

Influencia de la aplicación de métodos agroecológicos sobre algunas características del suelo.

I. Actividad de las enzimas fosfatasa e invertasa*

Irma IZQUIERDO**, Guillermina HERNÁNDEZ** y María E. RODRÍGUEZ**

ABSTRACT. The influence of different agroecological methods upon some biological characteristics of soil (activities of phosphatase and invertase enzymes) was tested in two layers (0-10 cm and 10-20 cm) of a Ferralsol in dry and wet seasons. Three areas were considered: P (Control), 15 years old grassland with a vegetation community dominated by *Stylosantes guianensis*, *Cynodon nlemfuensis*, *Panicum maximum* and *Teramnus uncinatus*; F (forage area), derived from P and transformed in an agricultural one by amending with organic compost and planting of perennials crops as: *Saccharum officinarum* (caña de azúcar), *Penisetum sp.* (King Grass) and *Leucaena leucocephala* (Leucaena) during four years; C (Cultivated area) derived also from P too and transformed in agricultural by the same way than F, but using rotations of short cycle crops during four years. The activities of phosphatase and invertase enzymes reflected a general behavior depending on the agroecological method applied, soil deepness and seasonally. The higher activities ($P < 0.05$) for both enzymes were found in wet season, at 0-10 cm of soil deepness. The enzymatic activity was significantly higher ($P < 0.05$) in the forage area, the cultivated area had intermediates values among F and P, showing that perennials improve soil properties better than rotations of short cycle crops. The enzymatic activity may be used as biological indicator for soil management.

KEY WORDS. Agroecology, Ferralsol, Invertase activity, Organic matter, Phosphatase activity.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de los métodos agroecológicos, ha defendido el máximo aprovechamiento de los desechos vegetales y del abono animal con el objetivo de mantener la fertilidad y estructura del suelo (Altieri, 1997), la utilización de plantas de cobertura y la rotación de cultivos, también forman parte de las alternativas de manejo comúnmente utilizadas por la marcada influencia que éstas ejercen sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Sin embargo se debe considerar el grado de perturbación que ocasiona la rotación de cultivos al suelo por la utilización de determinadas siembras (Magdoff, 1997).

El suelo es un sistema complejo y dinámico donde se desarrollan diferentes procesos biológicos, en éste, la actividad microbiana, bajo la influencia de diferentes factores abióticos, juega un papel fundamental en las transformaciones de la materia orgánica dado por la acción de diferentes enzimas que catalizan importantes reacciones, que son responsables del mantenimiento de la actividad biológica del suelo (Sarkar *et al.*, 1989) y un reflejo de las perturbaciones que en él ocurren al ser un indicador de los cambios inducidos por el manejo del suelo (Dick, 1992). De ahí que la actividad biológica en sus diferentes modalidades aparezcan como elementos claves en el desarrollo de las investigaciones relacionadas con el manejo ecológico del suelo, al ser una herramienta muy útil para el diagnóstico de su fertilidad natural (Canet *et al.*, 2000).

El presente trabajo tiene la finalidad de brindar criterios acerca del comportamiento de la actividad biológica del suelo, referidas al comportamiento de las enzimas fosfatasa e invertasa como indicadores de la asimilabilidad del fósforo y de la disponibilidad de los componentes orgánicos para los microorganismos del suelo, bajo la influencia de la aplicación de métodos agroecológicos en sistemas ganaderos sostenibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló durante dos años en algunas de las variantes utilizadas en las investigaciones sobre la integración ganadería – agricultura que se llevan a

cabo en un área de experimentación del Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes del Ministerio de la Agricultura en Cangrejeras (Niña Bonita), Provincia La Habana, en tres de sus sistemas de manejos:

Área de pastizal (P). Área origen con más de 15 años de implantación; posee un sistema de pastoreo de baja intensidad y una comunidad vegetal donde predomina: *Stylosantes guianensis*, *Cynodon nlemfuensis*, *Panicum maximum* y *Teramnus uncinatus*.

