

FOSFATASA ÁCIDA EN OXISOLES BAJO CULTIVO DE TABACO

TOLEDO MARCELA; HUMBERTO DALURZO & SARA VÁZQUEZ

Cátedra de Edafología. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste. Sargento Cabral 2131, (3400) Corrientes. República Argentina.
Correo electrónico: toledo@agr.unne.edu.ar

Recibido: 28-05-10

Aceptado: 19-08-10

RESUMEN

En suelos ácidos de trópicos y subtropicales, caracterizados por una baja disponibilidad de P para las plantas, el papel de las fosfatasa ácidas en la mineralización del P orgánico es fundamental, constituyendo una variable promisoría para estimar la calidad del suelo. El objetivo del trabajo fue evaluar la actividad de la fosfatasa ácida en Oxisoles bajo uso tabacalero, como indicador sensible de calidad. En la provincia de Misiones ubicada al noreste de la República Argentina, se estableció un ensayo sobre Eutrudoxes Ródicos, familia arcillosa fina, hipertérmica, aplicándose un diseño con cuatro bloques completos aleatorizados. Se establecieron 2 tratamientos: selva subtropical (Sv) y uso tabacalero (Ta). Se tomaron muestras compuestas a 3 profundidades: 0-10; 10-20; 20-30 cm. Se determinaron las siguientes variables: actividad de la fosfatasa ácida (APA), pH, contenido de arcilla, carbono orgánico edáfico (CO), nitrógeno total (N), fósforo asimilable (P), materia orgánica particulada (MOP), y respiración del suelo (RES). En los casos estudiados, la APA fue mayor en los primeros diez centímetros de suelo, y fue disminuyendo con el aumento de la profundidad del perfil, en estrecha relación con los contenidos orgánicos del suelo. El 70% de la variabilidad de la APA se explicó por el nitrógeno total, íntimamente relacionado con la materia orgánica del suelo ($p < 0,0001$). La eliminación de la selva y la incorporación de las tierras a la producción tabacalera provocaron una disminución de los contenidos orgánicos del suelo y una menor actividad de la fosfatasa.

Palabras clave. Actividad enzimática, calidad de suelo, uso tabacalero.

ACID PHOSPHATASE IN OXISOLS UNDER TOBACCO CROPPING

ABSTRACT

Soil biological parameters are of great value as sensitive indicators of transformations occurring under different uses and management practices (Mijangos *et al.*, 2006). The aim of this study was to evaluate the activity of the acid phosphatase enzyme in Oxisols under tobacco cropping. The experimental design was in randomized complete blocks, with two treatments: subtropical rainforest (Sv) and tobacco cropping (Ta) (*Nicotiana tabacum L.*). Soil samples were taken from 0-10, 10-20 and 20-30 cm-deep layers. The variables measured were: APA, pH, clay content, total nitrogen (N), available phosphorus (P), respiration (RES), particulate organic matter (MOP) and soil organic carbon (CO). The soils used in the study showed an acid reaction. Organic carbon and N contents were higher in soils under the subtropical rainforest than under tobacco cropping. The highest APA was found under the subtropical rainforest and decreased in the three depths. In all treatments, APA was higher in the superficial layer; 70% of the APA variability was explained by N ($p < 0.0001$). Forest elimination and the subsequent incorporation of soils to tobacco production lead to a reduction in the organic content of these soils and to a lower APA.

Key words. Enzymatic activity, soil quality, tobacco use.

INTRODUCCIÓN

Los suelos ácidos de trópicos y subtropicales representan la mayor reserva de tierras cultivables del mundo. La mayoría de ellos se encuentran bajo cobertura forestal que al ser incorporados para cultivos sin un adecuado manejo, resultan afectados por la degradación. En la provincia de Misiones, la selva subtropical abarcaba en el año 2002, 1.224.000 ha, durante el período 1998-2002 se perdieron 67.233 ha, los resultados preeliminares obtenidos por Bertolami *et al.* (2009) indican que la situación no se ha revertido, dado que los valores de deforestación en el período

2002-2006 son de similar magnitud. Las causas más graves de la desaparición de gran parte de la selva fueron la deforestación y la quema indiscriminada a fin de convertir las tierras a la agricultura (Dirección de Bosques, 2007), con la consiguiente emisión de carbono a la atmósfera y su impacto negativo en la calidad del aire, del agua y del suelo.

