

EVALUACIÓN DE ATRIBUTOS DEL SUELO PARA SU UTILIZACIÓN COMO INDICADORES DE CALIDAD Y SOSTENIBILIDAD EN ENTRE RÍOS¹

M.G. WILSON², C.E. QUINTERO³, N.G. BOSCHETTI³, R.A. BENAVIDEZ³ y W.A. MANCUSO⁴

RESUMEN

En Entre Ríos, en los últimos años, se ha incrementado la superficie destinada a la agricultura, provocando una fuerte presión sobre tierras marginales o poco aptas para dicho fin. La detección y seguimiento de ciertos indicadores permiten representar tendencias a la recuperación o degradación de los recursos según el uso al que sean sometidos. El objetivo del trabajo fue evaluar e identificar los atributos del suelo más sensibles a los cambios ocasionados por el uso y manejo, para su utilización como indicadores de calidad y sostenibilidad.

Se seleccionaron 18 lotes representativos del uso actual en una zona agrícola-ganadera del centro-oeste de la provincia, desde netamente ganadero bajo monte, hasta una agricultura continua de 30 años con rotaciones agrícola-ganaderas de variada duración. Se evaluaron atributos físicos, químicos y biológicos del suelo, identificando los más sensibles a cambios ocasionados por el uso y manejo, para ser utilizados como indicadores de calidad del suelo.

La calidad del suelo fue afectada por el uso. La agricultura continua provocó un deterioro generalizado del suelo, mientras que las pasturas se mostraron efectivas para su recuperación. Los atributos más sensibles fueron la estabilidad de agregados y la materia orgánica. La tasa de degradación anual, en el período agrícola, fue similar a la velocidad de recuperación mostrada por las pasturas. Se considera apropiado realizar una rotación con igual número de años de agricultura que de pastura para mantener al suelo en una condición estable o un mayor número de años de pastura para lograr su recuperación.

Palabras clave. calidad del suelo - indicadores de calidad - sostenibilidad.

EVALUATION OF ATTRIBUTE OF SOILS FOR THEIR USE AS INDICATORS OF QUALITY AND SUSTAINABILITY, IN ENTRE RÍOS PROVINCE

SUMMARY

In the last years, in Entre Ríos province Argentina, it has been increased the surface used for the agriculture. The soil quality is a critical component of the sustainable agriculture, and for their evaluation and monitoring is required of indicators that represent trends to the recovery or degradation of the soil resource. The objective of the work was to evaluate and to identify the attributes from the most sensitive floor to the changes caused by the use and management of resource, for its use like indicators of quality and sustainability.

18 representative places were selected of the current use in the zone, from livestock under woodland until an agriculture of 30 years, going through rotations agriculture- livestock of assorted length. Attributes of the soil were evaluated and were identified those most sensitive to the changes caused by the use and management to be used as indicators of quality.

Structural stability, organic carbon and total nitrogen are considered as appropriate to be used as indicators of soil quality according to their use and management. The relationship among the attributes and the years of use has adjusted to a linear model. Therefore the degradation rate due to the agriculture would be similar to that of recovery by the pastures, but of inverse sign.

Key words. soil quality - indicators quality - sustainable agriculture.

¹Trabajo financiado por SICTFRH UNER, CONICET, CAPFTA.

²Becario Dirección CTyM Gno. de Entre Ríos. Adscripto ad-honorem Cátedra de Ecología, FCA UNER

³Cátedra de Edafología, FCA UNER. CC 24 (3.100) Paraná, Entre Ríos. E-mail: cquinter@arnet.com.ar, mwilson@fca.uner.edu.ar

⁴Cátedra de Sociología y Extensión Rural, FCA UNER. AER Paraná INTA

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de una región requiere de planteos agropecuarios que utilicen sistemas eficientes respecto a la productividad y estabilidad de los agroecosistemas. Según UICN/PNUMA/WWF (1991), el desarrollo basado en la conservación de los recursos debe abarcar actividades explícitamente destinadas a proteger la estructura, las funciones y la diversidad de los sistemas naturales. En los últimos años, en la provincia de Entre Ríos, se ha incrementado la superficie destinada a la agricultura, provocando una fuerte presión sobre tierras marginales o poco aptas. Para tal fin, Rabbinge (1997), sostiene que el manejo ineficiente y la utilización de prácticas inapropiadas puede conducir a un masivo proceso de degradación y disminución de la productividad de los recursos.

