

Efecto de residuos de maíz sobre la actividad enzimática con diferentes sistemas de labranza ^a

Effect of maize crop residues on the enzymatic activity in different tillage systems

Audry García y Carmen Rivero

Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.
Correos: garciaaudry@gmail.com y crivert@ewinet.com

RESUMEN

A los fines de evaluar la respuesta bioquímica de suelos sometidos a distintos sistemas de labranza ante diferentes formas de aplicación de residuos de maíz, se realizó un ensayo de invernadero donde se utilizó un suelo Inceptisol proveniente del Estado Portuguesa, Venezuela. En este suelo se ubicaron dos lotes: uno sometido a labranza convencional (LC) por más de 20 años y otro bajo siembra directa (SD) por más de 14 años, en ambos casos bajo monocultivo de maíz. Los cuales se caracterizan por ser de origen aluvial profundo de fertilidad, media a alta. Se aplicaron seis tratamientos: LCT (Suelo proveniente de labranza convencional sin residuos), LCRS (Suelo proveniente de labranza convencional + residuos en superficie), LCRI (Suelo proveniente de labranza convencional + residuos incorporados), SDT (Suelo proveniente de siembra directa sin residuos), SDRS (Suelo proveniente de siembra directa + residuos en superficie), SDRI (Suelo proveniente de siembra directa + residuos incorporados). Se determinaron las actividades de fosfatasa ácida y ureasa a los 7; 14; 21; 28; 35 y 42 días. En el caso de fosfatasa se observó un mayor desplazamiento positivo para el suelo proveniente de SD, con un aparente efecto residual del manejo, como resultado de 14 años de cobertura que ha favorecido de manera importante la actividad microbiana. En el caso de ureasa, los mayores niveles de actividad se observaron en el suelo proveniente de LC, para esta enzima se observó además un efecto positivo de la incorporación del residuo.

Palabras clave: labranza; fosfatasa; ureasa; Venezuela; siembra directa

ABSTRACT

In order to evaluate the biochemical response of soils under different tillage systems and application of corn residues, we performed a greenhouse experiment. An Inceptisol soil from Portuguesa State, Venezuela was sampled. Two soil plots were used, one under conventional tillage (CT) for over 20 years and other under non-tillage (NT) for over 14 years, both under monoculture of corn. The soils are characterized as deep alluvial, with medium to high fertility. Six treatments were applied: LCT (conventional tillage without residues), LCRS (conventional tillage with residues on surface), LCRI (conventional tillage with residues incorporated), SDT (direct seeding without residues), SDRS (direct seeding with residues on surface), SDRI (direct seeding with residues incorporated). Acid phosphatase and urease activities were determined at 7, 14, 21, 28, 35 and 42 days. Phosphatase activity had the greatest concentration at SD treatment, with an apparent residual effect due to 14 years of that management probably increasing significantly microbial activity. For urease, the highest activity was obtained at LC treatment, especially with residue incorporation.

Key words: tillage, phosphatase, urease, Venezuela, direct seeding

INTRODUCCIÓN

Ante el deterioro de los suelos ocasionado por la aplicación de manejo convencional, el cual induce una rápida oxidación de la materia orgánica (Doran, 1980; Schomberg y Jones, 1999) y una merma en la cantidad de residuos incorporados (West y Post, 2002), se plantea como alternativa el manejo sostenible de los agrosistemas a través de la combinación de la aplicación de residuos con el uso de la labranza conservacionista, especialmente siembra directa; combinación que tiene efectos positivos sobre los

^a Recibido:10-01-12 Aceptado: 12-12-12

niveles de carbono orgánico y nitrógeno del suelo (Du *et al.*, 2010). Se considera que esta opción tecnológica contribuiría al desarrollo de una agricultura sostenible, pues cumple un rol importante en el mantenimiento de las propiedades edáficas.

La presencia de residuos orgánicos, ya sea en superficie o incorporados, en los suelos agrícolas es beneficioso no sólo para la producción de cultivos sino también para mantener la calidad del suelo (Levanon y Pluda, 2002; Van Heerden *et al.*, 2002). En el caso particular de las propiedades bioquímicas y biológicas se conoce la producción de efectos importantes sobre la actividad enzimática y microbiana, como ejemplo de ello Barreto y Westerman (1989) señalan que el aporte de residuos orgánicos constituye uno de los factores más importantes en el incremento de la actividad de la enzima ureasa en el suelo.