Doran & Parkin (1994) definen la calidad de suelo como la capacidad de un suelo a funcionar dentro de los límites del ecosistema para sustentar la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover la

salud vegetal y animal. Por ello, la calidad del suelo puede servir como un indicador de cambio (Parr *et al.*, 1992) en su capacidad para producir niveles óptimos de alimentos, manteniendo la integridad estructural y biológica. Conocer la evolución de la calidad del suelo sujeto a diferentes usos agrícolas, resulta importante para planificar el uso y manejo sustentable de dicho recurso.

Los parámetros biológicos de suelo son de gran valor como indicadores sensibles a los cambios y transformaciones que ocurren bajo diferentes usos y prácticas de manejo (Mijangos *et al.*, 2006).

Así dentro de las transformaciones biológicas que tienen lugar en el suelo, la actividad de las enzimas resulta relevante, puesto que son sensores de la degradación e integran la información sobre el estado microbiano y las condiciones físicas y químicas del suelo (Chen *et al.*, 2003).

Es de esperar que en suelos donde se han llevado a cabo prácticas de manejo conservacionistas como labranza mínima, agregado de enmiendas orgánicas, rotaciones de cultivos y otras, se presente una alta actividad biológica, la cual debería reflejarse en una mayor producción de enzimas (Carneiro *et al.*, 2004). La materia orgánica del suelo contiene gran variedad de compuestos de fósforo (P) orgánico, es fuente de fosfatos de inositol, ácidos nucleicos y fosfolípidos; estos deben ser convertidos a fosfatos inorgánicos por acción enzimática para que las plantas puedan utilizarlos.

Es así como las fosfatasa ácidas desempeñan un papel fundamental en el ciclo del P. En los suelos ácidos de trópicos y subtropicos, caracterizados por una baja disponibilidad de P para las plantas, es muy importante el rol que cumplen las fosfatasa en la mineralización del P orgánico, constituyendo una variable promisoría para estimar la calidad del suelo (Dalurzo *et al.*, 2005; Yoshioka *et al.*, 2006).

Las enzimas fosfatasa son producidas por microorganismos del suelo, hongos micorrizas, o son excretadas por las raíces de las plantas (Makoi & Ndakidemi, 2008). La mayoría de los estudios sobre la actividad enzimática se han efectuado en la capa superficial, donde es de esperar que sea mayor (Sudhahar *et al.*, 2004). Son escasos los estudios de la actividad enzimática y su variación con la profundidad del perfil, entre ellos se puede mencionar el llevado a cabo por Venkatesan & Senthurpandian (2006) en Oxisoles y Ultisoles de India bajo cultivo de té y cultivo forestal.

El manejo del suelo tiene influencia en los microorganismos y procesos microbianos a través de cambios en la cantidad y la calidad de los residuos vegetales en el perfil edáfico (Kandeler *et al.*, 1999).

Existen numerosos trabajos que cuantifican la actividad de la enzima fosfatasa en distintos suelos. Toledo *et al.* (2009) midieron entre 140 y 426 mg *p*-nitrofenol kg⁻¹ suelo h⁻¹ de actividad fosfomonoesterasa en suelos ácidos de Misiones bajo cultivo citrícola. Fernández *et al.* (2008) determinaron una actividad de la enzima fosfatasa ácida en suelos de la Región Pampeana bajo cultivo de soja de 27,4 y 105,5 mg *p*-nitrofenol kg⁻¹ suelo h⁻¹.

En Haplustoxes de Venezuela, Paolini (1998) determinó que suelos bajo vegetación boscosa presentaban mayores valores de actividad de la fosfatasa ácida (545 mg *p*-nitrofenol kg⁻¹ h⁻¹) comparados a los encontrados en Oxisoles bajo vegetación típica de sabana (72 a 160 mg *p*-nitrofenol kg⁻¹ h⁻¹) y lo asoció a una mayor fertilidad natural de los mismos.

Contreras *et al.* (1996), trabajando en un Oxic Haplus-talf arcilloso caolinítico, concluyeron que la actividad fosfatásica del suelo fue afectada por la incorporación de residuos orgánicos de origen vegetal, registrándose la mayor actividad en suelos bajo labranza conservacionista respecto a la convencional y lo asociaron a una mayor actividad de la biomasa microbiana.