La agricultura sostenible tiende a reemplazar una tecnología de insumos por otra de procesos. En general estos procesos son abstractos y difíciles de visualizar, pero sus efectos suelen traducirse en una modificación de las propiedades o de la composición del medio. La detección y el seguimiento de ciertas variables o indicadores contribuye a evaluar el grado de sostenibilidad de la tecnología utilizada (Verde y Viglizzo, 1994).

La calidad del suelo puede definirse como su capacidad para sostener una productividad biológica, funcionando dentro de los límites del ecosistema, manteniendo la calidad del ambiente y promoviendo la salud de plantas y animales (Doran y Parkin, 1994). El suelo se caracteriza por medio de atributos funcionalmente interrelacionados. La evaluación del manejo debe realizarse a través de la comparación entre un sistema y otro más sostenible y por su dinámica, determinada por la evolución en el tiempo de los atributos de la calidad del suelo (Larson y Pierce, 1994).

Un indicador de calidad del suelo es necesario para identificar áreas con problemas, buscando estimadores realistas de producción y monitoreando cambios en la calidad ambiental, relacionados al manejo agrícola. Por lo tanto, los indicadores deben representar globalmente tendencias a la recuperación o degradación de los recursos según el uso

al que sean sometidos (Gramatstein y Bezdichk, 1992, citado por Doran y Parkin, 1994).

Vázquez *et al.* (1990), evaluaron el estado de degradación, la dinámica de parámetros químicos (C total y liviano, N total e hidrolizable), y la estabilidad estructural bajo condiciones de pastura y agricultura en tres zonas de la pradera pampeana (Buenos Aires). Hallaron valores considerablemente diferentes para las zonas y las condiciones de uso estudiadas, destacando a la estabilidad estructural como la variable más afectada por el uso de los suelos, conforme al tipo de agricultura practicada y al número de años.

Orellana y Pilatti (1994), en suelos de Santa Fe evaluaron la validez de la estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad, y concluyeron que la misma puede reflejar efectos degradantes o recuperadores del uso del suelo, destacando que la técnica elegida (Hénin *et al.*, 1972) permite interpretar varios aspectos edáficos merced al empleo de pretratamientos.

Pilatti *et al.* (1998), proponen variables edáficas para su utilización como indicadores de sostenibilidad a nivel de agroecosistema, considerando como indicadores útiles al intervalo hídrico óptimo, la estabilidad relativa, la infiltración, el pH, el fósforo disponible y el nitrógeno activo. Por otro lado Doran y Parkin (1994), proponen una serie de características físicas, químicas y biológicas del suelo para ser incluidas como indicadores básicos de calidad.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar atributos físicos, químicos y biológicos del suelo e identificar aquellos más sensibles a los cambios ocasionados por el uso y manejo, para su utilización como indicadores de calidad y sostenibilidad edáficos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó en un área del centro-oeste de Entre Ríos, en una zona homogénea donde predominan suelos Argiudoles vérticos, con un horizonte A de textura franco-limosa, y gran susceptibilidad a la erosión hídrica debido a pendientes de 1-3% y a un horizonte subsuperficial denso y poco permeable. La actividad principal es el cultivo de trigo, soja y maíz en combina-

ción con pasturas plurianuales basados en alfalfa y verdeos de avena y sorgo forrajero para producción de leche y carne.

Se seleccionaron 18 lotes en campos de productores, para relevar una amplia gama de situaciones, desde netamente ganadero bajo monte, a una agricultura continua de 30 años (sin considerar el sistema de labranza utilizado), pasando por rotaciones agrícola-ganaderas de variada duración. Se clasificaron en 3 condiciones respecto al uso actual del suelo: inalterado, pastura y agricultura (Cuadro N° 1).

Los suelos fueron muestreados en junio de 1995, en áreas representativas de los lotes. Por cada sitio se extrajeron 2 muestras compuestas superficiales (0-15 cm de profundidad), confor-

mas cada una por 5 submuestras, tomadas con pala sin comprimir.

