

Cambios en las Propiedades Químicas y en la Actividad de las Fosfatasa en Suelos Cultivados con Maíz Dulce (*Zea mays* L.) Fertilizados con Vinaza

Changes in Chemical Properties and Phosphatases Activity in Soils Under Sweet Corn (*Zea mays* L.) Cultivation Fertilized with Vinasse

Magda Narváez Castillo¹; Marina Sánchez de Prager² y Juan Carlos Menjívar Flores³

Resumen. Se evaluó el efecto de la aplicación de vinaza en las propiedades químicas y la actividad de las fosfatasa ácidas y alcalinas de dos suelos del Valle del Cauca, Colombia (Typic Argiudoll y Fluventic Haplustoll) en condiciones controladas. Se establecieron seis tratamientos y cinco repeticiones distribuidos en un diseño completamente al azar, cuatro de ellos buscaban suplir los requerimientos de K⁺ del cultivo maíz dulce de la siguiente forma: T1, 100% del K⁺ con vinazas, T2 100% de K⁺ con KCl, T3 50% de K⁺ con Vinaza y 50% con KCl, y T4 75% del K⁺ con vinaza y 25% con KCl, T5 fue el testigo absoluto sin planta y T6 el testigo más planta. Las evaluaciones se realizaron en un periodo de 76 días y las muestras se tomaron entre 0-5 cm de profundidad. El pH, K⁺, B y relación Ca + Mg/K disminuyeron, muy significativamente (P<0,01), mientras que los contenidos de K y B se incrementaron en ambos suelos. El P, Cu, Na y el Fe se incrementaron de forma distinta en cada suelo. Las fosfatasa alcalinas fueron significativamente mayores en el Fluventic Haplustoll y su máxima actividad ocurrió a los 10 días después de la siembra (DDS), por el contrario no se encontraron diferencias significativas entre suelos con referencia a las fosfatasa ácidas y su mayor actividad ocurrió a los 38 DDS. Al hacer análisis multivariado no se encontraron relaciones entre la actividad enzimática y los análisis químicos.

Palabras clave: Fosfatasa ácidas y alcalinas, vinaza, Typic Argiudoll y Fluventic Haplustoll, *Zea mays* L.

Abstract. It was evaluated the effect of vinasse application on chemical properties and activity of acid and alkaline phosphatases of two soils of Valle del Cauca Colombia (Typic Argiudoll and Fluventic Haplustoll) under controlled conditions. Six treatments and five replicates arranged in a completely randomized design were established; four of them, sought meet the requirements of K⁺ crop sweet corn as follows: T1, 100% of K⁺ with vinasse, T2 100% K⁺ with KCl T3 50% of K⁺ with vinasse and 50% KCl, and T4 75% of K⁺ with vinasse and 25% with KCl, T5 was the absolute control without plant and T6 the witness more plant. The evaluations were conducted over a period of 76 days and samples were taken from 0 - 5 cm deep. The pH, K⁺, B and Ca + Mg / K decreased significantly (P<0.01), while the contents of K⁺ and B were increased in both soils The P, Cu, Na and Fe increased differently in each soil. Alkaline phosphatase was significantly higher in the Fluventic Haplustoll and maximum activity occurred at 10 days after sowing (DAS); however, no significant differences between soils with reference to acid phosphatase and increased activity occurred at 38 DAS. A multivariate analysis found no relationship between enzyme activity and chemical analysis.

Key words: Acid and alkaline phosphatase, vinasse, and Fluventic Argiudoll Typic Haplustoll, *Zea mays* L.

La producción de la vinaza se ha incrementado en la medida que han aumentado las plantas productoras de etanol carburante en el Valle del Cauca. En el 2006 se estimó en 428.295 m³ año⁻¹ en concentraciones que variaban desde 22 a 55% de sólidos totales (Quintero, 2007). La composición de las vinazas depende de la variedad y la maduración de la caña, del sustrato, del tipo y la eficiencia de fermentación y destilación (García y Rojas, 2006). Se caracterizan por presentar pH ácidos y elevados contenidos de carbono orgánico, potasio, calcio, magnesio, azufre y concentración electrolítica. En la actualidad se usan como enmienda

por los elevados contenidos de potasio, sin embargo, la elevada DBO (demanda bioquímica de oxígeno) hace que sean altamente contaminantes en los cuerpos de agua (Quintero, 2004; Subiros y Molina, 1992).

Ante la creciente producción de vinazas se plantea la necesidad de investigaciones que guíen el posible uso de las mismas como fertilizante; para ello se propone recurrir a indicadores de salud y calidad de suelo que pueden medirse en periodos cortos de tiempo como los enzimas.

¹ M.Sc. en Ciencias Agrarias énfasis Suelos. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias. AA 2372, Palmira, Valle del Cauca Colombia <mcnarvaezc@palmira.unal.edu.co>

² Profesora Titular. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias. AA 2372, Palmira, Valle del Cauca Colombia <msanchezdp@palmira.unal.edu.co>

³ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias. AA 2372, Palmira, Valle del Cauca Colombia <jcmenjivar@unal.edu.co>

Recibido: Agosto 24 de 2010; Aceptado: Diciembre 8 de 2010.

Los enzimas del suelo proceden de microorganismos, plantas y animales; las fosfatasa ácidas y alcalinas catalizan la hidrólisis de esteres y anhídridos del ácido fosfórico a través de la hidrólisis de glicerofosfato y se diferencian por el pH óptimo de actuación (Trasar, Gil y Leirós, 2003).