Algunos autores como Gerritse & Van Dijk (1978) y Nannipieri *et al.* (1978), han encontrado correlaciones negativas entre la actividad fosfatasa ácida y el P disponible en el suelo.

La hipótesis del presente trabajo fue que con el uso tabacalero disminuye la actividad de la enzima fosfatasa ácida.

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del uso tabacalero sobre la actividad de la fosfatasa ácida como indicador sensible de calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El trabajo fue llevado a cabo en la provincia de Misiones, Argentina (27°41 'S, 55°11 'W), caracterizada por presentar clima subtropical húmedo, isohigro sin estación seca. Se seleccionaron 4 localidades de la provincia: Alem, Oberá, Dos de Mayo y El Soberbio, en cada una de ellas se eligieron reservas de selva subtropical y lotes de productores con similares características de producción de tabaco. El estudio se efectuó sobre Eutradoxes Ródicos, familia arcillosa fina, hipertérmica. Son suelos bien drenados, arcillosos, sumamente profundos que ofrecen buenas condiciones físicas para el desarrollo radical.

Diseño del ensayo y muestreo de suelo

El ensayo se llevó a cabo mediante un diseño en bloques completos al azar. Cada localidad fue considerada como un bloque. En

cada bloque se establecieron dos tratamientos: selva subtropical (Sv) y uso tabacalero (Ta).

El tratamiento Sv correspondió a selva subtropical, caracterizada por gran variedad de árboles de gran porte, con abundancia de lianas y plantas epífitas, sin disturbio antrópico, tomado como tratamiento de referencia.

El tratamiento Ta, correspondió a lotes de productores cultivados con *Nicotiana tabacum* L., tabaco tipo Burley, con una densidad de 30.000 plantas ha⁻¹ y manejo convencional de la zona con control mecánico de malezas mediante el uso de cultivadores. Se aplicaron fertilizantes fosfatados a razón de 55 kg de P ha⁻¹ año⁻¹.

Cada tratamiento estuvo constituido por tres parcelas de 15 x 21 m. En cada parcela, se tomaron muestras compuestas de suelo mediante un muestreo aleatorio simple, contemplando la variabilidad dentro de cada tratamiento, a 3 profundidades: 0-10, 10-20, 20-30 cm.

Las muestras de suelo extraídas fueron secadas al aire, molidas con mortero manual, tamizadas por malla de 2 mm, y secadas en estufa a 105 °C por 24 horas para determinar el contenido de agua gravimétricamente. Los resultados se expresaron en base a suelo seco a 105 °C.

Análisis de las muestras de suelo

Se procedió al análisis de las muestras obtenidas determinando las siguientes propiedades edáficas: pH, método potenciométrico, relación 1:2,5 en solución salina de KCl 0,1M (Dewis & Freitas, 1970); textura, método de Bouyoucos (Dewis & Freitas, 1970); carbono orgánico edáfico (CO), método de Walkley y Black modificado (Nelson & Sommers 1996); nitrógeno total (N) (Bremmer & Mulvaney, 1982); fósforo asimilable (P), Bray & Kurtz II (Dewis & Freitas, 1970); materia orgánica particulada (MOP) (Cambardella *et al.*, 2001); respiración (RES) (Sarrantonio *et al.*, 1996). Se evaluó el flujo de dióxido de carbono del suelo, con contenidos de humedad a capacidad de campo, en cámaras cerradas de PVC de 865,5 cm³. Para la detección de CO₂ se emplearon tubos Draeger, cuya seguridad es comparable con el método de cromatografía gaseosa (Parkin *et al.*, 1996).

La actividad de la fosfatasa ácida (APA) fue determinada aplicando el método propuesto por Tabatabai (1994), mediante incubación de muestras de suelo (37 °C) con una solución buffer (pH: 6,5) de sodio *p*-nitrofenil fosfato (sustrato) y tolueno, por determinación colorimétrica con espectrofotómetro a 410 nm, del *p*-nitrofenol liberado por actividad de la enzima. La actividad enzimática fue expresada en mg de *p*-nitrofenol liberado por kg de suelo seco al aire por hora de incubación.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un ANOVA para determinar las diferencias entre tratamientos para cada profundidad y entre profundidades para cada tratamiento. Las comparaciones de las medias se efectuaron mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan ($p < 0,05$).