Se evaluó carbono orgánico (Walkley-Black), nitrógeno total (Kjeldahl), reacción del suelo -pH- evaluado potenciométricamente en relación suelo agua de 1:2,5 (Jackson, 1976), fósforo extraíble (Bray y Kurtz N°1, 1945), índice de estabilidad estructural del suelo con pretratamientos: agua, alcohol y benceno, índice k de percolación (Henin *et al.*, 1972; Carlevaro *et al.*, 1991), carbono de la biomasa microbiana (Jenkinson y Powlson, 1976), contenido hídrico a tensiones de 33 y 1500 kPa en un equipo de placa y olla de presión de Richard.

La dinámica de los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo según las condiciones de uso, fue analizada mediante regresión simple lineal y no

Cuadro N° 1. Uso actual en los lotes seleccionados y clasificación según condición: I inalterado, P pastura y A agricultura.

Lote		Uso actual
1	I	Monte nativo sucesional de 40 años, con pastizal natural. Uso actual: cría.
2	I	Superficie de parque en los alrededores del Casco, con pastos sometidos a cortes periódicos.
3	P	15 años de pradera (achicoria+alfalfa) con 2 intersembras de alfalfa.
4	P	10 años de pradera (achicoria+alfalfa).
5	P	6 años de pradera (lotus+trébol rojo+alfalfa+festuca).
6	P	5 años de pradera alfalfa.
7	P	4 años de pradera (lotus+trébol rojo+alfalfa+festuca).
8	P	3 años de pradera (alfalfa+cebadilla criolla). Previamente 4-5 años de verdeos de verano, y lino.
9	P	3 años de pradera alfalfa. Previamente 10 años agricultura (1 cultivo por año).
10	P	1 año de pradera (lotus+trébol rojo+cebadilla criolla+pasto ovillo). Previamente 6 años de agricultura continua.
11	A	4 años de agricultura (sorgo, maíz, trigo/soja). Previamente desmonte de renoval de 15 años y luego agricultura continua.
12	A	5 años de agricultura. En el momento de muestreo, suelo preparado para cama de siembra. Previamente desmonte de renoval, luego agricultura continua.
13	A	12 años de agricultura. Rotación trigo/soja, maíz. Previamente desmonte de renoval, luego agricultura continua.
14	A	12 años de agricultura. Rotación trigo/soja, maíz. Previamente desmonte de renoval, luego agricultura continua.
15	A	13 años de agricultura. Rotación trigo, lino, soja, maíz, con predominancia de cultivos de grano grueso.
16	A	15 años de agricultura. Rotación trigo/soja y lino.
17	A	30 años de agricultura. Al momento del muestreo sin laboreo en el último año.
18	A	30 años agricultura. Al momento de muestreo, suelo preparado para cama de siembra. Rotación trigo/soja, maíz.

lineal (exponencial, logarítmica, potencial, binomiales). Se estableció una escala arbitraria con centro en el 0; valores superiores a 0 indican años de agricultura crecientes mientras que, valores inferiores representan años crecientes de pastura. Para detectar la sensibilidad de cada variable en relación al uso se priorizó el grado de ajuste entre la variable y los años (por medio del R^2 y la significancia), además se tuvo en cuenta la pendiente relativa dado que la variable más sensible es la que mayor cambio presenta por cada año de uso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro N° 2 se presenta la caracterización edáfica a nivel superficial de los lotes seleccionados.

La calidad del suelo fue afectada por el uso. La agricultura continua provocó un deterioro generalizado del suelo, mientras que las pasturas permanentes se mostraron como una alternativa de recu-

peración. La estabilidad estructural fue la característica más afectada por el uso.

En el Cuadro N° 3 se presentan las funciones lineales de los atributos evaluados del suelo en valores absolutos y relativos a la condición inalterado, ordenados según valores decrecientes del coeficiente de determinación.

En coincidencia con lo presentado por Vázquez *et al.* (1990), los modelos lineales resultaron satisfactorios para describir la relación entre algunos atributos y el uso del suelo (Cuadro N° 3). Los modelos de ajuste no-lineal, no mejoraron sustancialmente los ajustes logrados linealmente.

Dentro de los modelos lineales que tuvieron un ajuste de una significancia menor al 0,0005 el atributo más sensible fue **Ea Be**, dado que presentó la mayor variación en la tasa anual relativa. Le siguen en importancia **Ea Ag** y la materia orgánica (**CO** y **Nt**).

