

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN OXISOLES CON USO CITRÍCOLA

HUMBERTO C DALURZO; DIANA M TOLEDO & SARA VÁZQUEZ

Cátedra de Edafología. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste Sargento Cabral 2131, C.P.: 3400. Corrientes, República Argentina. E-mail: dalurzo@agr.unne.edu.ar.

Recibido: 23/03/05

Aceptado: 01/12/05

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue estimar el efecto del sistema de producción citrícola sobre algunas propiedades químicas y biológicas del suelo, a fin de obtener indicadores de calidad. Se estableció un ensayo con 2 tratamientos: selva subtropical (Sv) y uso citrícola (Ci). El diseño fue en bloques completamente aleatorizados, en cada tratamiento con cuatro parcelas de 18x50 m por tratamiento. Se tomaron muestras compuestas de 0-10 cm de profundidad. Se determinaron: pH, carbono orgánico (CO), materia orgánica particulada (MOP), fósforo asimilable (P), nitrógeno total (Nt), nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM), actividad de la fosfatasa ácida (APA), y respiración del suelo (RES) como variables de respuesta. Se aplicó análisis de la variancia, análisis de correlación y análisis de regresión lineal. El contenido promedio de CO fue mayor en la Sv (4,03 %) respecto al Ci (2,35%). A pesar del aporte de N al Citrus, el Nt y el Npm fueron mayores en la Sv. En la MOP y sus fracciones, se hallaron diferencias significativas presentando la Sv los mayores valores. El Nt explicó el 69% de la variancia de la APA y el CO el 61%: $APA = 1.775 N - 153,7$ ($r^2 = 0,69$). $APA = 221 CO - 230$ ($r^2 = 0,61$). La disminución producida por el uso citrícola revelaría que los atributos: CO, Nt, APA, NPM, MOP y RES, serían indicadores sensibles de la calidad del suelo.

Palabras clave. Calidad de suelo, indicadores, sustentabilidad, Citrus.

ESTIMATION OF CHEMICAL AND BIOLOGICAL PARAMETERS ON OXISOLS WITH CITRUS

ABSTRACT

Knowledge about the impact of agricultural practices on soil quality is very important to plan the use and sustainable management of productive lands. Citrus cropping has recently acquired a significant economic importance in Misiones, Argentina. It is cultivated in different types of soils sensitive to erosion, like Oxisols. The aim of this work was to determine the effect of citrus cropping on some chemical and biological soil quality indicators. The field experiment consisted of 2 treatments: subtropical rainforest (Sv) and citrus (Ci). In 0-10 cm samples the following parameters were measured: pH, organic carbon (OC), particulate organic matter (POM), total nitrogen (TN), available phosphorus (P), acid phosphatase activity (APA), respiration (RES), and potentially mineralizable nitrogen (PMN). The comparisons of the mean treatments were carried out through Duncan's Multiple Range Test ($P < 0.05$). The average OC content was higher in Sv (4.03 %) than in Ci (2.35). In spite of N addition to Citrus, TN and PMN were higher in Sv than in Ci. Sv showed the highest values (statistically different from Ci) in POM and its fractions. Nt accounted for 69% of the APA variance and the OC a 61%: $APA = 1775 TN - 153.7$ ($r^2 = 0.69$). $APA = 221 CO - 230$ ($r^2 = 0.61$). Obtained results showed that citrus cultivation decreases OC, TN, APA, PMN, POM and soil respiration, which accelerated soil degradation. These soil attributes should be considered as indicators to assess soil quality.

Keys words. Soil quality, indicators, sustainability.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el cultivo de citrus ha adquirido gran importancia económica en diferentes suelos de Misiones entre los cuales se encuentran los Oxisoles fácilmente erosionables. Para planificar su uso y manejo sustentable es necesario conocer la evolución de la calidad del suelo bajo diferentes prácticas agrícolas, utilizando indicadores que sean sensibles para detectar cambios, fáciles de medir e interpretar y accesibles para diversos

usuarios. La utilización racional del suelo implica la preservación de la materia orgánica (MO) y de la microflora asociada para no deteriorar la estructura y la capacidad de regular la disponibilidad de macro y micronutrientes (Peirano *et al.*, 1992; Stevenson & Cole, 1999). La MO, considerada como el indicador más significativo de la calidad de suelo (Larson & Pierce, 1991), está muy influenciada por las prácticas agronómicas tales como tipo de cultivo, rotaciones y manejo de residuos (Janzen, 1987).