La fosfatasa ácida puede estar presente en suelos con valores de pH entre 4 a 6,5 mientras que las alcalinas en un rango 9 a 10; sin embargo, es común que estén simultáneamente en el suelo (Trasar, Gil y Leirós, 2003). Estas enzimas son significativamente afectadas por el pH, la disponibilidad de P y el contenido de materia orgánica (Acosta *et al.*, 2007). Por estas cualidades se seleccionaron como variables, que permitan evaluar en condiciones controladas, el efecto de vinazas sobre la calidad de suelos, estimada en términos de mineralización de P y su relación con cambios que se puedan generar en algunas propiedades químicas de suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el invernadero de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (3°30' 45.6" N y 76°18' 29.91" O) utilizando suelos Entic Dystropept de la hacienda Miravalle del municipio de Florida (3°18' 20.1" N y 76°14' 11" O) a 1037 msnm, cultivado con maíz en rotación con soya, y Fluventic Haplustoll de la hacienda Gertrudis del Ingenio Manuelita (3°35' 51.1"

N y 76°16' 8.9" O) a 1.049 msnm, cultivado con caña de azúcar.

Se utilizaron seis tratamientos: T1 (100% de K⁺ como vinaza), T2 (100% de K⁺ como KCl) T3 (50% de K⁺ como vinaza y KCl) T4 (75% de K⁺ como vinaza y 25% de K⁺ como KCl), T5 (Testigo absoluto sin planta) y T6 (Testigo más planta) distribuidos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 1x4x2; 1 dosis de fertilización, 4 fuentes de potasio y 2 órdenes de suelos. Con ellos se esperaba suplir los requerimientos de potasio del cultivo de maíz dulce (*Zea mays* L.) el cual se estableció en recipientes plásticos con capacidad de 10 kg de suelo seco al aire y que fueron utilizados como unidades experimentales. La fertilización básica consistió en dosis (kg·ha⁻¹) equivalentes de 250 de K, 200 de N y 100 de P, considerando una densidad equivalente de 55,555 plantas/ha (0,9 m entre hileras y 0,2 m entre plantas), a una profundidad de siembra de 20 cm y densidades de 1,4 g·cm⁻³ y 1,25 g·cm⁻³ para el Entic Dystropept y el Fluventic Haplustoll, respectivamente.

La vinaza utilizada provino del Ingenio Providencia, se caracterizó por presentar pH ácido y altos contenidos de K, Ca, Mg y Na (Tabla1). El K fue el elemento de mayor concentración seguido del Mg Para el resto de nutrientes las concentraciones fueron bajas. La vinaza se usó a temperatura ambiente de 23 °C y se aplicó directamente a los suelos sin diluir.

Tabla 1. Caracterización química de la vinaza empleada para medir el efecto sobre la calidad del suelo.

Propiedades químicas	Vinaza 25%
pH (1:1)	4.5
N	0,007 (kg·m-3)
P2O5	0,002 (kg·m-3)
K2O	34,04 (kg·m-3)
CaO	3,41 (kg·m-3)
MgO	9,61 (kg·m-3)
SO3-	0,27 (kg·m-3)
B2O	0,01 (kg·m-3)
Fe2O3	0,45 (kg·m-3)
MnO	0,03 (kg·m-3)
CuO	0,004 (kg·m-3)
ZnO	0,009 (kg·m-3)
Na	2,23 (kg·m-3)

Las variables de estudio fueron pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), presencia de materia orgánica, concentración de macro y micronutrientes según metodologías descritas por Motta (1990), y la actividad de las fosfatasas alcalinas y ácidas (Trasar, Gil y Leirós, 2003; Yoshioka *et al.*, 2005; Bolaños *et al.*, 2006). En total se hicieron cuatro muestreos de suelos: 0, 10, 38 y 76 días después de la siembra. Para la estimación de la actividad enzimática se tomaron muestras compuestas de 200 g de suelo rizosférico por cada unidad experimental en todos los tratamientos que se almacenaron a -80 °C. Para los parámetros químicos se tomaron muestras de 500 g de suelo al inicio y al finalizar el experimento. Por costo sólo se tomaron muestras por unidad experimental de los tratamientos 1, 2, 3, y 4, que fueron entregadas para su análisis al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

La determinación se basó en la medida espectrofotométrica del p-nitrofenol (coloración amarilla) liberado después

de la incubación del suelo con una disolución tamponada de p-nitrofenil fosfato disódico (incolore). Para obtener $\mu\text{moles P-nitrofenol}$ ($\mu\text{moles PNF}$) se requirió pesar una muestra de suelo húmedo equivalente a 1 g de suelo seco, (determinado a partir del % humedad calculado previamente) se agregó el tampón correspondiente para cada fosfatasa y el sustrato, se incubó en un baño de María a 37 °C por 1 h, de esta manera las unidades de medida de las fosfatasas ácida y alcalina fueron: $\mu\text{mol P-nitrofenol por gramo de suelo seco a la estufa por 1 h a 37 °C}$ ($\mu\text{moles de PNF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (Trasar, Gil y Leirós, 2003). Para todas las variables se realizó el análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey.