En general, los niveles de actividad enzimática se incrementan con el contenido de materia orgánica, lo cual está relacionado con la dinámica de la población microbiana del suelo (Martens *et al.*, 1992; Alvear *et al.*, 2006). White y Rice (2009) indican, en trabajos realizados con isotópos como ^{13}C y ^{15}N , que la mayor actividad biológica encontrada bajo no labranza, al compararla con la labranza convencional, se vincula a la mayor asociación del C y el N proveniente de residuos vegetales incorporados a los macroagregados de diámetro $>1000\ \mu\text{m}$ del suelo.

Esta evolución hacia prácticas de manejo de suelos que promuevan la sostenibilidad plantea como requerimiento disponer de parámetros de medición sencilla que generen información apropiada sobre los cambios que producirán dichas prácticas en el suelo. La identificación de indicadores que permitan monitorear o predecir la degradación del recurso suelo resulta fundamental. En este sentido, las características más dinámicas del suelo, tales como la biomasa microbiana y la actividad enzimática, responden más rápidamente a los cambios en las prácticas de manejo o condiciones ambientales, que otras características como la materia orgánica total (Dick 1984, Muruganandam *et al.*, 2009). Incluso se han propuesto índices de calidad del suelo basados en la determinación de la actividad de enzimas como la deshidrogenasa, ureasa, proteasa, fosfomonoesterasa ácida, b-glucosidasa y arilsulfatasa (Jiménez *et al.*, 2002).

Roldan *et al.* (2005) encontraron que un descenso de la labranza del suelo se tradujo en un incremento del 33% del carbono orgánico, esto a su vez se relacionó significativamente con la actividad de varias enzimas entre ellas la ureasa. Alvear *et al.* (2006) y Mikanová *et al.* (2009), observaron un incremento significativo en la actividad ureásica en la capa superficial (0-10 cm) bajo un sistema de cero labranza en relación al sistema convencional. Hamido y Kpombekou-A (2009) señalan que la ureasa correlaciona significativamente con el incremento del N y del C del suelo, por efecto del manejo.

En Venezuela se han venido realizando algunos esfuerzos para aportar información sobre la actividad bioquímica de los suelos ante la aplicación de distintos tipos de labranza. Al respecto, Contreras *et al.* (1995) señalan que el uso de distintos tipos de sistemas de labranza no logró inducir diferencias estadísticamente significativas en la actividad de la ureasa, evaluada a distintas profundidades en el perfil. España *et al.* (2002) indican que la actividad enzimática del suelo (proteasa y ureasa) respondió en un aumento significativo a tres tipos de labranza: siembra directa, siembra directa previo un pase de cincel, efecto que se concentró en el estrato superficial del suelo, los autores señalan mayores niveles de actividad bajo labranza convencional y lo atribuyen a la combinación de las relaciones C: N del suelo y residuos de cosecha de maíz.

Por el contrario Rivero *et al.* (2008), encontraron efectos positivos de la no labranza sobre la actividad enzimática del suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar, en un experimento de invernadero, el efecto del uso de residuos maíz sobre las enzimas fosfatasa y ureasa en suelos manejados bajo labranza convencional y siembra directa con siembra de maíz por varios años.

MATERIALES y MÉTODOS

Para realizar el ensayo se utilizó un suelo clasificado taxonómicamente como Fluventic Haplustept, franco fina, mixta, isohipertérmica, ubicado en el sector Mata Palo de la Colonia de Turén, municipio Esteller del estado Portuguesa, Venezuela. Es un suelo de origen aluvial, profundo, de fertilidad media a alta, (cuadro 1). En dicho suelo se ubicaron dos lotes uno sometido a labranza convencional por más de 20 años y otro sometido a siembra directa por más de 14 años, en ambos casos bajo monocultivo de maíz. El suelo utilizado correspondió a un muestreo al azar sobre una superficie de $2500\ \text{m}^2$ y a una profundidad de 0 -17 cm. El suelo fue llevado al invernadero del Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía de la UCV, secado al aire y tamizado a 4 mm.