Para evaluar las relaciones entre variables, se realizó un análisis de correlación entre pares de variables simple ($p < 0,05$) y análisis de regresión lineal múltiple, seleccionando el modelo por el método «Stepwise». Se empleó el programa InfoStat (Grupo InfoStat, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSION

La actividad de la fosfatasa ácida junto con los demás parámetros determinados para caracterizar el suelo, se detallan en la Tabla 1.

Los suelos evaluados correspondieron a la clasificación textural arcillosos, con valores de arcilla superiores a 670 g kg⁻¹. La reacción de los suelos, en todos los casos fue fuertemente ácida, con valores medios de pH entre 3,87 y 4,35. No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos y tampoco entre profundidades.

Los contenidos de CO y de N disminuyeron con el uso tabacalero, con diferencias significativas entre tratamientos, en todas las profundidades ($p < 0,0001$). El uso agrícola continuo favoreció la rápida mineralización de la materia orgánica del suelo alterándose la condición original. Tanto en el suelo de la selva como en el de uso tabacalero, los contenidos de CO fueron mayores en superficie, disminuyendo con la profundidad del perfil, con diferencias significativas entre profundidades en los dos tratamientos ($p < 0,0001$). El uso agrícola provocó disminuciones en el contenido de nitrógeno total, presentándose los menores valores de N en suelos bajo cultivo de tabaco, con diferencias significativas respecto a la condición de referencia en las tres profundidades estudiadas ($p < 0,0001$). En ambos tratamientos, el N fue mayor en superficie, disminuyendo con la profundidad en el perfil, con diferencias significativas en todas las profundidades para los suelos prístinos y entre la primera y las restantes profundidades para el suelo bajo cultivo de tabaco. En Oxisoles de Itaituba (Brasil), en ecosistemas de selvas tropicales, se hallaron hasta tres veces más materia orgánica en la profundidad de 0-10 cm que en el resto del perfil (Kang & Juo, 1986).

El P asimilable en general fue bajo, presentando valores promedio entre 0,98 y 6,48 mg kg⁻¹, sin diferencias significativas.

Con el uso agrícola la MOP sufrió disminuciones de hasta un 72% en superficie y un 41 y 36% para la 2° y 3° profundidad. La MOP responde selectiva y rápidamente a los cambios en uso de la tierra y manejo de los suelos (Cambardella & Elliott, 1992). Así en las tres profundidades estudiadas, la MOP presentó los mayores valores en los suelos sin disturbio antrópico, relacionada a la gran

cantidad de hojarasca presente respecto al tabaco pobre en restos orgánicos; presentándose diferencias significativas entre tratamientos para las dos primeras profundidades. En ambos tratamientos, la MOP presentó los mayores valores en superficie y fue disminuyendo con la profundidad, con diferencias significativas entre la capa superficial y las profundidades restantes.

En cuanto a la respiración del suelo (RES), los suelos bajo selva generaron una mayor emisión de CO₂ que el tabaco pero sin diferencias significativas (Tabla 1). En superficie, los coeficientes de variación de la MOP y de RES fueron elevados (41%), similares valores fueron encontrados en otros suelos de Misiones por Dalurzo (2002).

La mayor actividad de la enzima se presentó bajo condiciones prístinas, con diferencias significativas entre tratamientos en las dos primeras profundidades ($p < 0,0001$; $p < 0,004$) (Tabla 1). En suelos con deficientes contenidos de P, el gran número de raíces en los primeros 20 cm de la selva subtropical respecto al suelo laboreado, incrementaría la actividad de las enzimas, generando dichas diferencias; en coincidencia con lo hallado por Venkatesan & Senthurpandian (2006), quien trabajando en Latosoles encontraron una mayor actividad de la fosfatasa en la capa de suelo superficial bajo cultivo de té atribuyéndolo a la presencia de una mayor proporción de raíces prolíficas.

Tanto en suelos de la selva o con tabaco, la APA fue mayor en la capa superficial y disminuyó conforme se avanzaba en la profundidad del perfil, al igual que los contenidos de CO, lo cual se atribuye a que el uso y las

prácticas agrícolas modificaron los contenidos orgánicos y su composición, afectando significativamente la actividad enzimática. En ambos casos estudiados, dentro de cada tratamiento la APA presentó diferencias significativas entre la primera profundidad y las restantes ($p < 0,0001$). Similares resultados fueron hallados por otros autores como Venkatesan & Senthurpandian (2006) en Latosoles bajo cultivo de té en India, Effron *et al.* (2005) y Defrieri *et al.* (2008) en suelos forestales del Chaco (Argentina).