RESULTADOS

Propiedades químicas de los suelos. Las Tablas 2 y 3 muestran los posibles cambios que se sucedieron en los suelos estudiados por efecto de los tratamientos, los más significativos fueron la disminución del pH y la relación Ca + Mg/K y los incrementos K, Na y B.

Tabla 2. Cambios en las propiedades químicas del suelo Typic Argiudoll fertilizado con vinaza.

Descripción	pH (1:1)	MO %	Ca	Mg	K	Na	CIC	P	Cu	Zn	Mn	Fe	B	Ca+ Mg/K
			cmol kg ⁻¹				ppm							
0 días	5,6 a	8,2 a	6,9 a	2,6 a	0,4 a	0,2 a	14,5 a	50,9 a	2,4 d	10,8 a	57,2 a	263,3 a	0,3 a	21,8 a
T1 76 DDS*	4,8 b	8,2 a	6,7 b	2,2 b	1,7 b	0,4 b	14,9 b	70,6 b	2,7 b	13,7 a	65,7 a	261,4 a	0,9 b	8,0 b
T2 76 DDS*	5,0 b	7,9 a	7,9 b	2,5 b	2,3 b	0,2 b	16,1 b	62,8 b	3,4 b	11,2 a	47,1 a	232,8 a	0,8 b	9,0 b
T3 76 DDS*	4,9 b	8,3 a	7,6 b	2,5 b	2,2 b	0,2 b	15,7 b	72,2 b	4,5 a	12,4 a	48,6 a	271,6 a	0,8 b	8,8 b
T4 76 DDS*	4,8 b	7,9 a	7,3 b	2,5 b	2,1 b	0,3 b	16,4 b	66,6 b	4,8 a	4,1 b	57,1 a	267 a	0,9 b	8,5 b

Valores con la misma letra en las columnas, no presentaron diferencia estadística significativa (Tukey<0,05)

* DDS: Días después de siembra

Tabla 3. Cambios en las propiedades químicas del suelo Fluventic Haplustoll fertilizado con vinaza.

Descripción	pH (1:1)	MO %	Ca	Mg	K	Na	CIC	P	Cu	Zn	Mn	Fe	B	Ca+ Mg/K
			cmol kg ⁻¹				ppm							
0 días	7,6 c	3,8 ba	8,7 a	3,5 ab	0,2 a	0,1 a	11,7 a	38,7 a	16,2 b	3,3 a	44,1 c	96,7 d	0,3 a	60,9 a
T1 76 DDS*	6,4 b	4,1 ba	11,6 b	3,6 ab	1,9 b	0,3 b	13,5 b	74,4 b	15 b	4,7 a	44,3 b	146,5 bc	1,2 b	13,5 b
T2 76 DDS*	7,2 a	4,2 a	11 b	3,8 a	3,0 b	0,3 b	12,3 b	ND	17,4 a	5,4 a	52,1 a	184,3 a	1,3 b	12,6 b
T3 76 DDS*	7,0 a	4,0 ba	11,2 b	3,62 ab	2,7 b	0,3 b	12,9 b	ND	15,4 b	2,4 a	42,7 b	134,0 c	0,7 b	12,5 b
T4 76 DDS*	7,0 a	3,7 b	10,7 b	3,4 b	2,3 b	0,3 b	12,2 b	ND	15,7 b	2,7 a	46,5 b	160,8 ab	1,1 b	12,3 b

Valores con la misma letra en las columnas, no presentaron diferencia estadística significativa (Tukey<0,05)

* DDS: Días después de siembra

ND: La determinación de P no se estableció por contaminación del extracto

En el suelo Typic Argiudoll el pH cambió significativamente de 5,6 (ligeramente ácido) a 4,8 (ácido) por efecto de los tratamientos T2 y T4. En el suelo Fluventic Haplustoll el pH 7,6 (ligeramente alcalino) se redujo muy significativamente a 6,4 (ligeramente ácido) con el tratamiento T2. Estudios realizados por Mattiazo y Glorie (1987) señalan que la aplicación de la vinaza genera reducción inicial del pH el cual se incrementa con el tiempo debido a la actividad microbiana que media la oxidación de la materia orgánica.

El fósforo en el suelo Typic Argiudoll presentó diferencias altamente significativas, su incremento fue de 50,9 ppm a 62,8 ppm con el tratamiento 1 y a 72,2 ppm con el tratamiento 3. En el suelo Fluventic Haplustoll el incremento fue de 38,9 ppm a 72,2 ppm con el tratamiento 1, en los demás tratamientos no se detectó.

La CIC presentó incrementos significativos entre muestreos para ambos suelos. Cationes como Mg y Ca variaron según el suelo, en el Typic Argiudoll el Ca se incrementó significativamente con la aplicación de los tratamientos a excepción del T2, entre tanto el Mg disminuyó significativamente entre muestreos. En el Fluventic Haplustoll el Ca se incrementó significativamente entre muestreos, mientras que el Mg no presentó ningún cambio, sólo en el último muestreo T1 y el T4 presentaron diferencias significativas.