Área de forraje (F). Derivada del pastizal y transformada en área agrícola desde hace 4 años, recibió aplicación de abono orgánico (compost de humus de lombriz y restos de cosecha), en el momento de la siembra, la que fue realizada en forma de mosaico de pequeñas áreas con cultivos perennes de: *Saccharum officinarum* (caña de azúcar), *Penisetum sp.* (King Grass) y *Leucaena leucocephala* (Leucaena).

Área de policultivos (C). Procedente también del área de pastos y transformada en área agrícola desde hace 4 años, se le suministró abono orgánico en el momento de la siembra (compost de humus de lombriz y restos de cosecha). En ésta se practicaron rotaciones de cultivos de ciclo corto fundamentalmente con *Phaseolus spp* (frijol); *Zea mays* (maíz); *Cucurbita melopeppo* (calabaza); *Ipomea batata*, (boniato); *Arachis hypogea*, (maní) y cultivos de ciclo largo: *Manihot esculenta* (yuca); *Musa spp.* (plátano); *Carica papaya* (fruta bomba).

El suelo de las áreas estudiadas es Ferralítico Rojo Típico, equivalente a un Ferralsol, según la clasificación FAO - UNESCO (Hernández *et al.*, 1996). Las características químicas del suelo de las áreas estudiadas se presentan en la Tabla 1.

En cada área se tomaron aleatoriamente muestras representativas, en dos profundidades: 0-10 cm y 10-20 cm, en las épocas de menor (diciembre-marzo) y mayor (mayo-octubre) humedad.

Actividad de la fosfatasa. La actividad hidrolítica de la enzima fosfatasa (AF), fue determinada según el método de Tabatabai y Bremner (1969), con una mezcla de solución buffer (BUM) a pH = 6.5 para fosfatasa ácida y pH = 11 para fosfatasa alcalina.

*Manuscrito aprobado en Noviembre del 2000.

**Instituto de Ecología y Sistemática, A.P. 8029, C.P. 10800, La Habana, Cuba.

Actividad de la invertasa. El método de Frankenberger y Johanson, utilizando como sustrato la glucosa en presencia de ácido 3-5 dinitrosalicílico.

Los resultados fueron procesados mediante análisis de varianza de clasificación simple que involucra un arreglo factorial de los tratamientos, siendo los factores: tipo de método o área, con tres niveles P, F y C; profundidad o estratos, con dos niveles (0 -10 cm) y (10 - 20 cm) y estacionalidad o época con dos niveles, período seco y período lluvioso. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Duncan ($P < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La actividad fosfatásica, se basa en los resultados obtenidos para la fosfatasa ácida, debido a que la fosfatasa alcalina en la solución del suelo fue notoriamente baja (datos no mostrados), por lo que existió un predominio de la fosfatasa ácida como resultado del pH del suelo en las áreas evaluadas (Tabla 1). Oberson *et al.* (1996), encontraron valores de la fosfatasa ácida significativamente más elevados, con relación a la actividad de la fosfatasa alcalina, en un suelo biológicamente cultivado con un valor de pH débilmente ácido (6.3).

La actividad de la enzima fosfatasa (AF) fue significativamente mayor ($p < 0.05$) en el área de forraje (F), en la época de mayor humedad y en el estrato de 0 -10cm, seguido por el área de policultivo (C) en condiciones similares de estacionalidad y profundidad, con valores promedios de 186 y 135 $\mu\text{mol PNP g}^{-1}\text{h}^{-1}$, respectivamente (Fig. 1).

De manera similar la actividad de la invertasa (AI) alcanzó valores significativamente superiores ($p < 0.05$) en el área F en el período lluvioso y en el estrato de 0-10 cm. En el área de pasto (P), señalada como área control, los resultados fueron inferiores aunque no significativamente diferentes del área de policultivo (Fig. 2).