En la Figura 1 se presenta la dinámica de **Ea Be** en función de la condición de uso del suelo. La tasa

Cuadro N° 2. Caracterización edáfica a nivel superficial de los lotes seleccionados

Lotes	Ea Ag (%)	Ea Al (%)	Ea Be (%)	k (cm/h)	CO (%)	Nt (%)	pH	Pe (ppm)	C-biom (mg/kg)	PMP (%)	CC (%)
1	69,5	78,4	66,5	19,4	3,76	0,32	6,1	31,6	930	20,3	33,8
2	51,4	70,4	42,9	12,9	4,24	0,36	6,8	11,9	855	22,3	35,0
3	34,1	63,6	36,0	16,4	2,71	0,22	6,5	8,3	548	17,4	31,5
4	51,0	69,2	47,4	17,6	2,71	0,24	6,4	8,2	883	20,0	30,5
5	61,3	68,8	48,8	6,0	2,03	0,17	6,9	3,8	261	22,2	37,0
6	26,1	64,6	14,3	23,2	2,98	0,24	6,1	7,1	391	17,5	30,8
7	51,4	73,3	37,6	16,4	2,72	0,21	6,2	3,7	232	17,1	30,7
8	31,0	67,1	20,7	14,8	2,80	0,22	6,0	15,2	475	19,6	31,6
9	52,4	65,7	17,4	14,8	2,35	0,20	7,1	4,9	624	33,0	46,6
10	33,1	65,8	20,4	12,4	2,76	0,21	6,1	11,6	237	19,1	30,5
11	29,1	65,2	17,6	17,8	2,58	0,19	6,1	11,6	452	19,6	30,5
12	35,3	60,8	30,3	12,7	2,59	0,19	6,1	9,1	551	19,9	31,0
13	46,9	67,5	27,9	10,8	2,81	0,27	6,7	32,4	766	29,8	40,2
14	34,2	61,4	18,9	18,1	2,83	0,22	6,3	11,0	431	19,9	32,6
15	18,5	56,4	11,6	13,2	2,06	0,17	6,0	15,6	262	14,0	26,7
16	13,4	54,9	7,7	9,9	1,69	0,17	6,0	9,9	25	13,1	27,1
17	18,7	46,7	11,0	8,9	1,76	0,14	6,4	6,6	317	14,3	25,5
18	22,9	58,6	14,0	10,2	2,39	0,17	6,0	15,6	594	18,0	31,9

Ea es % agregados estables, pretratamientos agua (Ag), alcohol (Al) y benceno (Be) respectivamente; k índice de percolación; CO carbono orgánico; Nt nitrógeno total; pH reacción del suelo; Pe fósforo extraíble; CBM carbono biomasa microbiana; CC y PMP contenido hídrico a tensión de 33 y 1500 kPa.

Cuadro N° 3. Funciones de ajuste para los atributos evaluados del suelo. Los resultados se presentan en valores absolutos y relativos a la condición inalterado, n = 18.

Atributos del suelo	Valores absolutos		Significancia	R ²	Valores relativos	
	a	b			a	b
Agregados estables al alcohol	64,53	-0,3456	0,0000	0,688	0,867	-0,005
Agregados estables al benceno	27,65	-0,7439	0,0001	0,645	0,505	-0,014
Carbono Orgánico	2,666	-0,0265	0,0004	0,550	0,667	-0,007
Agregados estables al agua	38,11	-0,6713	0,0005	0,546	0,630	-0,011
Nitrógeno total	0,217	-0,0023	0,0005	0,541	0,646	-0,007
Carbono biomasa microbiana	49,45	-0,7355	0,0320	0,256	0,554	-0,008
Indice de percolación	14,32	-0,1146	0,0491	0,221	0,882	-0,007
Contenido hídrico a 33kPa (CC)	32,45	-0,0833	0,2390	0,085	0,944	-0,002
Reacción del suelo (pH)	6,31	-0,0054	0,2795	0,073	0,977	-0,001
Contenido hídrico a 1500kPa (PMP)	19,87	-0,0682	NS	0,058	0,933	-0,003
Fósforo extraíble	12,57	-0,1115	NS	0,055	0,559	-0,003

NS: no significativo. n = 18.

de degradación anual en el período agrícola fue similar a la velocidad de recuperación mostrada por las pasturas, $Ea Be = 27,7 - 0,744 \text{ año}$ $R^2 = 0,65$. Al situarse en el valor 0 de la escala en abscisas, se observa que para años crecientes de agricultura continua los valores de los indicadores disminuyen en forma considerable, mejorando con

años crecientes de pasturas.