Con respecto a los micronutrientes en el suelo Typic Argiudoll el Cu se incrementó de 2,4 ppm a 4,5 y 4,8 ppm con los tratamientos T3 y T4 respectivamente. En el suelo Fluventic Haplustoll no se encontraron diferencias entre muestreos, sólo en el muestreo final la vinaza 100% (T2)

mostró incrementos significativos. Los contenidos de Fe y Mn en el Typic Argiudoll no presentaron diferencias entre muestreos, ni entre tratamientos. En el suelo Fluventic Haplustoll, se evidenciaron incrementos altamente significativos de Fe con la aplicación de tratamiento T1, sin alcanzar niveles tóxicos (Dobermann y Fairhurst, 2001). El Mn presentó cambios de 44,1 ppm a 52,1 ppm con el tratamiento T2, mientras que con el tratamiento T3 su valor se redujo 42,7 ppm.

El Zn no presentó diferencias entre muestreos, en ambos suelos. Sólo en el suelo Typic Argiudoll en el último muestreo T4 (4,1 ppm) presentó diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos.

Actividad de fosfatasas alcalinas. En general la actividad de las fosfatasas alcalinas fue significativamente mayor en el Fluventic Haplustoll (2,64 $\mu\text{moles de PNF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) en comparación con el Typic Argiudoll (1,80 $\mu\text{moles de PNF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

Cambios significativos se observaron en la actividad enzimática debidos a la época de muestreo para ambos suelos independientemente de los tratamientos, registrándose así valores bajos a los 0 días antes de la siembra, luego se incrementó a los 10 días después de la siembra (DDS) siendo este periodo el más alto de actividad de las fosfatasas alcalinas. Posteriormente la actividad disminuyó por efecto de la aplicación de los distintos tratamientos a los 38 DDS y finalmente a los 76 días, en este último muestreo disminuyeron hasta casi alcanzar los valores iniciales. Las diferencias estadísticas se presentaron a los 10 y 38 DDS, mientras que en los 0 y 76 (DDS) no se evidenciaron (Figura 1).

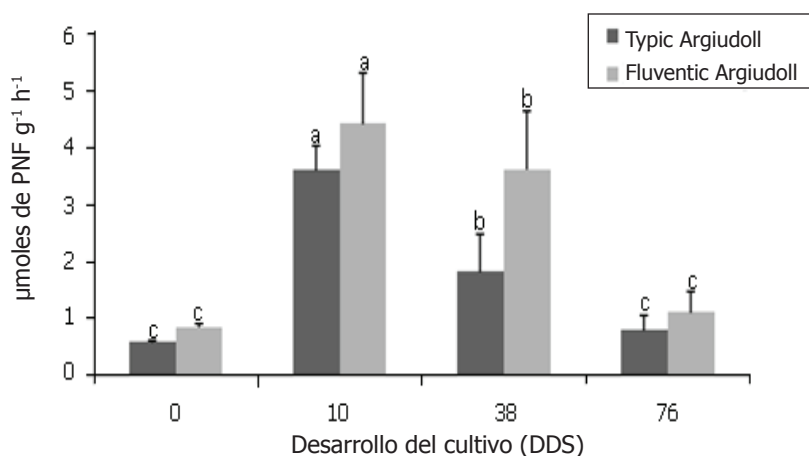


Figura 1. Actividad de las fosfatasas alcalinas en los suelos Typic Argiudoll y Fluventic Haplustoll fertilizados con vinaza. Valores con la misma letra en las barras, no presentaron diferencia estadística significativa (Tukey < 0,05).

Al evaluar el efecto del tratamiento sobre la actividad enzimática en cada muestreo se encontró en el suelo Typic Argiudoll las fosfatasas alcalinas se deprimieron especialmente por efecto de la aplicación del T1 (1,23 $\mu\text{moles de PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$) y T4 (0,45 $\mu\text{moles de PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$) en el tercer y cuarto muestreo respectivamente.

En el tercer muestreo para este mismo suelo el T6 y T4 presentaron diferencias significativas con T1 y en el

cuarto muestreo T4, se diferenció significativamente de la aplicación del T2 y T5.

En el suelo Fluventic Haplustoll en el cuarto muestreo, la aplicación del T2 (0,73 $\mu\text{moles de PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$) deprimió en mayor proporción la actividad enzimática, mientras que T3 (1,44 $\mu\text{moles de PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$) fue el tratamiento que en menor proporción disminuyó la actividad de las fosfatasas alcalinas en comparación con los testigos (Figura 2).