Al evaluar las relaciones entre APA y los restantes atributos, se obtuvo una correlación positiva y altamente significativa con el N, en las tres profundidades analizadas; en tanto que las correlaciones entre la actividad enzimática y los atributos CO y MOP, fueron positivas y significativas en superficie (Tabla 2). Correlaciones similares fueron obtenidas en estudios de la actividad fosfatasa ácida en distintos suelos como los realizados por Paolini (2003) en Oxisoles de Venezuela; Venkatesan & Senthurpandian (2006) en Latosoles de la India, Effron *et al.*, (2005) en Argiudoles Óxicos de Chaco, Argentina y por Green *et al.* (2007) en suelos de la Región del Cerrado, Brasil.

En el análisis de regresión lineal múltiple aplicado, se seleccionó el modelo «Stepwise» (Tabla 3), resultando la siguiente ecuación:

$$APA = 1.595,48 N - 35,86 (R^2 = 0,70)$$

Se puede observar que el 70% de la variabilidad de la APA fue explicada por el nitrógeno total, íntimamente

Tabla 1. Valores medios de pH; carbono orgánico edáfico (CO), fósforo asimilable (P), nitrógeno total (N), materia orgánica particulada (MOP), actividad de la fosfatasa ácida (APA), y respiración (RES) correspondientes a suelos bajo selva (Sv) y cultivo de tabaco (Ta).

Table 1. Mean contents of pH, soil organic carbon (CO), available phosphorus (P), total nitrogen (N), particulate organic matter (MOP), acid phosphatase activity (APA), and respiration (RES) of soils under subtropical rainforest (Sv) and tobacco cropping (Ta).

Tratamiento	Prof. (cm)	pH	CO (g kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	MOP (g kg ⁻¹)	APA (mg p nitrofenol kg ⁻¹ suelo h ⁻¹)	RES (kg CO ₂ ha ⁻¹ día ⁻¹)
Sv	0–10	4,35aA	40,2aA	4,59aA	4,7aA	13,80aA	698,24aA	47,32a
	10–20	4,13aA	21,6aB	2,33aB	2,7aB	4,00aB	281,65aB	-
	20–30	3,87aA	16,9aC	1,51aB	2,0aC	3,15aB	192,26aB	-
Ta	0–10	4,28aA	21,6bA	6,48aA	2,0bA	3,83bA	275,5bA	38,31a
	10–20	4,12aA	16,2bB	1,86aB	1,5bB	2,34bB	207,7bB	-
	20–30	4,03aA	13,5bC	0,98aB	1,3bB	1,99bB	176,7aB	-

Nota: Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a las diferentes profundidades; letras mayúsculas distintas, indican diferencias estadísticamente significativas entre profundidades dentro de cada tratamiento ($p < 0,05$).

Tabla 2. Matriz de Correlación (coeficientes, probabilidades) entre actividad fosfatasa ácida (APA) y pH, carbono orgánico (CO), fósforo asimilable (P), nitrógeno total (N), materia orgánica particulada (MOP) y respiración (RES) para las tres profundidades analizadas. N = 24

Table 2. Correlation matrix (coefficients, probabilities) between acid phosphatase activity with pH, soil organic carbon (CO), available phosphorus (P), total nitrogen (N), particulate organic matter (MOP) and respiration (RES) for three soil depths. N = 24.

Prof. cm)	APA	pH	CO	P	N	MOP	RES
0-10	1	0,24	0,75	-0,39	0,83	0,64	0,27
Prob. <	(0,0)	(0,258)	(0,0001)	(0,060)	(0,0001)	(0,0007)	(0,197)
10-20	1	0,31	0,49	0,21	0,61	0,21	-
Prob. <	(0,0)	(0,145)	(0,015)	(0,320)	(0,0015)	(0,339)	-
20-30	1	0,27	0,13	0,43	0,59	0,16	-
Prob. <	(0,0)	(0,199)	(0,550)	(0,034)	(0,002)	(0,441)	-

Tabla 3. Regresión lineal múltiple entre actividad de la fosfatasa ácida (APA) y nitrógeno total (N). Selección Stepwise. Variables totales: 9; variables en el modelo: 1.