La MO está compuesta por fracciones de diferente complejidad. Las más lábiles, responsables de suministrar nutrientes a las plantas, son más sensibles a los cambios producidos por las prácticas de manejo del suelo y del cultivo. Estas fracciones se relacionan, en el corto plazo, con la dinámica de nutrientes como el nitrógeno (Álvarez & Álvarez, 2000). Janzen *et al.*, (1998) encontraron que el seguimiento del contenido de materia orgánica particulada (MOP) daba indicios de que el carbono orgánico particulado era la fracción que mejor representaba las variaciones causadas por los diferentes manejos, las que pueden ser atribuidas principalmente a la acumulación de materiales orgánicos lábiles parcialmente descompuestos o a sus respectivas tasas de descomposición.

Drinkwater *et al.* (1996) señalaron que para una evaluación completa de la calidad de suelo, es preciso contar con indicadores que sean sensibles a la calidad de la MO, como lo es el potencial de mineralización de nitrógeno.

Existe una estrecha relación entre el contenido de materia orgánica y la actividad enzimática, estando ambos parámetros influenciados por los cultivos y el sistema de laboreo del suelo. Dentro del sistema enzimático del suelo, las fosfatasa constituyen un grupo de enzimas que catalizan la hidrólisis de ésteres y anhídridos del ácido fosfórico y su importancia radica en la mineralización del fósforo orgánico para su asimilación por las plantas, hecho de especial trascendencia en suelos tropicales donde la deficiencia de P constituye uno de los factores restrictivos para la productividad de los cultivos.

Para cuantificar la actividad del componente biótico, la respiración (RES) es uno de los parámetros más frecuentemente usado. El incremento de la población microbiana trae consigo un incremento en la evolución de CO₂, y éste puede ser usado como índice de la actividad biológica del suelo como respuesta al abonado, al cultivo y a las prácticas agrícolas (Mac Fadyen, 1970; Anderson & Domsch, 1975; Doran & Jones, 1996). El objetivo de este trabajo fue establecer el efecto del sistema de producción citrícola sobre algunas propiedades químicas y biológicas del suelo con el propósito de obtener indicadores de calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la provincia de Misiones, sobre un suelo del orden Oxisol, cuya textura presentó contenidos de arcilla entre 71,4 y 81,9%; de limo entre 8,53 y 20,2% y de arena entre 6,37 y 13%, se llevó a cabo un ensayo con dos tratamientos, bajo condiciones prístinas con selva subtropical (Sv) y bajo cultivo de citrus (Ci). Se aplicó un diseño con cuatro bloques completamente aleatorizados. Cada

bloque correspondió a una localidad diferente. En cada bloque se tomaron 3 lotes de selva subtropical y tres de citrus. El tratamiento Ci, correspondió a plantaciones de citrus de 8 años de edad, con aplicación de fertilizantes (114 kg de N; 55 kg de P; 128 kg de K y 35 kg de Ca ha⁻¹ año⁻¹) y con 20 años de cultivos de escarda previos. Los controles de malezas se realizaron con desmalezadoras de eje vertical en las entrelíneas y con aplicaciones de herbicidas en las líneas del cultivo. Se tomaron doce muestras compuestas de suelo de 0-10 cm por tratamiento. A campo se determinó respiración por el método de Sarrantonio *et al.*, 1996.

En laboratorio se determinó: pH, método potenciométrico en agua destilada, relación 1:2,5 (Dewis & Freitas, 1970); CO (Nelson & Sommers 1996); MOP (Cambardella *et al.*, 1999); P, Bray & Kurtz II (Dewis & Freitas, 1970); Nt (Bremner & Mulvaney, 1982); NPM (Waring & Bremner modificado por Keeney, 1982); APA (Eivazi & Tabatabai, 1977).