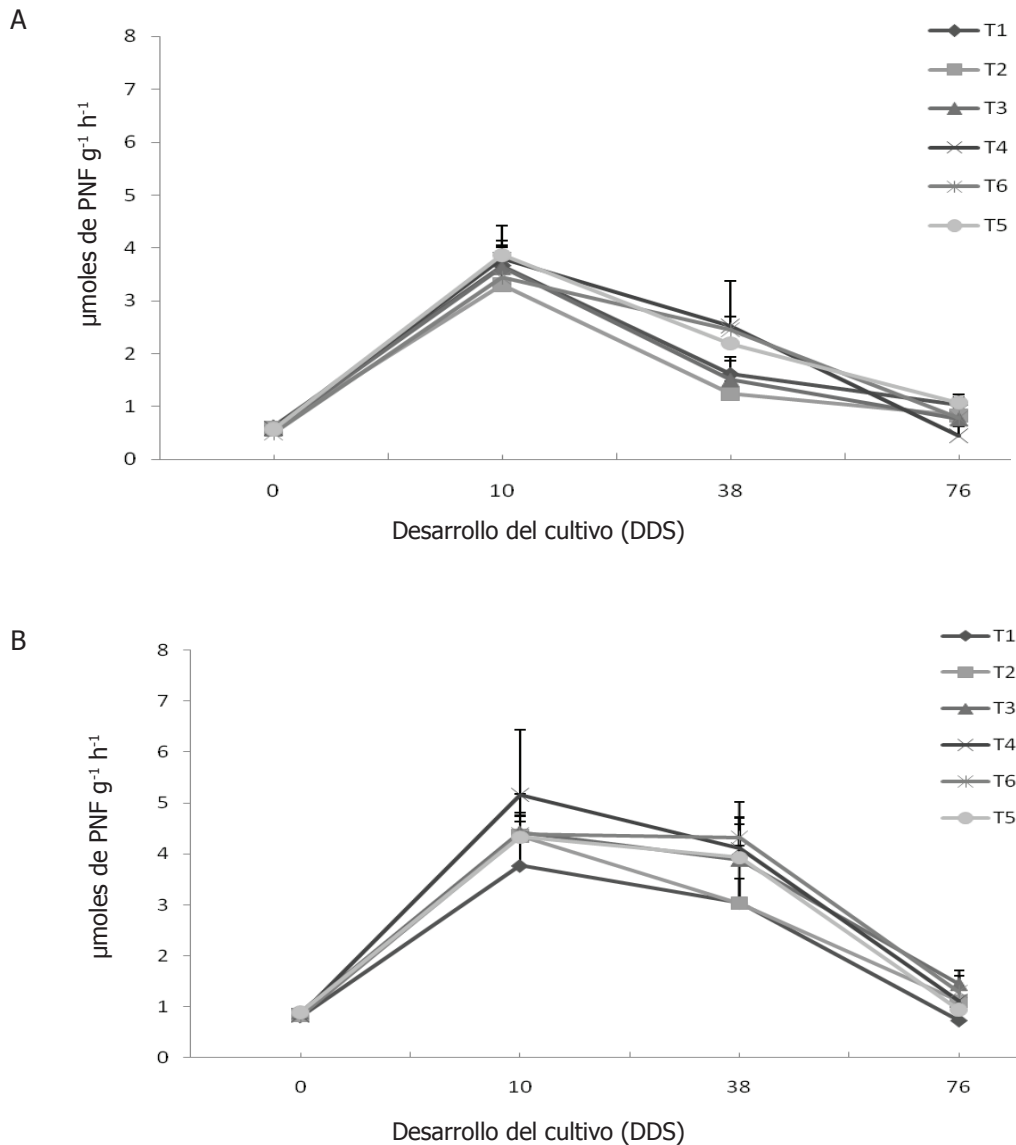


Figura 2. Actividad de las fosfatasas alcalinas para cada suelo fertilizado con vinaza. A. Typic Argiudoll B. Fluventic Haplustoll.

Fosfatasas ácidas. Las fosfatasas ácidas no presentaron diferencias estadísticas entre suelos y no fue mayor de $1,6 \mu\text{moles de PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$. Para los dos suelos presentó diferencias muy significativas entre muestreos, incrementándose la actividad de las fosfatasas ácidas hasta los 38 días después de siembra (en este muestreo se registraron los valores más altos de estas enzimas, etapa correspondiente a de época floración del cultivo), que finalmente disminuyó a los 76 días después de siembra hasta alcanzar valores cercanos a los obtenidos inicialmente. En el suelo Typic Argiudoll no se exhibieron diferencias entre el segundo y cuarto muestreo pero sí de estos en comparación con el primero y tercero. En el suelo Fluventic Haplustoll hubo diferencias

significativas entre todos los muestreos realizados (Figura 3). Al evaluar el efecto de los tratamientos sobre cada muestreo se encontró que para el suelo Typic Argiudoll hubo diferencias significativas sólo en el tercer muestreo debido a las aplicaciones de T1 y T2 ($2,33 \mu\text{moles de PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$ y $2,23 \mu\text{moles de PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$ respectivamente), disminuyendo la actividad de esta enzima en comparación con los testigos, que presentaron los valores más altos ($2,94$ y $2,95 \mu\text{moles de PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$ para T6 y T5 respectivamente). En el suelo Fluventic Haplustoll el ANDEVA mostró que no hubo efecto de los tratamientos en cada muestreo pero sí fueron evidentes las variaciones que se presentaron en el tiempo (Figuras 3 y 4).

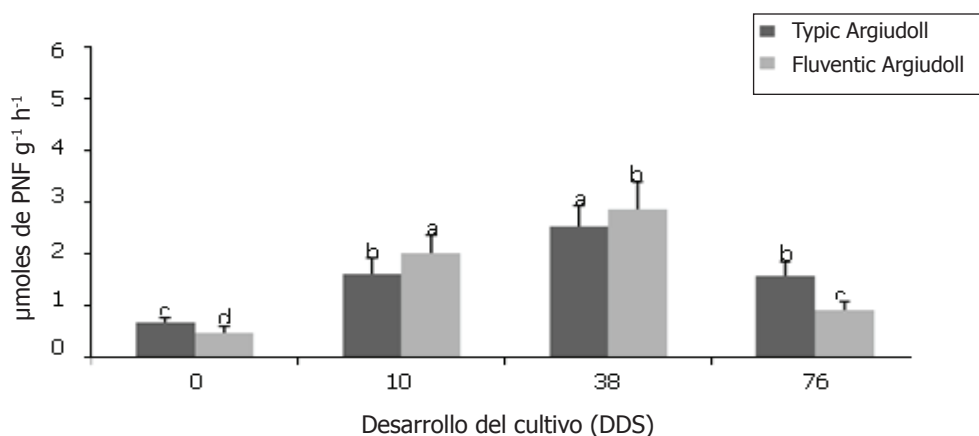


Figura 3. Actividad de las fosfatasas ácidas en los suelos Typic Argiudoll y Fluventic Haplustoll fertilizados con vinaza. Valores con la misma letra en las barras, no presentaron diferencia estadística significativa (Tukey<0,05)