Table 3. Parameter estimates (Est.) of intercept of the multiple linear regression between acid phosphatase activity (APA) and total nitrogen (N). Stepwise selection. Total variables: 9; variables in the model: 1.

Variable	Estimado (Est)	Valor F	P-valor	Cp Mallows
Intercepto	-35,86	0,21	0,6522	
N	1.595,48	51,44	< 0,0001	21,27

relacionado con la materia orgánica del suelo. Similares resultados fueron obtenidos por Olander & Vitousek (2000), donde adiciones de nitrógeno incrementaban la actividad de la fosfatasa ácida. La actividad de la enzima, depende de las fuentes de energía rápidamente degradables y del nitrógeno del suelo, atribuyéndose a éste, un efecto positivo sobre el incremento de la síntesis proteínica-fosfatasa llevada a cabo por los microorganismos del suelo y las plantas (Olander & Vitousek, 2000).

CONCLUSIONES

Bajo situación prístina (selva subtropical) o con uso tabacalero, la actividad de la fosfatasa ácida fue mayor en los primeros diez centímetros de suelo, disminuyendo con el aumento de la profundidad del perfil.

La actividad de la enzima permite detectar cambios debido al uso del suelo, estando estrechamente asociada al nitrógeno y a los contenidos orgánicos del mismo como fuente de energía.

La eliminación de la selva y la incorporación de las tierras a la producción tabacalera produjeron una disminución de los contenidos orgánicos y una menor actividad de la enzima, indicando una disminución de la calidad del suelo.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría General de Ciencia y Técnica, Universidad Nacional del Nordeste, por el financiamiento parcial de la presente investigación.

REFERENCIAS

Bertolami, F; J Bono; E Wabö; P Picchio; E Manghi; M Strada; MG Parmuchi; M Stamati & C Montenegro. 2009. Superficie deforestada, destino de las áreas y características dasométricas de los bosques sustituidos en la región Selva Misionera en el período 1998-2006. II Jornada Argentinas de Ecología de Paisajes: Cambios en la Cobertura y Usos del Suelo: causas, consecuencias y mitigación. Libro de Actas, pp 14.