Los tratamientos se compararon con un análisis de variancia. Las comparaciones de las medias entre tratamientos se realizaron por la prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0,05$), efectuándose además análisis de correlación y análisis de regresión lineal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los valores obtenidos para los atributos químicos y biológicos evaluados.

El pH correspondió en todos los casos a suelos ácidos a ligeramente ácidos, y no hubo variaciones con el uso del suelo.

La diferencia significativa de CO entre tratamientos puede ser explicada por el desmonte, los cultivos de escarda previos y el uso citrícola posterior que incrementaron la mineralización de la materia orgánica del suelo en la situación Ci. La mayor descomposición de la MO se obtuvo en suelos agrícolas, debido a la alteración producida por el laboreo, como fuera hallado por varios autores (Dalal & Mayer, 1986; Havlin *et al.*, 1990; Carter *et al.*, 1998). Las disminuciones de CO afectarían a la productividad del suelo, por ser un factor clave para la estructura, incidiendo en las relaciones suelo-agua y en la erosión potencial así como en los ciclos de nutrientes y por ende en la fertilidad (Tisdale & Oades, 1982).

El Nt fue mayor en la Sv que en el Ci ($P < 0,0001$), a pesar del aporte de N al Citrus, manteniéndose ambos tratamientos en rangos considerados como bien provistos. Similares resultados fueron hallados por Dalurzo (2002) en suelos prístinos bajo selva misionera, contrastando con suelos bajo yerba mate con labranza convencional. También el Ci presentó menores contenidos de NPM con respecto a la Sv, lo cual se vincularía a la estrecha relación existente entre el CO con el Nt y el NPM.

El valor promedio de respiración del suelo en condiciones naturales fue mayor en suelos bajo cultivo

($P < 0,0344$). El coeficiente de variación de la RES fue de 39,24%, similar a lo hallado por otros autores (De Jong, 1981; Rochette *et al.*, 1991), dada la gran variabilidad que posee dicho parámetro. Los datos de respiración de

suelos presentan una amplia variabilidad ya que dependen de varios factores entre los que se destacan temperatura y humedad (Wild, 1992).

El mayor promedio de APA correspondió a la Sv en

Tabla 1. Valores de pH en agua, carbono orgánico (CO), respiración (RESP), fósforo asimilable (P), actividad de la fosfatasa ácida (APA), nitrógeno total (Nt), nitrógeno potencialmente mineralizable (Npm), materia orgánica particulada total (MOP), fracción de 2 a 0,5 mm (MOPa), y fracción de 0,5 a 0,05 mm (MOPb) del suelo bajo selva (Sv) y citrus (Ci) correspondientes a muestras superficiales de Oxisoles de Misiones.

Table 1. Values of pH in water, acid phosphatase activity (APA), organic carbon (CO), respiration (RES), assimilable phosphorus (P), total nitrogen (Nt), potentially mineralizable nitrogen (Npm) and particulate organic matter (MOP), fracción de 2 a 0,5 mm (MOPa), y fracción de 0.5 a 0.05 mm (MOPb) in the soil under rainforest (Sv) and citrus (Ci) corresponding to surface samples of Misiones Oxisols.