Las áreas F y C, a diferencia de P, han sido tratadas con compost, considerado un material biológicamente activo, y una fuente rica en sustratos fácilmente descomponibles lo que proporcionó una actividad enzimática en correspondencia con el tratamiento orgánico empleado, que pudo ser el estímulo principal para esta respuesta metabólica.

Las condiciones del suelo más favorables por los métodos orgánicos aplicados producen mejoras en las propiedades físicas y químicas del suelo: elevación del contenido de materia orgánica, incremento de la capacidad máxima de retención hídrica, mejora en la estructura del suelo y disminución de la densidad aparente (Tabla 2), que como se conoce tienen una acción directa sobre la activación enzimática. Serra *et al.* (1996), demostraron que al incubar el suelo con compost, se incrementa la capacidad de retención de agua (CRA) y la actividad enzimática.

Los efectos de compactación, el aumento de la densidad aparente y la disminución de la materia orgánica en el suelo, influyen negativamente sobre la actividad metabólica debido a la disminución de poros y consecuentemente del intercambio gaseoso, lo que pudo contribuir a los valores promedios más bajos de la actividad enzimática encontrada en el área de pasto para los dos estratos y épocas analizadas. Este comportamiento se constató al correlacionar la actividad enzimática con las propiedades físicas del suelo (capacidad de retención

de agua y densidad aparente), donde se encontró una relación directa y significativa ($p < 0.001$) entre ambas enzimas y la capacidad de retención de agua: $r = 0.94$ y $r = 0.93$ para las enzimas fosfatasa e invertasa respectivamente, en tanto la actividad de estas enzimas y la densidad aparente tuvieron una correlación inversa y significativa ($p < 0.001$) con valores de $r = -0.97$ para la densidad aparente vs AF y $r = -0.80$ para la densidad aparente vs AI (Izquierdo, 1999).

La combinación de las propiedades físicas del suelo (velocidad de difusión e infiltración de agua; porosidad e intercambio gaseoso) y la reducción del crecimiento de las raíces en un suelo compactado tienen impacto sobre los procesos microbiológicos y bioquímicos (Dick *et al.*, 1988).

La actividad de ambas enzimas en el área de Forraje estuvo favorecida además, por el empleo de cultivos perennes: Caña, Leucaena y King Grass, los que proporcionaron una gran cobertura vegetal con un aporte de hojarasca abundante y regular, como fue determinado por Rodríguez *et al.* (1999), estas condiciones facilitan la conservación de la humedad en el suelo aún en época de menor humedad.

El manejo aplicado en el área de policultivo no logró establecer los niveles de materia orgánica que se obtuvieron con el empleo de la combinación de compost y cultivos de perennes cobertura en el área forrajera (Tabla 2). Según Magdoff (1997) los cultivos perennes, sean éstos árboles o forrajes, modifican menos el suelo que los cultivos anuales, o los de ciclo corto, además en general producen un aporte superior de residuos de hojas y tallos. Las rotaciones de cultivos producen en cierta medida las perturbaciones vinculadas a la práctica cultural: alteración de la estructura del suelo, sustracción de raíces y menor aporte de residuos vegetales (Rodríguez *et al.*, 1999).

Al comparar los resultados de la actividad invertasa (AI) en las áreas C y P no se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$), en el primer estrato y época húmeda, a pesar de que el área de policultivo presentó estimados promedios de materia orgánica relativamente superiores al área de pasto. Entre los beneficios potenciales relacionados con la utilización de cultivos de cobertura, se encuentra el aumento de la fertilidad y estructura del suelo, proporcionando un "mulch" residual mediante la incorporación de materia muerta, lo que produce el mejoramiento del estado de agregación y el aumento de la diversidad biológica del suelo, como parte importante de la salud y estabilidad del agroecosistema (Lal *et al.*, 1991).