Vivas y Fontanetto (1986), observaron que la disminución en el contenido de materia orgánica y del porcentaje de agregados estables al agua en los suelos con varios años de agricultura, son signos evidentes de degradación. La Ea es considerada a su vez por Orellana y Pilatti (1994) como un

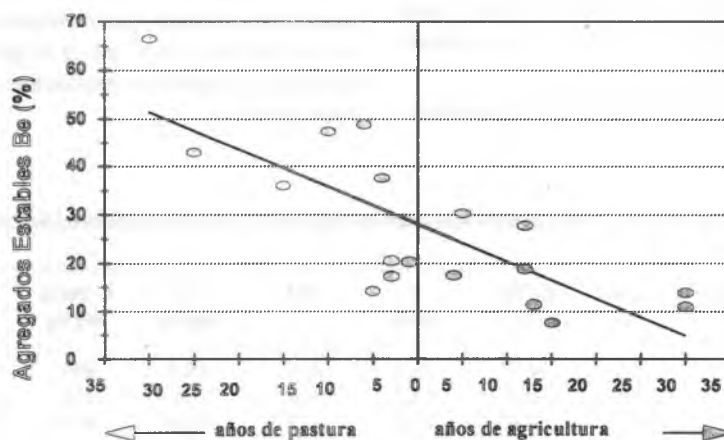


Figura 1. Relación entre el uso del suelo y el % de agregados estables al benceno.

componente importante de la calidad del suelo, dado que sus valores son resultantes de la calidad de poros, el tenor orgánico producto de los aportes y la actividad biológica. De manera similar, Vázquez *et al.* (1990) encontraron que la **Ea** fue el indicador más sensible en función del uso del suelo. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que una alta **Ea** no garantiza una buena salud edáfica, dado que puede observarse una mayor **Ea** en suelos compactados o en aquellos más arcillosos debido a la erosión (Orellana *et al.*, 1997).

En el Cuadro N° 4 se resumen los resultados obtenidos de los indicadores seleccionados para las condiciones inalterado, pastura y agricultura.

Al comparar los valores medios de las condiciones pastura y agricultura con la condición inalterado, se observan los efectos degradantes o recuperadores del uso y manejo, según se someta un suelo a agricultura o a pastura. Orellana y Pilatti (1994) propusieron como indicador de suelos degradados a la estabilidad relativa en agua ($Er = \text{agricultura/inalterado}$) y clasificaron como suelos deteriorados a aquellos con valores inferiores a 0,19 en suelos de Santa Fe. Valores cercanos a 0,40 y a 0,26 fueron hallados por Vázquez *et al.*, (1990) para suelos de distintas regiones de Buenos Aires. Urricariet y Lavado (1999), reportaron valores de 0,23 y 0,37 en la Pampa Ondulada, para larga y corta historia agrícola, respectivamente. En el caso de los suelos estudiados, la **Er** fue de 0,45. Esto muestra una diferente sensibilidad de los suelos al deterioro por el uso.

Por otra parte Benavidez *et al.*, (1997) determi-

naron para suelos similares un aporte medio de 3,00 t CO.ha⁻¹.año⁻¹ en la capa arable luego de 4 años de pasturas plurianuales. Díaz Rosello (1994), bajo condiciones semejantes (4 años de pastura de trébol blanco, lotus y festuca) en suelos del sudoeste de Uruguay, cita aportes de 7,25 t de CO.ha⁻¹ y sostiene que el mismo se pierde a razón de 2,32 t CO.ha⁻¹.año⁻¹ durante los siguientes 4 años de la fase de cultivos anuales en una rotación pastura/agricultura. Por lo tanto, cerca de 9,30 t CO.ha⁻¹ desaparecen en la fase de cultivos y resulta un balance negativo debido a la no incorporación de prácticas de laboreo conservacionista que disminuyan la erosión. En rotaciones de cultivos continuos, la pérdida de CO fue a razón 0,43 t.ha⁻¹.año⁻¹.