Variables	Tratamientos	Mínimo	Medio	Máximo	Valor de "F"	Coef. de var.	Desvío est.
pH	Sv	3,76	4,87a	6,44	0,17 ns	14,11	0,68
	Ci	4,31	4,76a	5,36			
CO (%)	Sv	3,18	4,03a	5,30	50,59***	31,57	1,007
	Ci	1,83	2,35 b	3,42			
RES (kg CO ₂ ha ⁻¹)	Sv	27,99	47,32a	72,43	5,19*	39,24	15,83
	Ci	9,37	33,37 b	59,07			
P (mg kg ⁻¹)	Sv	2,85	4,59 b	8,11	6,51*	88,67	9,47
	Ci	1,26	12,48a	35,43			
APA (mg de p-nitrofenol kg ⁻¹ h ⁻¹)	Sv	304	684a	1.039	47,20***	30,91	286
	Ci	140	270b	426			
Nt (g kg ⁻¹)	Sv	3,4	4,7a	6,5	71,74***	37,87	0,135
	Ci	1,9	2,4b	3,1			
Npm (mg kg ⁻¹)	Sv	74,5	199a	322	10,27**	68,51	98,95
	Ci	53,7	89,2b	343			
MOPa (mg g ⁻¹)	Sv	2,80	4,20a	7,57	6,02*	46,85	1,61
	Ci	1,14	2,66b	5,44			
MOPb (mg g ⁻¹)	Sv	5,05	9,60a	18,53	5,24*	45,56	3,64
	Ci	2,68	6,36b	8,82			
MOP (mg g ⁻¹)	Sv	8,07	13,80a	21,73	6,74*	42,14	4,81
	Ci	4,01	9,03b	14,18			

Nota: los valores con letras en común, no son diferentes estadísticamente. ns no significativo

*Indica significación al 0,05 ** Indica significación al 0,01 ***Indica significación al 0,0001.

Note: the values having letters in common are not statistically different. ns not significant

*Indicates significance to 0.05 ** Indicates significance to 0.01 ***Indicates significance to 0.0001.

comparación al Ci ($P < 0,0001$). Dalurzo *et al.* (2004) encontraron en Eutrudoxes Ródicos del sur de Misiones, una disminución significativa de la APA en cultivos de yerba mate con labranza convencional ($30 \text{ mg de p-nitrofenol kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) respecto a la situación prístina. La elevada actividad de la APA, en suelos de la selva subtropical, podría deberse al gran número de raíces presentes en los primeros 10 cm que incrementaría la secreción de dicha enzima, como fuera informado por Ozawa *et al.* (1995).

La mayor actividad biológica, reflejada en los valores de RES y de APA en suelos bajo selva, sería atribuible a una mayor cantidad de sustratos disponibles para la flora y fauna del suelo.

El contenido promedio de P asimilable fue mayor en el Ci que en la Sv, debido a la fertilización fosfatada efectuada periódicamente en las plantaciones. Fernández López *et al.* (2002) hallaron que al realizar el fracciona-

miento de P en suelos Eutrudoxes y Hapludoxes de Misiones este elemento se fue mineralizando a fracciones más lábiles quedando en el corto plazo disponible para los cultivos.

La MOP y las fracciones MOPa y MOPb, presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 1), correspondiendo los mayores valores a la condición prístina ($P < 0,05$) respondiendo esta variable a los cambios en el uso del suelo. Cualquier decisión de manejo, tendiente a alterar la dinámica de la MOP, tendría incidencia sobre el ambiente físico y químico-bioquímico del suelo (Cambardella & Elliot, 1992).

El porcentaje de MOP dentro de la MO total fue en promedio para la selva de 19,9% y para citrus de 22,3%. Los mayores valores para Ci se atribuyen al aporte permanente de la cobertura vegetal y de las raíces de las gramíneas existentes entre las líneas de plantación. Janzen

Tabla 2. Matriz de Correlación (coeficientes, probabilidades), entre pH en agua, carbono orgánico (CO), respiración (RES), fósforo asimilable (P), la actividad fosfatasa ácida (APA), nitrógeno total (Nt), nitrógeno potencialmente mineralizable (Npm), materia orgánica particulada total (MOP), fracción de 2 a 0,5 mm (MOPa), y fracción de 0,5 a 0,05 mm (MOPb). $n = 24$