En general el comportamiento enzimático encontrado en las áreas, fue altamente dependiente ($p < 0.05$) del tipo de manejo, época y profundidad del suelo, así como de la interacción de los factores mencionados como se aprecia en la Tabla 3. Esta respuesta enzimática ha sido relacionada en primer lugar con las variaciones de la MO-C y con las propiedades físicas analizadas (Tabla 1), que son el resultado de la aplicación de los métodos agroecológicos ensayados. La disminución de esta actividad, en la capa 10-20 cm está en correspondencia con la disminución de la carga orgánica al profundizar en el perfil del suelo y con la menor capacidad hidrolítica en condiciones de menor humedad que hace que la variación en la distribución vertical de la actividad enzimática sea acentuada.

Las diferencias observadas en cuanto a la actividad metabólica en las profundidades 0-10 y 10-20 cm pudieron estar también asociadas a la presencia de una mayor biomasa de raíces en las primeras capas del suelo. Hernández *et al.* (1998), han demostrado que la distribución vertical de la biomasa subterránea en los agroecosistemas herbáceos es fuertemente dependiente de la profundidad del perfil y su mayor densidad (75%) se localiza en la capa de 0 - 5.

Es conocido además, que en el estrato superior existe mayor actividad de la biota del suelo y mayor cantidad de excretas producto de la propia actividad en condiciones de humedad favorables. Las excretas de lombrices estimulan considerablemente la biomasa microbiana, la actividad biológica y la actividad fosfatasa del suelo (Hernández *et al.*, 1989). De ahí que en la influencia de la transformación del área de pastizal hacia el área de forraje, otro aspecto a considerar sea la presencia de lombrices de tierra asociada a la evaluación de nuestras variables enzimáticas. Rodríguez *et al.* (1999), hallaron un número mayor de lombrices expresada en (ind. m⁻²), en F con relación a las áreas de policultivo y de pasto en períodos similares a los evaluados en esta investigación; por lo tanto es de esperar una mayor actividad de estos organismos y como consecuencia una mayor actividad enzimática. Observaciones realizadas por Satchell y Marin (1983) en cuanto a las variaciones en el contenido de fosfatasa, en presencia de lombrices de tierra, reportaron incrementos de AF asociados a la presencia de excretas de las especies *E. foetida* y *D. Veneta*.

Por otra parte Powluczuk y Pech (1993), al estudiar la influencia de los monocultivos y de la rotación de cultivos sobre la actividad enzimática en dos profundidades (0 -10 cm) y (30 - 40 cm), obtuvieron incrementos de esta actividad en el sistema de rotación de cultivos en la capa superficial del suelo. Ellos concluyeron además, que la incorporación de residuos de cosechas de diferentes especies de plantas varía los contenidos y la composición de las de enzimas del suelo, aunque estas diferencias pueden estar asociadas también al predominio de un grupo de enzimas sobre otras en la rizosfera de algunas especies. Por las diferencias observadas en el comportamiento enzimático de las áreas de forraje y policultivo, se puede inferir que éstas han estado más condicionadas a las prácticas de laboreo periódico y al tipo de cultivo utilizado en la rotación del área C, que al suministro de compost, similar en ambas áreas, esto corrobora lo expresado por Seiberth y Kick (1970) al demostrar que la interacción de la actividad de las enzimas del suelo - abonos orgánicos está influida por las cosechas y manejos culturales, la estabilidad bioquímica, la calidad y cantidad de la materia orgánica, así como por las especies cultivadas y la cantidad de hojarasca aportada al suelo.

Se pudo constatar los niveles enzimáticos en P no alcanzaron los encontrados en F, esto hace suponer de acuerdo a la actividad metabólica observada, que de P hacia F ocurre una transición biológicamente más activa. Sin embargo es preciso continuar los estudios realizados por un período superior, con vistas a esclarecer aspectos relacionados con la sostenibilidad del manejo en las áreas.

Por lo general se pudo apreciar que el método orgánico empleado favoreció la actividad de las enzimas estudiadas en dependencia de la profundidad del suelo y la estacionalidad, con una respuesta semejante en ambas, en

la época de lluvia y en el estrato de 0-10 cm del suelo; mientras que el comportamiento en el estrato de 10-20 cm fue heterogéneo.

