) 31: 53 -66.
- GARBISU C., BECERRIL J.M, EPELDE L., ALKORTA L (2007). Bioindicadores de la calidad del Suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. Ecosistemas. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. 44-49 pp.
- GARCIA C, GIL F, HERNANDEZ T, TRASAR C (2003). Técnicas de análisis de parámetros Bioquímicos en suelos. Edición: 1ª. 371 p
- IBM SPSS (2011). SOFTWARE SPSS Statics 20,0
- ICONTEC. NTC: Norma Técnica Colombiana 5167 (2011). Productos para la Industria Agrícola Productos Orgánicos Usados como Abonos o Fertilizantes y Enmiendas o Acondicionadores del Suelo.
- IGAC (2006). Métodos analíticos de laboratorio de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE. Bogotá.
- IGAC. (2009). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento del Cauca. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia.
- MOSQUERA C., BRAVO I., HANSER E (2007). Comportamiento estructural de la Ácidos Húmicos Obtenidos de un suelo Andisol del departamento del Cauca. Revista Colombiana de Química. 36 (1): 31-41.
- PRETTY J., BALL A (2001). Agricultural Influences on Carbon Emissions and Sequestration: A Review of Evidence and the Emerging Trade Options. Centre for Environment and Society. Occasional Paper 2001-03. University of Essex [in pdf at URLwww2.essex.ac.uk/ces].
- ROBERT M (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Roma.215-219 pp.
- SAUGIER B, PONTAILLER J (2006). El ciclo global del carbono y sus consecuencias en la fotosíntesis en el Altiplano boliviano. Ecología en Bolivia. 41(3): 71-85.
- SCHNEIDER K., TURRIÓN, M., GRIERSON, P., GALLARDO, J. (2001). Phosphatase activity, microbial phosphorus, and fine root growth in forest soils in the Sierra de Gata, Western Central Spain. Biol. Fertil. Soils 34: 151-155.
- TABATABAI A, WOLLUM A, ANGLE, S, BOTTOMLEY, P. (1994). Methods of Soil Analysis.Part 2.Microbiological and Biochemical properties. Number 5 in the soil Science society of america Book series. 775-809 pp.
- TORRES M. LIZARAZO L (2007). Dinámica de grupos funcionales y actividad de la Fosfatasa de dos suelos Agrícolas del Departamento de Boyacá. Suelos Ecuatoriales. Soc Col Ci Suelo. 37 (1): 56-60.
- TRASAR C., LEIROS M., SOTRES G. (2008). Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality Soil Biology and Biochemistry, 40 (9): 2146-2155.
- XUYANG L., GENWEI CH (2008). Climate change effects on soil carbon dynamics and greenhouse gas emissions in Abies fabri forest of subalpine, southwest China. Soil Biology & Biochemistry. 1-7pp.