- Bremner, AE & CS Mulvaney. 1982. Total nitrogen. *In: Page et al. (eds.). Methods of soil analysis, Part 2, Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.* pp. 595-624
- Cambardella CA & ET Elliott. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Cambardella, CA; AM Gajda; JW Doran; BJ Weinhold & T Kettler. 2001. Estimation of particulate and total organic matter by weight loss-on-ignition, Chapter 24. *In: Lal R; JF Kimble; RF Follet & BA Stewart (eds.). Assessment methods for soil carbon. CRC Press; FL Boca Raton.*
- Carneiro, RG; I de Carvalho Mendes; PE Lovato; A Moreira de Carvalho; & LJ Vivaldi. 2004. Indicadores biológicos asociados al ciclo del fósforo en solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 661-669.
- Chen, SK; CA Edwards & S Subler. 2003. The influence of two agricultural biostimulants on nitrogen transformations, microbial activity, and plant growth in soil microcosms. *Soil Biol. Biochem.* 35: 9-19.
- Contreras, F; C Rivero & J Paolini. 1996. Efecto del uso de residuos orgánicos y dos tipos de labranza sobre la actividad de la fosfatasa ácida en un Alfisol. *Rev. Facultad de Agronomía (Maracay), Venezuela.* 22: 139-149.
- Dalurzo, HC. 2002. Agregado de residuos orgánicos en suelos ferralíticos. Efecto sobre variables que estiman sustentabilidad. Tesis Magister Scientiae. Escuela para Graduados Alberto Soriano. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- Dalurzo, HC; DM Toledo & S Vázquez. 2005. Estimación de parámetros químicos y biológicos en Oxisoles con uso citrícola. *Ci. Suelo (Argentina)* 23(2): 159-165.
- Defrieri, RL; D Effron; MP Jiménez & J Prause. 2008. Influencia de especies forestales sobre la actividad de las enzimas fosfatasa ácida y proteasas en un suelo de bosque. *Ciencia del Suelo* 26(2): 177-182.
- Dewis, J & F Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín sobre suelos N° 10. FAO. Roma. pp 36-57.
- Dirección de Bosques. 2007. Informe sobre deforestación en la Argentina. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. pp. 10.
- Doran, JW & TB Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. Pp. 1-22. *In: JW Doran et al. (ed.) Defining soil quality for a sustainable environment. Spec. Publ. 35. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.*
- Effron, DN; MP Jiménez; RL Defrieri & J Prause. 2005. Relación de la actividad de fosfatasa ácida con especies forestales dominantes y con algunas propiedades del suelo de un bosque argentino. *Información Tecnológica* 17: 3-7.
- Fernández LA; MA Sagardoy & MA Gómez. 2008. Estudio de la fosfatasa ácida y alcalina en suelos de la Región Pampeana norte del área sojera argentina. *Ci. Suelo (Argentina)* 26(1): 35-40.
- Gerritse, R & H Van Dijk. 1978. Determination of phosphatases activities of soils and animal wastes. *Soil Biol. Biochem.* 10: 545-551.
- Green, VS; DE Stott; JC Cruz & N Curi. 2007. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. *Soil Till. Res.* 92: 114-121.
- Kang, BT & AS Juo. 1986. Effect of forest clearing on soil chemical properties and crop performance. Pp. 383-394. *In: P Lal; A Sanchez; RW Cummmings Jr. (eds.). Land Clearing and Development in the tropics. AA Balkema Publishers, Rotterdam, Holland.*
- Kandeler, E; D Tschерko & H Spiegel. 1999. Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management, *Biol. Fertil. Soils* 28: 343-351.
- Mijangos, I; R Perez; I Albizu & C Garbisu. 2006. Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters. *Enzyme and Microbial Technology* 40: 100-106.
- Makoi, JH & P Ndadikemi. 2008. Selected soil enzymes: examples of their potential roles in the ecosystem. *African Journal of Biotechnology* 7: 181-191.
- Nannipieri, P; R Johnson & E Paul. 1978. Criteria for measurement of microbial growth and activity in soil. *Soil Biol. Biochem.* 10: 223-228.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 961-1010. *In: JM Bigham (ed.). Methods of soil analysis, Part. 3, Chemical Methods. Am. Soc. Agron. & Soil Sci. Soc. America, Madison, WI.*
- Olander, L & PM Vitousek. 2000. Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability. *Biogeochemistry* 49(2): 175-191.
- Paolini, J & M España. 1998. Phosphatase activity in savanna soils. Proceedings of the 16 th World Congress of Soil Science. Montpellier (France).
- Paolini JE. 2003. Actividades enzimáticas en suelos de los altos llanos centrales (Estado Guárico). *Venesuelos* 11(1-2): 39-46.
- Parr, JF; R Papendick; SB Hornick & ME Meyer. 1992. Soil quality attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *Am. J. Altern. Agric.* 7: 5-11.
- Sudhahar V & S Venkatesan. 2004. Influence of temperature and moisture on urea hydrolysis of tea soils. *J. Plant Crops* 32: 253-256.
- Sarrantonio M; JW Doran; MA Liebig & JJ Halvorson. 1996. On farm assessment of soil quality and health. Pp. 83-105. *In: Doran, JW & AJ Jones (eds.). Methods for assessing soil quality. SSSA. Spec. Publ. 49. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.*
- Tabatabai, MA. 1994. Soil enzymes. *In: Methods of soil analysis, Part. 2, Microbiological and biochemical properties. Mickelson SH & JM Bigham (eds.) Soil Sci. Soc. Am. Book Series, N° 5, Madison, WI.* pp. 775-833.
- Toledo DM; S A Arzuaga; HC Dalurzo & S Vázquez. 2009. Actividad de la fosfatasa ácida en suelos rojos bajo distintos usos agrícolas. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2009. <http://www.unne.edu.ar/investigacion/com2009/CA-027.pdf>
- Yoshioka IC; M Sánchez de Prager & MM Bolaños. 2006. Actividad de fosfatasa ácida y alcalina en suelo cultivado con plátano en tres sistemas de manejo. Artículo derivado de la Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en suelos. UNAL. Colombia. http://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/211/actividad.htm
- Venkatesan S & VK Senthurpandian. 2006. Comparison of enzyme activity with depth under tea plantations and forested sites in south India. *Geoderma* 137(1-2): 212-216.