CONCLUSIONES

- ♦ La actividad de las enzimas fosfatasa e invertasa refleja un comportamiento similar que depende del tratamiento orgánico, la profundidad, las condiciones físicas del suelo y la estacionalidad.
- ♦ La actividad enzimática presentó niveles superiores y una respuesta semejante para ambas enzimas en el período lluvioso en el estrato de 0 - 10 cm del suelo.
- ♦ La actividad enzimática del suelo fue superior en el área de forraje seguida del área de policultivo y del pastizal de origen.
- ♦ Los cultivos perennes como caña de azúcar, King grass y *Leucaena* estimulan en mayor magnitud la actividad enzimática que las rotaciones de cultivos de ciclos cortos y largos.

Agradecimientos. A Grisel Herrero la ayuda brindada en la revisión del resumen y a Jorge A. Sánchez la confección de los gráficos.

REFERENCIAS

- Altieri, M. A, ed. 1997. Agricultura Orgánica. Cap. 8. En *Agroecología*. CLADES-ACAO, La Habana, pp. 117-130.
- Canet, R., R. Albiach y F. Pomares 2000. Índices de actividad biológica como herramienta de diagnóstico de la fertilidad del suelo en agricultura ecológica. Cap. 1. *Investigación y Perspectivas de la Enzimología de Suelos en España* eds. Carlos García y María Teresa Hernández. CSIC - CEBAS.
- Dick, R. P., D. D. Myrold, y E. A. Kerle 1988. Microbial Biomass and Soil Enzyme Activities in compacted and Rehabilitated Skid Trail Soils. *Soil Sci society of America Journal*, 52: 1-4.
- Dick, R. P. 1992. Long-Term effecto of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agric. Ecosyst. Environ.* 40:25-36.
- Frankenberger, W. T., y J. B. Johanson 1983. Method of measuring invertase activity in soils. *Plant and Soil*, 74(39):301-311.
- Hernández, G., M. A. Martínez, A. Hernández, y M. E. Rodríguez 1989. Influencia de las lombrices de tierra (ANNELIDA:OLIGOCHAETA) sobre la biomasa de microorganismos y la actividad biológica del suelo. *V Jornada BTJ-ANIR, IES*. La Habana, *Resúmenes*, p. 35.
- Hernández, A., J.M. Pérez, R. Marsán, M. Morales, R.López, *et al.* 1996. "Correlación de la nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba, con clasificaciones internacionales" (Soil Taxonomy y FAO - UNESCO). Clasificaciones nacionales (2^{da} clasificación genética y clasificación de series de suelos. [inérito]. Instituto de Suelos, La Habana.