Table 2. Correlation Matrix (coefficients, probabilities), between pH in water, organic carbon (CO), respiration (RES), assimilable phosphorus (P), phosphatase activity (APA), total nitrogen (Nt), potentially mineralizable nitrogen (Npm) and particulate organic matter (MOP), fracción de 2 a 0.5 mm (MOPa), y fracción de 0.5 a 0.05 mm (MOPb). $n = 24$

	pH	C O	RES	P	APA	Nt	Npm	MOPa	MOPb	MOP
pH	1 0,0									
C O	0,174 0,415	1 0,0								
RES	-0,110 0,608	0,436 0,033	1 0,0							
P	-0,211 0,323	-0,305 0,148	-0,189 0,376	1 0,0						
APA	0,301 0,152	0,779 0,0001	0,308 0,143	-0,355 0,089	1 0,0					
Nt	0,415 0,044	0,889 0,0001	0,436 0,033	-0,336 0,108	0,834 0,0001	1 0,0				
Npm	0,625 0,001	0,758 0,0001	0,281 0,183	-0,392 0,058	0,695 0,0002	0,785 0,0001	1 0,0			
MOPa	0,126 0,557	0,707 0,0001	0,260 0,219	-0,245 0,249	0,566 0,004	0,529 0,008	0,579 0,003	1 0,0		
MOPb	-0,082 0,704	0,593 0,002	0,575 0,003	-0,017 0,936	0,422 0,398	0,540 0,007	0,354 0,089	0,627 0,001	1 0,0	
MOP	-0,20 0,926	0,684 0,0002	0,522 0,009	-0,095 0,660	0,508 0,011	0,584 0,003	0,461 0,023	0,808 0,0001	0,966 0,0001	1 0,0

et al. (1992) encontraron elevados valores de carbono en la fracción MOP al incluir forrajeras perennes en las rotaciones, comparativamente con los suelos bajo barbecho, debido a que el aporte de C realizado por las raíces de las plantas puede resultar relevante dentro del total que realizan los cultivos al suelo. Buyanovsky & Wagner (1986) encontraron que las raíces de gramíneas como el maíz y el trigo aportaban aproximadamente entre 58 y 62% del C provisto por los residuos aéreos.

El P correlacionó negativamente con la APA debido a la aplicación de fertilizantes antes mencionada, ya que repetidas adiciones de P suprimen la actividad de las fosfatasas como fuera citado por Dick (1994). La correlación entre el P y el resto de las propiedades del suelo fueron negativas y no significativas (Tabla 2).

El CO y el Nt, presentaron correlaciones positivas y altamente significativas con la mayoría de los atributos evaluados.

Se obtuvo una relación directa y significativa entre el pH y Nt ($r=0,42$; $P<0,044$), y el NPM ($r=0,62$; $P<0,001$). Asimismo la relación entre CO y APA fue altamente significativa, obteniéndose un $r = 0,78$ ($P<0,0001$), en concordancia con Bergstrom *et al.*, (1998) quienes seña-

laron que dicha actividad enzimática podría tomarse como una indicadora del contenido de materia orgánica del suelo.

Si bien el efecto del uso citrícola pudo ser evaluado a través de diferentes atributos de suelo, que presentaron homocedasticidad, algunos de ellos como la APA, de determinación más compleja, y por lo tanto inadecuado para análisis de rutina, podría ser estimada a través de otros indicadores para lo cual se presentan las ecuaciones de regresión, donde el Nt explicó el 69% de la variancia de la APA (Tabla 3) y el CO el 61% (Tabla 4), según se observa a continuación:

$$APA = 1.775 \text{ Nt} - 153,7 \text{ (} r^2 = 0,69 \text{)}$$

$$APA = 222 \text{ CO} - 230 \text{ (} r^2 = 0,61 \text{)}$$

La disminución producida por el uso citrícola en Oxisoles de Misiones, revelaría que los atributos: carbono orgánico, nitrógeno total, actividad de la fosfatasa ácida, nitrógeno potencialmente mineralizable, materia orgánica particulada y respiración del suelo, serían indicadores sensibles de la calidad del suelo.