DISCUSIÓN

Dentro de los cambios importantes en las propiedades químicas de los suelos se registraron descensos en el pH e incrementos en los contenidos de K, Ca, P, la CIC y B. Las demás variables químicas presentaron efectos según la fuente utilizada y el tipo de suelo. Sin embargo, se considera que las altas concentraciones de algunos parámetros químicos evaluados pueden estar muy influenciadas por las fuentes que no alcanzaron su completa degradación en el suelo.

En los tratamientos que se usó vinaza, sus efectos pueden ser consecuencia de la interacción entre las propiedades físicas, químicas y biológicas, debido a su compleja composición, por tanto su potencialidad como fertilizante está asociada al tipo de suelo donde sea aplicada. Algunos estudios realizados con estos subproductos, indican que se puede generar una

reducción inicial del pH el cual se incrementa con el tiempo debido a la actividad microbiana causada por la oxidación de la materia orgánica (Mattiazio y Glorie, 1987). En cuanto a los incrementos nutricionales Gemots, Chouliaras y Marakis, 1999 señalan incrementos de K, Na y Mn, los cuales son benéficos para las plantas siempre y cuando no excedan los límites de toxicidad.

Con respecto a la actividad enzimática de las fosfatasas alcalinas fueron significativamente mayores en el suelo Fluventic Haplustoll que en el suelo Typic Argiudoll, se estimó que esta variación se debió probablemente al pH alcalino del suelo. De acuerdo a varias investigaciones es usual encontrar que en suelos ácidos predominen las fosfatasas ácidas y en suelos alcalinos ó neutros las fosfatasas alcalinas (Speir y Ross, 1978; Dick, Chang, Wang, 2000; Dick y Tabatabai, 1993; Tabatabai, 1994; George *et al.*, 2002; Renella *et al.*, 2006). Algunos autores explican este comportamiento por

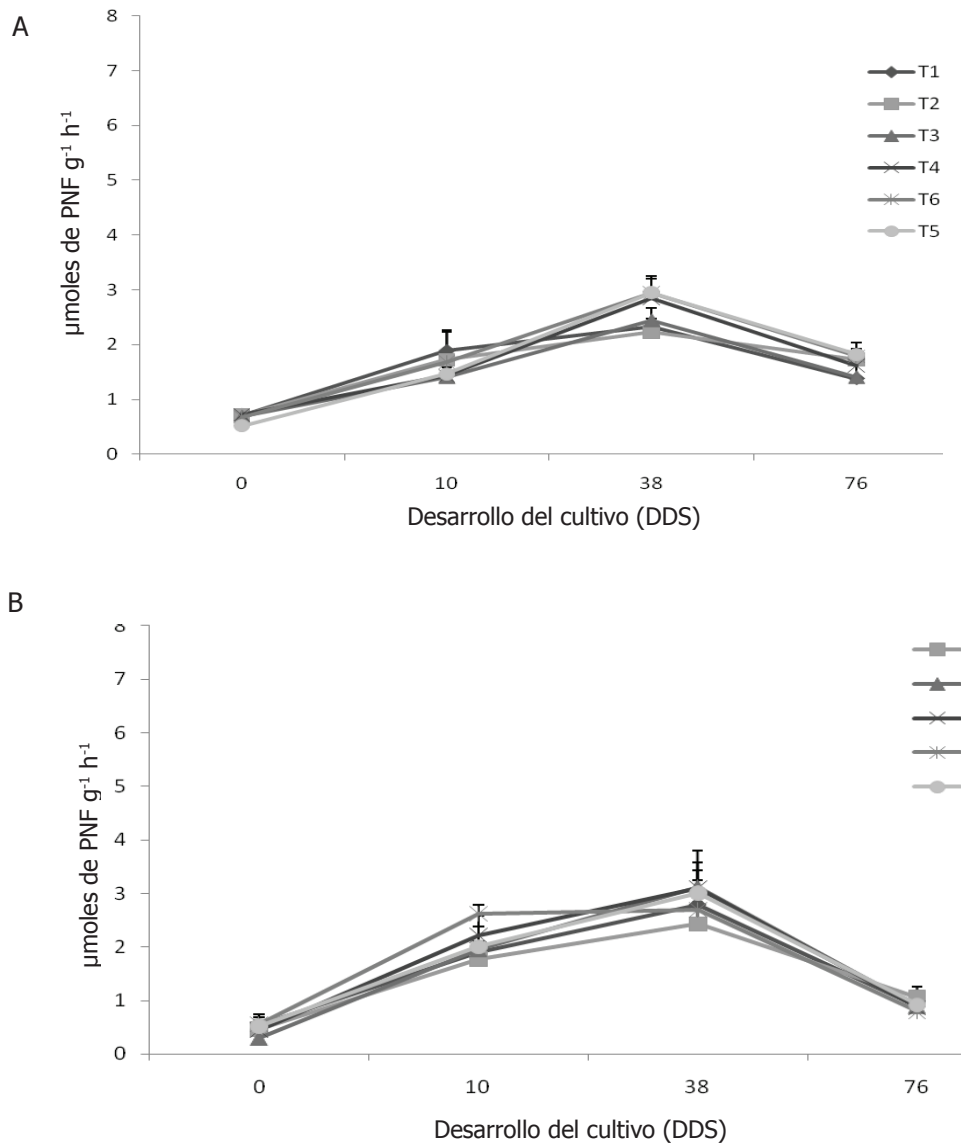


Figura 4. Actividad de las fosfatasa ácidas para cada suelo fertilizado con vinaza. A. Typic Argiudoll B. Fluventic Haplustoll.