- Hernández, L., J. A. Sánchez, y J. Lazo 1998. Caracterización espacial de la biomasa subterránea en pastizales del Instituto de Ciencia Animal. *Acta Botánica Cubana*, 116:1-7.
- Izquierdo, I 1999. Influencia de la aplicación de métodos agroecológicos sobre algunas características del suelo. Tesis en opción al título de Master en Ecología y Sistemática. Mención en Ecología, pp 20 - 27.
- Lal, R. E., D. J. Regnier, W. M. Exkeert, Edwards y R. Hammond. 1991. Expectations of corer crops off sustainable agriculture. Corer crops for clean water. En *Soil and water conservation* (W. L. Hargrove, ed.), Soc Iowa, Iowa, pp 1-14.
- Magdoff, F. R., ed. 1997. Calidad y manejo de los suelos. Cp.16 En *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. CLADES - ACAO, La Habana, pp. 211-221.
- Oberson, A., J. C. Fardean, J. M. Besson, y H. Sticher. 1996. Soil phosphorus dynamics in cropping systems managed according to conventional and biological agricultural methods. *Biol. Fertil. Soils*, 16: 111-1117.
- Powluczuk, Z., y K. Pech. 1993. Effect of crops cultivated in monoculture and in crop rotation on enzymatic activity of soil. En *Naukowe. Akademii Rolniczejim. Polonia, Abstract*, p. 12.
- Rodríguez, M.E., I. Izquierdo, A.A. Socarrás, M.A. Martínez, y L. Bidart 1999. "Influencia de la implantación de los métodos de agricultura orgánica sobre la diversidad y el funcionamiento de la biota edáfica" [inédito]. Informe Final, IES, La Habana.
- Sarkar, J. M., A. Leonowez., y J. M. Bollag. 1989. Immobilization of enzymes on clays and soils. *Soil Biol. Biochem.*, 21(2):223-230.
- Satchell, J. E., y K. Martin. 1984. Phosphatase activity in earthworm faeces. *Soil Biol. Biochem.*, 16(2): 191 -194.
- Seiberth, A., y P. H. Kick 1970. Soil Enzymes and Soil Metabolism. *Foresch*, 23:13-17.
- Serra, W. C., S. Hout, y E. Barrioso. 1996. Modification of soil water retention and biological properties by municipal solid waste compost. *Compost Science and Utilization*, 4: 1, 44-52.
- Tabatabai, M. A., y J. M. Bremner. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology y Biochemistry*, 1: 301-307.

Tabla 1. Características del suelo de las áreas de estudio. pH: Método potenciométrico; MO: oxidación con mezcla de ácido sulfúrico (conc.) y dicromato de K (2 N); P asimilable por Bray; K, Ca y Mg intercambiables: extracción con acetato de amonio 1N a pH 7 (Schatschabel); Densidad aparente – DA (Barahona y Santos, 1981) y Capacidad de retención hídrica – CRA (Martín, 1984).

pH(H ₂ O)	M.O. (%)	P (ug g ⁻¹)	K	Ca	Mg (meq /100g)	DA (g cm ⁻³)	CRA (%)
5.6	3.5	7.4	1.46	10.46	4.04	1.36 (0.15)	43.1 (0.04)

Tabla 2. Contenido de Materia Orgánica, Densidad aparente y Capacidad de retención hídrica del suelo en las áreas de estudio.

Áreas	Materia Orgánica (%)	Densidad Aparente (g cm ⁻³)	Capacidad de Retención Hídrica (%)
Pasto	3.65 (0.12)	1.34 (0.02)	50.0 (0.11)
Forraje	5,14 (0.09)	1.06 (0.03)	60,0 (0.07)
Policultivo	4.14 (0.05)	1.16 (0.06)	54.0 (0.1)

Tabla 3. Análisis de varianza de las variables enzimáticas.

Fuentes de Variación	Valores de F y Significación	
	Actividad Fosfatasa	Actividad Invertasa
Manejo (A)	1 721.07 ***	16 768.98 ***
Profundidad (B)	1 530.56 ***	47 391.64 ***
Época (C)	777.05 ***	125 479.10 ***
A x B	23.43 ***	2 074.82 ***
A x C	28.05 ***	808.69 ***
B x C	93.05 ***	1 807.08 ***
A x B x C	23.75 ***	343.15 ***