El residuo de maíz utilizado provino de los residuos de cosecha expuestos en el lote de siembra directa. La toma de este residuo se hizo al azar, se usaron cuadrículas de 0,1 m x 0,1 m para garantizar la máxima representatividad en la misma área de donde fue colectado el suelo, se tomaron 5 cuadrículas por cada 12 m². El material fue secado al aire por un período de una semana, removiéndolo para airearlo cada dos días, posteriormente se cortó en trozos o secciones de 2 cm a fin de facilitar una distribución homogénea en el suelo.

En envases plásticos de 18 litros de capacidad se colocaron 11 kg de suelo, a los fines de realizar muestreos sucesivos sobre la misma unidad experimental. La combinación del residuo (g.kg suelo equivalente a 8 Mg.ha⁻¹) con el tipo de labranza al cual estuvo sometido el suelo previamente generó los siguientes tratamientos: LCT (Suelo proveniente de labranza convencional sin aplicación de residuos), LCRS (Suelo proveniente de labranza convencional con aplicación de residuos en superficie), LCRI (Suelo proveniente de labranza convencional con aplicación de residuos incorporados), SDT (Suelo proveniente de siembra directa sin aplicación de residuos), SDRS (Suelo proveniente de siembra directa con aplicación de residuos en superficie), SDRI (Suelo proveniente de siembra directa con aplicación de residuos incorporados). Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. Los datos fueron procesados mediante la aplicación del paquete estadístico Infostat versión 1.1 (Balzarini *et al.*, 2004) para Windows. Se probaron los supuestos de normalidad para cada una de las variables por el método de Wills-Shapiro. Corroborado el cumplimiento de los supuestos se realizó un análisis de varianza por dos vías y para establecer las diferencias estadísticamente significativas de cada una de las variables en estudio a un nivel de confianza del 95%. Se realizó la prueba de comparación de medias por el método Tuckey.

Cuadro 1. Características del suelo utilizado

Manejo	CO (g.kg ⁻¹)	CE (dS.m ⁻¹)	pH (1:1 agua)	N (g.kg ⁻¹)	P			Mg	Textura
					K	Ca	(mg.kg ⁻¹)		
Siembra Directa	28,13	0,47	5,22	2,87	317	145	2467	338	FL
Siembra Convencional	18,20	0,23	5,63	1,89	200	23	3888	656	FL

En los tratamientos con incorporación de residuos los suelos se mezclaron con la ayuda de una espátula para asegurar una distribución homogénea en cada unidad experimental a excepción de los tratamientos con residuos en superficie. En cada tratamiento, se ajustó la humedad a 70 % de la capacidad de campo del suelo, la cual se mantuvo mediante la reposición de agua, controlada por pérdida de peso a través de un chequeo realizado cada dos días durante la incubación de los tratamientos. Se realizaron muestreos a los 7; 14; 21; 28; 35 y 42 días de iniciado el ensayo. Sobre las muestras colectadas se determinó la actividad de las enzimas ureasa y fosfatasa ácida.

Para la determinación de la actividad de ureasa se utilizó el método de Kandeler y Gerber (1988), basado en la determinación del amonio liberado por la actividad ureásica de suelo a partir de una solución de urea cuando se incubaba por un lapso de tiempo de 2 horas a 37 °C. Para la actividad de fosfatasa ácida se siguió el método propuesto por Tabatabai y Bremner (1969), el cual consiste en determinar colorimétricamente el p-nitrofenol liberado a partir del p-nitrofenilfosfato por efecto de la enzima cuando el suelo se incubaba a 37°C por 30 minutos con una solución regulada o tamponada a pH 6,5.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Actividad de fosfatasa

En los resultados obtenidos para la actividad de la fosfatasa (Cuadros 2 y 3) se observó valores más altos de la actividad a los siete días de iniciado el ensayo, tanto para el suelo proveniente de LC como para el de SD. Los máximos valores de actividad se obtuvieron, en ambos casos, con el tratamiento con residuo en superficie (RS) en LC y en SD. Luego de este período de máxima actividad, en ambos casos, la tendencia es a un descenso sostenido en el tiempo hasta los 21 días de incubación donde se

manifiesta un ligero aumento causado por una posible disponibilidad de compuestos fácilmente biodegradables producido por la dinámica de la propia población microbiana (Pascual et al., 1998) e incluso por la dinámica del proceso de descomposición de este material. Donde nuevamente se observa el efecto predominante, en el suelo proveniente de LC del tratamiento RS al diferenciarse significativamente de los tratamientos RI y ST con mayor nivel de actividad.