Tabla 3. Estimación de Parámetros y error estándar del intercepto de la regresión entre la actividad de la fosfatasa ácida (APA) y el nitrógeno total (Nt) del suelo bajo selva (Sv) y citrus (Ci) correspondientes a muestras superficiales de Oxisoles de Misiones. Table 3. Parameter estimates and standard error of intercept of the regression between the acid phosphatase activity (APA) and total nitrogen (Nt), in the soil under rainforest (Sv) and citrus (Ci) corresponding to surface samples of Misiones Oxisols.

Variable	G. de libertad	Estimación del parámetro	Error	Valor de "t"	Pr > t
Intercepto	1	-153,7	95,1	-1,62	0,1201
Nitrógeno total	1	1.775	251	7,08	0,0001

R-Square 0,695
Adj R-Sq 0,681
Coeff Var 33,93

Tabla 4. Estimación de Parámetros y error estándar del intercepto de la regresión entre la actividad de la fosfatasa ácida (APA), y el carbono orgánico (CO) del suelo bajo selva (Sv) y citrus (Ci) correspondientes a muestras superficiales de Oxisoles de Misiones.

Table 4. Parameter estimates and standard error of intercept of the regression between the acid phosphatase activity (APA) and organic carbon (CO), in the soil under rainforest (Sv) and citrus (Ci) corresponding to surface samples of Misiones Oxisols.

Variable	G. de libertad	Estimación del parámetro	Error	Valor de "t"	Pr > t
Intercepto	1	-230	126,9	-1,81	0,0835
Nitrógeno total	1	222	38,0	5,83	0,0001