la composición de la microflora (Tiedje *et al.*, 2001; Renella *et al.*, 2006). Sin embargo, dada la complejidad del suelo, es difícil demostrar la relación entre la comunidad microbiana y la actividad enzimática en los suelos (Nannipieri *et al.*, 2003).

Los valores obtenidos fueron bajos en comparación con otras investigaciones, en las cuales superan los 20 $\mu\text{moles de PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$ (Caravaca, Masciandro y Ceccanti, 2002; Barroti y Nahas, 2003; Sánchez, 2003; Yoshioka, 2005; Bolaños *et al.*, 2006; Tejada *et al.*, 2006; Mijangos *et al.*, 2006).

La baja actividad de la enzima puede ser atribuida a contenidos altos de fósforo en los suelos que pueden inhibir los mecanismos de acción de la enzima al existir una mayor disponibilidad de nutrientes en forma lábil en el suelo (Zamora, 2003). Resultados similares encontraron Zamora, Mogollón y Rodríguez (2005) en cultivos de tomate cuya disponibilidad de P oscilaba en el rango de 43 a 55 ppm de fósforo, estos autores indican que altas dosis de fertilizantes fosfatados podrían a largo plazo, suprimir la segregación de enzimas que actúen sobre el fósforo orgánico.

Para este caso los suelos evaluados presentaron altos contenidos de fósforo los cuales se incrementaron por efecto de los tratamientos. Con el fin de evaluar estadísticamente este efecto se realizaron análisis de correlación estadística (simples y de Person ($P < 0,05$)) entre algunas propiedades químicas y la actividad enzimática de los suelos, encontrándose que no se presentaba ninguna relación con las variables analizadas. Críquet *et al.* (2004), encontraron este mismo comportamiento especialmente entre la actividad enzimática de fosfatasa y el contenido de fósforo en el suelo, relaciones que aparentemente son evidentes, pero no siempre detectables.

Al respecto correlaciones altamente significativas entre la actividad enzimática con la materia orgánica del suelo, encontró Sánchez (2003), en cultivos de maracuyá. Bolaños (2006) en cultivos de plátano registró correlaciones de las fosfatasa ácidas con algunos nutrientes del suelo, mientras que fosfatasa alcalinas mostraron relación estrecha e inversa con K, directa y significativa con Mg y muy significativamente con B.

Otro efecto importante es la mayor persistencia de las fosfatasa ácidas hasta los 38 días después de la siembra (época de floración) en comparación de las fosfatasa alcalinas a los 10 días después de la siembra, algunos autores explican este comportamiento por el efecto del cultivo y la edad, tipo de suelo y los microorganismos que lo habitan (Renella *et al.*, 2006; George *et al.*, 2002; Tabatabai, 1994). Al respecto Yoshioka *et al.* (2005) y Bolaños *et al.* (2006) encontraron que la actividad de las fosfatasa alcalinas se incrementaron con la edad de la planta en cultivos de plátano, mientras que las fosfatasa ácidas predominaron en los seis meses después de la siembra, donde culmina la fase vegetativa. Sánchez (2003) reporta la actividad de fosfatasa ácidas en cultivos de maracuyá en la cual fue mayor en plantas de 6 a 10 meses de edad y fue menor en aquellas de más 11 meses.

Cabe destacar que dentro de los fuentes de K usadas en este ensayo, la aplicación de vinaza 100% disminuyó la actividad de las fosfatasa, sin embargo, algunos estudios consultados indican que la incorporación de enmiendas orgánicas estimula la actividad enzimática mediada por las condiciones fisicoquímicas del suelo (Tejada *et al.*, 2006).

CONCLUSIONES

La actividad de las fosfatasa estuvo condicionada por la acción del pH del suelo y por la presencia

de P, la disponibilidad de este elemento se produce por efecto de la aplicación de las fuentes de K que al generar reacciones de acidez del suelo, favorece más la solubilización de materiales minerales y no los procesos de mineralización realizados por las fosfatasa.

AGRADECIMIENTOS

Al programa de Uso y Manejo de Suelos y Aguas con énfasis en degradación de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira por el apoyo de la tesis de Maestría de Magna Narváez Castillo, de la cual se derivó este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, V., L. Cruz, D. Sotomayor and L. Pérez, 2007. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. *Applied Soil Ecology* 35(1): 35-45.

Barroti, G. y E. Nahas. 2003. El fósforo y el encalado sobre las fosfatasa y la producción de *Braquiaria ruziziensis* y *Cajanus cajan*. *Agronomía Tropical* (Maracay) 53(2): 209-225.