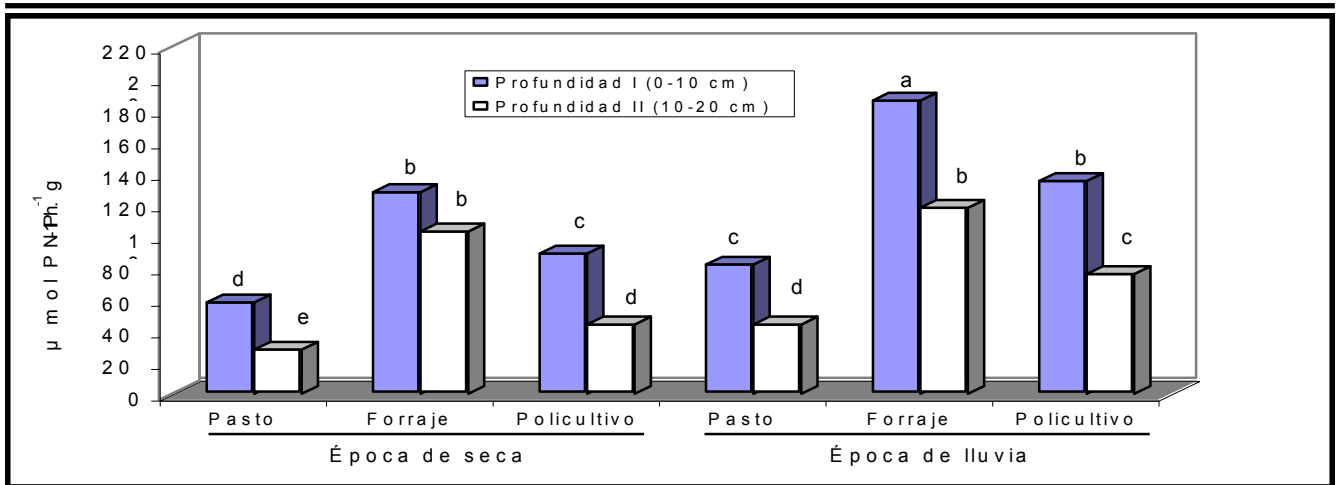


Fig. 1. Valores promedios de la actividad fosfatasa. Barras con letras distintas, difieren significativamente ($P \leq 0.05$) mediante la prueba de Duncan.

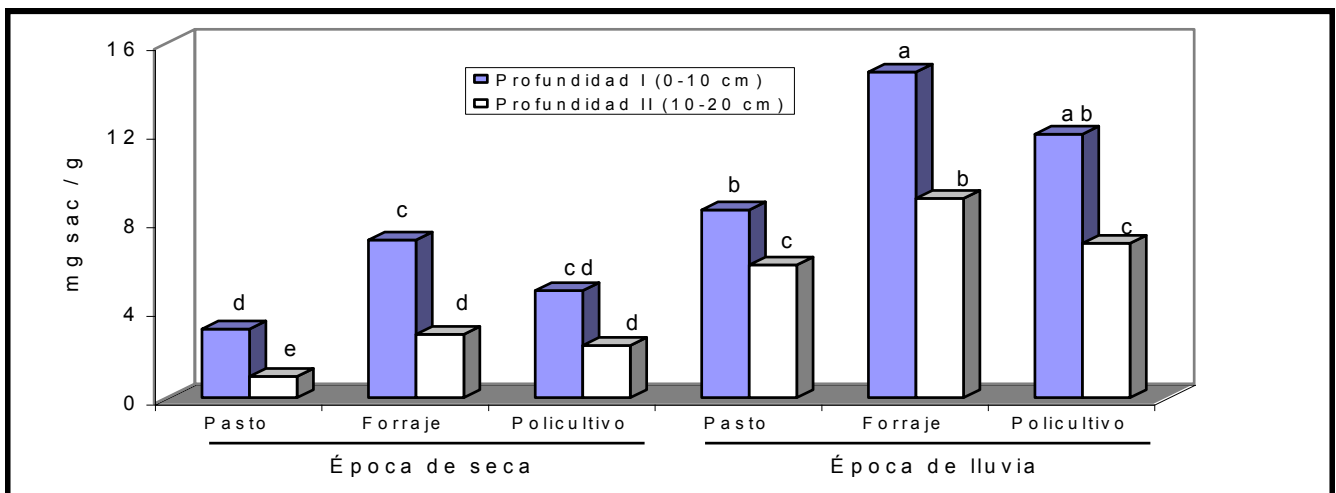


Fig.2. Valores promedios de la actividad invertasa. Barras con letras distintas, difieren significativamente ($P \leq 0.05$) mediante la prueba de Duncan.