R-Square 0,607
Adj R-Sq 0,589
Coeff Var 38,50

BIBLIOGRAFÍA

- Allan, DL & R Killorn. 1996. Assessing soil nitrogen, phosphorus and potassium for crop nutrition and environmental risk *In*: J.W. Doran and Alice J. Jones (ed.). Methods for assessing soil quality. SSSA Special. Publ. 49. Soil Science Society of America Inc. Madison. 187-201 pp.
- Alvarez, R & CR Alvarez. 2000. Soil organic matter pools and their associations with carbon mineralization kinetics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:184-189.
- Anderson, JO & KH Domsch. 1975. Measurement of bacterial fungal contribution to respiration on selected agricultural and forest soil. *Can. J. Microbiol.* 21:314-322.
- Bayer, CL; J Martin Neto; C Mielnizuck; N Pillo & L Sangoni. 2001. Changes in soil organic fractions under subtropical no-till cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1473-1478.
- Bergstrom, DW; CM Monreal & DJ King. 1998. Sensitivity of soil enzyme activities to conservation practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1286-1295.
- Bremner, AE & CS Mulvaney. 1982. Total nitrogen. Pp. 595-624. *In*: AL Page; RH Miller; DR Keeney (eds.). Methods of soil analysis. Part 2. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Buyanovsky, GA & GH Wagner. 1986. Post-harvest residue input to cropland. *Plant Soil* 93: 57-65.
- Cambardella, CA & ET Elliot. 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. 1999. Estimation of particulate an total organic matter by weight loss-on-ignition. *In*: R. Lal, JF Kimble & RF Follet (eds). Carbon methods. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Carter, MR; EG Gregorich; DA Angers; RG Donald & MA Bolinder. 1998. Organic C and N storage, and organic C fractions, in adjacent cultivation and forested soils of eastern Canada. *Soil Till. Res.* 47: 253-261.
- Dalal, RC & RJ Mayer. 1986. Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland: III. Distribution and kinetics of soil organic carbon in particle-size fractions. *Aust. J. Soil Res.* 24: 293-300.
- Dalurzo, HC. 2002. Agregado de residuos orgánicos en suelos ferralíticos. Efecto sobre variables que estiman sustentabilidad. Tesis Magister Scientiae. UNNE.-UBA. Corrientes. Argentina. Pp. 250.
- Dalurzo, HC; DM Toledo & S Vazquez. 2004. Actividad de la fosfatasa ácida con diferentes usos del suelo en Eutrodoxes Ródicos del sur de Misiones. *Revista Venesuelos* 1: 24-28.
- De Jong, E. 1981. Soil aeration as affected by slope position and vegetative cover. *Soil Sci.* 131: 34-43.
- Dewis, J & F Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Pp. 36-57. Boletín sobre suelos N° 10. FAO. Roma.
- Dick, RP. 1994. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. Cap.7. Pp.107. *In*: Doran *et al.* (eds.). Defining soil quality.
- Doran, JW & A Jones. 1996. Methods for assessing soil quality. SSSA Special Publ. 49. Soil Science Society of America Inc. Madison, WI.
- Drinkwater, LE; C Cambardella; JD Reeder & CW Rice. 1996. Potentially mineralizable nitrogen as an indicator of biologically active soil nitrogen. Pp. 217-230. *In*: J.W. Doran and Alice J. Jones (eds.). Methods for assessing soil quality. SSSA Special Publ. 49. Soil Science Society of America Inc. Madison, WI.
- Eivazi, F & MA Tabatabai. 1977. Phosphatases in soils. *Soil Biol. Biochem.* 9:167-172.
- Fernández López, C; S Vazquez & HC Dalurzo. 2003. Cambio de las formas de fósforo en Oxisoles con distintas dosis de fertilizantes. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes. Argentina.
- Fierer, N & JP Schimel. 2003. A Proposed mechanism for de pulse in carbon dioxide production commonly observed following de rapid rewetting of a dry soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:798-805.
- Hashimoto, S & M Suzuki. 2002. Vertical distribution of carbon dioxide diffusion coefficients and production rates in forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1151-1158.
- Havlin, JL; DE Kissel; LD Maddux; MM Claassen & JH Long. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 448-452.
- Keeney, DR & RA Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. Pp. 643-698. *In*: Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Page *et al.* (eds.). Agronomy monogr. N° 9. 2nd edn. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Janzen, HH. 1987. Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. *Can. J. Soil Sci.* 67:845-856.
- Janzen, HH; CA Campbell; SA Brandt; GP Lafond & L Townle Smith. 1992. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1799-1806.
- Janzen, HH; CA Campbell; RC Izaurralde; BH Ellert; N Juma & WB McGill *et al.*, (eds.). 1998. *Soil Tillage Res.* 47:181-95.
- Keeney, DR & RA Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. Pp. 643-698. *In*: Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Page *et al.* (eds.). Agronomy monogr. N° 9. 2nd edn. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Larson, WE & FJ Pierce. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. Pp.175-203. *In*: Evaluation of sustainable management in the developing world. Vol 2. IBSRAM Proc. 121 (2). Thailand Int. Board for soil Res. and Management, Bangkok.
- MacFadyen, A. 1970. Simple methods for measuring and maintaining the proportion of carbon dioxide in air for use in ecological studies of soil respiration. *Soil Biology & Biochemistry* 2: 9-18.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 961-1010. *In*: J.M. Bigham (ed.). Methods of soil analysis. Part. 3. Chemical Methods. ASA and SSSA, Madison, WI..
- Ozawa, K; M Osaki; H Matsui; M Honma & T Tadano. 1995. Purification and properties of acid phosphatase secreted from lupin roots under phosphorus-deficiency conditions. *Soil. Sci. Plant Nutr.* 41:461-469.
- Peirano, P; M Aguilera; G Borie & M Caiozzi. 1992. Actividad biológica en suelos volcánicos y su relación con la dinámica de la materia orgánica. *Agricultura Técnica* 52:367-371. Chile.

- Rochette, P; L Desjardins & E Pattey. 1991. Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. *Can. J. Soil Sci.* 71: 189-196.
- Sarrantonio, M; JW Doran; MA Liebig & JJ Alvorson. 1996. On farm assessment of soil quality and health. Pp. 83-105. *In*: JW Doran & AJ Jones (eds.). Methods for assessing soil quality. SSSA. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Stevenson, FJ & MA Cole. 1999. Cycles of soil. Pp. 427. 2nd Ed. John Wiley & Sons. New York, USA.
- Tisdale, JM & JM Oades. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci. Soc. Am. J.* 33:141-163.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Pp. 1045. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.