Bolaños, M., I. Yoshioka, M. Sanchez de P. y R. Indupulapati. 2006. Actividad de fosfatasa ácida y alcalina en suelo cultivado con plátano en tres sistemas de manejo. *Acta Agronómica* 55(2): 9-14.

Caravaca, F., G. Masciandro and B. Ceccanti. 2002. Land use relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research* 68(1): 23-30.

Dick, W., L. Chang and P. Wang. 2000. Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biology and Biochemistry* 32(13): 1915-1919.

Dick, W. and M.A. Tabatabai. 1993. Significance and potential uses of soil enzymes. p. 95-127. In: F. Blaine Metting, Jr. (ed.). *Soil microbial ecology. Applications in agricultural and environmental management*. Marcel Decker Inc., New York.

Dobermann, A. y T. Fairhurst. 2001. Toxicidad de hierro en arroz. En: *Informaciones agronómicas* No 43, [http://www.potafos.org/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/86247A93E224F45605256A4D006C4CDF/\\$file/Toxicidad+de+hierro.pdf](http://www.potafos.org/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/86247A93E224F45605256A4D006C4CDF/$file/Toxicidad+de+hierro.pdf). p. 4-6.; consulta: marzo 2009.

- García, A. y C. Rojas. 2006. Posibilidades de uso de la vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en los suelos. Nota Técnica Tecnicaña. p. 3-13.
- George, T., D. Gregory, M. Wood, D. Riad and R. Buresh. 2002. Phosphatase activity and organic acids in the rhizosphere of potential agroforestry species and maize. *Soil Biology and Biochemistry* 34(10):1487-1494.
- Gemots, T.A., N. Chouliaras and St. Marakis. 1999. Vinasse rate, time of application and compaction effect on soil properties and durum wheat crop. *Journal of Agricultural Engineering Research* 73(3): 83-296.
- Mattiazzo, M.E. and N.S. De Glorie. 1987. Effects of vinasse on soil acidity. *Water Science Technology* 19: 193-1296.
- Mijangos, I., R. Pérez, I. Albizu and C. Garbisu. 2006. Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters. *Enzyme and Microbial Technology* 40(1): 100-106.
- Motta B. 1990. Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. IGAC, Bogotá. p. 4 -6.
- Nannipieri, P., J. Ascher, M. Cecherini, T. Landi, G. Pietramellaa and G. Resella. 2003. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science* 54 (4): 54: 655-670.
- Quintero, R. 2004. Perspectivas acerca del uso y manejo de vinazas aplicadas al suelo. p. 20-39 En: Memorias Seminario. Vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Mayo 13 y 14 de 2004, Palmira.
- Quintero, D. 2007. Investigaciones sobre el manejo de las vinazas aplicadas al suelo. CENICAÑA, Valle del Cauca. 20 p. (Documento de trabajo).
- Renella, G., J. Landi, M. Ascher, G. Ceccherini, P. Pietramellara y P. Nannipieri. 2006. Phosphomonoesterase production and persistence and composition of bacterial communities during plant material de composition in soil with different pH values *Soil Biology and Biochemistry* 38(4): 795-802.
- Sánchez de P., M. 2003. Actividad biológica en la rizósfera del maracuyá (*Pasiflora edulis* var. *Flavicarpa*) en diferentes sistemas de manejo, estados de desarrollo y condiciones fitosanitarias. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. 261 p.
- Subiros, J. y E. Molina. 1992. Efecto de la aplicación de vinazas en la producción de caña de azúcar y en las características químicas de un inceptisol de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Constarricense* 6(1): 55-60.
- Tabatabai, M. 1994. Soil enzymes. p. 775-833. In: Weaver, R.W., J.S. Angle and D.S. Bottonmley (eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties.* American Society of Agronomy, Madison, Wi, p. 294-347.
- Tejada, M., C. García, L. González and M. Hernández. 2006. Organic amendment based on fresh and composted beet vinasse: Influence on Soil Properties and Wheat Yield. *Soil Science Society of America Journal* 70:900-908.
- Tiedje, J., J. Cho, A. Murray, D. Treves, B. Xia and J. Zhou. 2001. Soil Teeming with Life: New frontiers in soil science. p. 393-412. In: Ress, R., B. Ball, C. Cambell and C.A. Watson (eds.). *Sustainable management of soil organic matter.* CAB International. Wallingford, UK.
- Trasar, C., F. Gil, y C. Leirós. 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: Medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Mundi Prensa, Madrid. 370 p.
- Yoshioka, I.C., M.M. Bolaños, M. Sánchez de P. y L.M. Melgarejo. 2005. Actividad de fosfatasas en suelo rizosférico de plátano (*Musa AAB*) estimada mediante dos metodologías. En: Memorias Congreso Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines. Ascolfi, 26. Santafé de Bogotá. 4 p.
- Zamora, F. 2003. Identificación de indicadores de sostenibilidad en los sistemas de producción hortícola de Barrio Nuevo, municipio de Federación Estado de Falcón. Trabajo de Maestría. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro, Estado Falcón, www.ceniap.gov.ve/jornadasfalcon/zamora_f2.htm; consulta: febrero, 2008.
- Zamora, F., J. Mogollón y N. Rodríguez. 2005. Cambios en la biomasa microbiana y la actividad enzimática inducidos por la rotación de cultivos en un suelo bajo producción de hortalizas en el estado de Falcón, Venezuela. *Multiciencias* 5(1): 162-701.