En el caso del suelo proveniente del sistema de SD el mayor nivel de actividad para esta se obtiene en el tratamiento con RI, esto podría explicarse con base a que este suelo fue sometido durante 14 años a cobertura que ha favorecido de manera importante la actividad microbiana, sin embargo, la incorporación de residuo generaría una mayor actividad por parte de los microorganismos, no habituados a este tipo de aporte inmediato, que dispondrían de un sustrato adecuado para el incremento de las poblaciones responsables de la producción y liberación de la enzima fosfatasa

Los altos valores de actividad de la fosfatasa registrados, en ambos suelos, se cree son dependientes en mayor grado de la actividad microbiana derivada del aporte de sustrato fresco que de la cantidad de P orgánico presente en el suelo, una explicación similar es aportada por Pascual *et al.* (1999) y Chakrabarti *et al.* (2000) al analizar los resultados por ellos obtenidos. Ambos grupos de trabajo coinciden en un incremento de la actividad de esta enzima como consecuencia de la aplicación de fertilizantes orgánicos en el suelo, lo cual pareciera demostrar, en principio, que la actividad de la fosfatasa ácida puede ser visualizada como una medida de la actividad biológica del suelo.

Cuadro 2. Actividad de fosfatasa en suelo proveniente de labranza Convencional ($\mu\text{g p-NF g suelo}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

Tratamiento	7 días	14 días	21 días	28 días	35 días	42 días
LCT	924,06b	688,84a	563,25b	479,16a	695,24a	676,66a
LCRI	915,97b	632,96a	598,97a,b	401,87b	641,01b	601,80a
LCRS	1176,22a	550,98a	717,56a	497,55a	544,91b	591,60a

Letras iguales dentro de una misma columna indican ausencia de diferencias estadísticas significativas al nivel de $P > 0,05$

Cuadro 3. Actividad de fosfatasa en suelo proveniente de siembra directa ($\mu\text{g p-NF g suelo}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

Tratamiento	7 días	14 días	21 días	28 días	35 días	42 días
SDT	883,51c	550,89a	622,81c	413,94b	597,95a	681,40a
SDRI	962,22b	516,02a	751,48a	595,80a	640,37a	620,45a
SDRS	1019,18a	527,81a	714,06,b	372,98b	599,67a	642,77a

Letras iguales dentro de una misma columna indican ausencia de diferencias estadísticas significativas al nivel de $P > 0,05$

Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Tracy *et al.* (1990) quienes al trabajar con diferentes intensidades de labranza, sugieren que la mineralización del fósforo, bajo sistemas de no labranza no es función directa de dicho manejo sino de otros procesos asociados a operaciones de labranza. Sin embargo son múltiples las evidencias de efectos positivos como los encontrados en esta experiencia.

Green *et al.* (2007), trabajando en suelos del Cerrado brasileño indican que la no labranza produjo incrementos importantes de la actividad de fosfatasa ácida y señalan que en general los incrementos de la actividad enzimática del suelo correlacionaron mejor con los mayores niveles de nitrógeno observados en los tratamientos que con el carbono orgánico. Incrementos de la actividad de fosfatasa ácida por efecto de la no labranza, especialmente en los primeros 10 cm del perfil, son mostrados por Omid *et al.* (2008).

En general, los valores de actividad de la enzima en el suelo proveniente de SD son siempre mayores al compararlos con los obtenidos en el suelo proveniente de LC, lo cual ha sido muy vinculado a los menores contenidos de carbono orgánico usualmente observado en suelo sometidos a LC, lo cual coincide con Dick (1984) al evaluar el efecto de la actividad enzimática en suelos sometidos por largo periodo a labranza convencional y rotación de cultivos. Estos resultados son también concordantes con aquellos reseñados por Doran (1980) y Contreras *et al.* (1996) quienes encontraron, en suelos con labranza reducida, una mayor población de microorganismos y una actividad superior de enzimas como la fosfatasa, la ureasa y la deshidrogenasa.

Actividad de ureasa

En ambos casos, suelo proveniente de LC (cuadro 4) y suelo proveniente de SD (cuadro 5), se produjo un incremento importante de la actividad de ureasa a los 14 días de aplicado el residuo, donde los máximos valores se obtienen con el tratamiento de residuo incorporado (RI) en LC y en el tratamiento de residuos en superficie (RS) para SD, esto según Deng y Tabatabai (1996) sería una consecuencia de los efectos de la labranza sobre el pH y el contenidos de carbono orgánico del suelos; apreciaciones similares hacen Palma *et al.* (2000) en referencia a los niveles de carbono aportados por el residuo que se añade al suelo.

Cuadro 4. Actividad de ureasa en suelo proveniente de labranza convencional ($\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g suelo}^{-1}2\text{h}^{-1}$)

Tratamiento	7 días	14 días	21 días	28 días	35 días	42 días
LCT	21,62ab	42,04b	20,58b	16,54b	19,40a	25,36b
LCRI	30,99a	54,19a	23,37a	13,49c	24,28a	37,79a
LCRS	20,37b	44,77b	15,48c	21,12a	23,29a	30,64a,b

Letras iguales dentro de una misma columna indican ausencia de diferencias estadísticas significativas al nivel de $P>0,05$

Cuadro 5. Actividad de ureasa en suelo proveniente de siembra directa ($\mu\text{g N-NH}_4 \text{ g suelo}^{-1}2\text{h}^{-1}$)

Tratamiento	7 días	14 días	21 días	28 días	35 días	42 días
SDT	27,41b	53,922b	11,43c	19,11b	26,76c	33, 51b
SDRI	17,11c	57,07a,b	18,98b	21,68a	40,73a	40,46a
SDRS	30,96a	60,86a	24,58a	23,25a	31,28a,b	40,12a

Letras iguales dentro de una misma columna indican ausencia de diferencias estadísticas significativas al nivel de $P>0,05$

Roscoe *et al.* (2000) en un trabajo donde probaron distintos tipos de laboreo encontraron que la no labranza aumentó el nitrógeno unido a la biomasa microbiana, lo cual a su vez se correlacionó con la actividad de la ureasa. Es importante destacar, que para la ureasa los incrementos observados a los 21, 35 y 42 días fueron mayores en el caso de LCRI. Esto estaría vinculado al mayor contacto del sustrato con los entes vivos y las enzimas estabilizadas en el suelo (Martens *et al.*, 1992). Este efecto ha sido señalado como producto de la estabilización de esta enzima y sensibilidad a las prácticas de manejo (Bergstrom y Monreal, 1998).

Conclusiones

El residuo orgánico vegetal indujo a modificaciones positivas significativas en actividad enzimática de la ureasa y fosfatasa ácida como consecuencia de su descomposición. Los niveles de actividad enzimática parecieron depender más de la enzima en sí que del manejo previo a que había sido sometido el suelo. En el caso de fosfatasa se observó un mayor efecto para el suelo

proveniente de siembra directa, con un aparente efecto residual del manejo. En el caso de ureasa, los mayores niveles de actividad se observaron en el suelo proveniente de LC. Es importante señalar que en el caso de la ureasa hubo una respuesta positiva de la incorporación del residuo al suelo. Los parámetros evaluados respondieron de manera consistentes ante la aplicación del material orgánico, lo cual podría constituir pasos iniciales hacia la consolidación de la medición de los mismos como índice de respuesta al manejo para suelos venezolanos.

Agradecimiento: las autoras expresan su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV (Venezuela) por el soporte financiero para esta investigación, a través del proyecto N° PI 01-00-6792-2007.

LITERATURA CITADA

- Alvear, M., M. Pino; C. Castillo; C. Trasar-Cepeda y F. Gil-Sotres.** 2006. Efecto de la cero labranza sobre algunas actividades biológicas en un alfisol del sur de Chile. *Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 6: 38-53.
- Barreto H.J. y R.L. Westerman.** 1989. Soil urease activity in winter wheat residue management systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1455-1458.
- Balzarini M. G., L. A. Gonzalez, E. M. Tablada, F. Casanoves, J. A. Di Rienzo y C. W. Robledo** 2004. InfoStat, versión 2004. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina.
- Bergstrom D. W. y C. M. Monreal.** 1998. Sensitivity of Soil Enzyme Activities to Conservation Practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:1286-1295.
- Chakrabarti, K.; B. Sarkar, A. Chakraborty, P. Banik y D.K. Bagchi.** 2000. Organic recycling for soil quality conservation in a sub-tropical plateau region. *Journal of Agronomy and Crop Science* 184, 137-142.
- Contreras F., C. Rivero y J. Paolini.** 1995. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos y dos tipos de labranza sobre la actividad de la ureasa en un Alfisol. *Venezuelos*. 3:2-6.
- Deng S. P. y M. A. Tabatabai.** 1996. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils. *Biol. Fertil. Soils* 22: 202-207.
- Dick W. A.** 1984. Influence of Long-Term Tillage and Crop Rotation Combinations on Soil Enzyme Activities. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:569-574.
- Dick, W. A.** 1992. A Review: Long-term effects of agriculture on soil biochemical and microbial parameters. *Agric. Ecosyst. Environ.* 40:25-36.
- Doran J. W.** 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:765-771.
- Du, Z., T. Ren y C. Hu.** 2010. Tillage and Residue Removal Effects on Soil Carbon and Nitrogen Storage in the North China Plain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74:196-202.
- España, M., E. Cabrera, B. Rodríguez, B. Cecanti.** 2002. Actividades enzimáticas y contribución de residuos de cosecha de maíz al nitrógeno del suelo en sistemas de labranza, en los llanos centrales, Venezuela. *Terra* 20:81-86.
- Green V.S., D.E. Stott, J.C. Cruz y N. Curi.** 2007. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. *Soil Till. Research* 92:114-121.
- Hamido, S.A., K. Kpombekou-A.** 2009. Cover crop and tillage effects on soil enzyme activities following tomato *Soil Till. Research*, 105:269-274.
- Jiménez, M. P., A. De la Horra, L. Pruzzo y M. R. Palma.** 2002. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. *Biol. Fertil. Soils* 35:219-306.
- Kandeler E. y H. Gerber.** 1988. Short-term assay of urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biol. Fertil. Soils*. 6:68-72.

- Muruganandam S., D.W. Israel y W.P. Robarge.** 2009. Activities of nitrogen-mineralization enzymes associated with soil aggregate size fractions of three tillage systems. *Sci Soc. Am. J.* 73:751-759
- Omidí H., Z. Tahmasebi, H. Torabi y M. Miransari.** 2008. Soil enzymatic activities and available P and Zn as affected by tillage practices, canola (*Brassica napus* L.) cultivars and planting dates *European J. Soil Biol.* 44:443-450.
- Palma, R. M., N. M. Arrigo, M. I. Saubidet y M. E. Conti.** 2000. Chemical and biochemical properties as potential indicators of disturbances. *Biol. Fertil. Soils* 32: 381-384.
- Pascual J.A, T. Hernández, C. García y M. Ayuso.** 1998. Enzymatic activities in an Arid soil amended with urban organic waste: Laboratory Experiment. *Bioresour Technol.* 64: 131-138.
- Pascual, J.A.; C. García y T. Hernández.** 1999. Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil. *Biol. Fertil. Soils.* 30: 1-6.
- Rivero, C., A. Torres; M. León.** 2008. Efecto de la labranza sobre la materia orgánica y la actividad enzimática de un inceptisol venezolano. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 34:65-78.
- Roldán, A., J.R. Salinas-García, M.M. Alguacil, E. Díaz y F. Caravaca.** 2005. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. *Geoderma* 129:178-185.
- Roscoe, R., C. A. Vasconcellos, A. E. F. Neto, G. A. A. Guedes y L. A. Fernandes.** 2000. Urease activity and its relation to soil organic matter, microbial biomass nitrogen and urea-nitrogen assimilation by maize in a Brazilian Oxisol under no-tillage and tillage systems. *Biol. Fertil. Soils* 32:52-59.
- Schomberg, H.H. y O.R. Jones.** 1999. Carbon and nitrogen conservation in dryland tillage and cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1359–1366.
- Tabatabai, M. A. y J. M. Bremner.** 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1:301-307.
- Tracy P.W., D.G. Westfall, G.A. Peterson, E. T. Elliott y C. V. Cole.** 1990. Carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur mineralization in plow and no-till cultivation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:457-461.
- Van Heerden, I., C. Cronjé, S.H. Swart y J.M. Kotzé.** 2002. Microbial, chemical and physical aspects of citrus waste composting. *Bioresourc. Technol.* 81:71-76.
- West, T.O. y W.M. Post.** 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1930–1946.
- White P.M. y C.W. Rice.** 2009. Tillage effects on microbial and carbon dynamics during plant residue decomposition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:138-145.