Para este trabajo, en las situaciones muy poco alteradas el tenor medio de CO fue de 4 %. El balance de carbono en la agricultura fue negativo, con una pérdida media de 0,50 t.ha⁻¹.año⁻¹. El CO del suelo disminuyó a 2,3 % con 12 a 15 años de agricultura y a 2,1 % con 30 años. Las praderas permanentes mostraron tenores de CO más altos indicando un balance positivo, alcanzando un nuevo equilibrio con 2,7 % de CO. Las diferencias encontradas fueron atribuidas principalmente a la diferente captación de C. Las pasturas presentan una estructura fotosintética activa, capaz de capturar C durante la mayoría del año, mientras que en la producción agrícola 20 a 50 % del año el suelo no presenta vegetación debido a los barbechos y por lo tanto en ese momento no incorpora C. Para mantener un balance de C en el largo plazo debería alternarse agricultura con pasturas en un número de años similares.

Cuadro N° 4. Valores medios de atributos del suelo para las diferentes condiciones de uso analizadas: inalterado, pastura y agricultura.

Condición	Ee Ag %	Ee Al %	Ee Be %	k cm/h	pH -	Pe mg/kg	C-biom mg/kg	CO %	Nt %
Inalterado	60,5	74,4	54,7	16,1	6,5	75,4	893	3,99	0,337
Pastura	42,6	67,3	30,3	15,2	6,4	7,9	456	2,63	0,212
Agricultura	27,3	59,0	17,4	12,7	6,2	14,0	425	2,34	0,191

Ea: % agregados estables pretratamientos agua (Ag), alcohol (Al) y benceno (Be) respectivamente; k: índice de percolación, Pe: Fósforo extraíble por Bray y Kurtz N° 1. C-biom: Carbono de la biomasa microbiana, CO carbono orgánico; Nt nitrógeno total.

Los sistemas de labranza no afectan significativamente la entrada de carbono al agroecosistema (Alvarez *et al.*, 1995a y 1996) y tienen poca influencia sobre la emisión de bióxido de carbono a la atmósfera encontrándose pequeñas diferencias a favor de la labranza cero (Alvarez *et al.*, 1995b). Sin embargo, independientemente del sistema de labranza, en un planteo netamente agrícola, las entradas de carbono orgánico son inferiores a la emisión de bióxido de carbono a la atmósfera, lo que explicaría la pérdida de materia orgánica de los suelos, a medida que aumentan los años de agricultura.

A pesar de que existen alternativas de producción conservacionistas que reducen la erosión y la degradación del suelo, solamente las pasturas permanentes se han mostrado efectivas para la recuperación de su calidad, por lo tanto un sistema agropecuario que intente ser sostenible deberá incluir una rotación equilibrada entre cultivos agrícolas y pasturas. Parecería lógico entonces, propender a igualar el número de años de pastura con los de agricultura tendiendo a mantener una

determinada condición del recurso. Si se tiene en cuenta que una pradera conserva su productividad por 3 ó 4 años, lo adecuado sería una rotación agrícola igual o inferior para mantener o mejorar la condición del suelo.

CONCLUSIONES

A modo de consideración final para la zona y tipo de suelo estudiado, el atributo más sensible a los cambios ocasionados por el uso y manejo fue el porcentaje de agregados estables, pretratamiento en benceno. Le siguen en importancia Ea en agua y la materia orgánica.

AGRADECIMIENTOS

Al personal de los Laboratorios de Suelo y Microbiología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. A los Ing. Agr. M. Pilatti, R. Alvarez y R. Sabattini por los aportes y revisión crítica del trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ R., O. SANTANATOGLIA and R. GARCÍA 1995a. Soil respiration and carbon inputs from wheat-soybean rotation under different tillage systems. *Soil Use and Management* 11: 45-50.
- ALVAREZ R., R. DÍAZ, N. BARBERO, O. SANTANATOGLIA and L. BLOTTA 1995b. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil & Tillage Research* 33: 17-28.
- ALVAREZ R., O. SANTANATOGLIA and R. GARCÍA 1996. Plant and microbial contribution to soil respiration under zero and disk tillage. *Eur. J. Soil Biol* 32(4): 173-177.
- BENAVIDEZ R., N.G. BOSCHETTI y C.E. QUINTERO 1997. Diagnóstico de fertilidad fosfórica y evaluación de la recuperación física, química y biológica de los suelos en rotación. *Ciencia, Docencia y Tecnología UNER* 15: 91-116.
- BRAY R. and L. KURTZ 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sc.* 59 (1): 39-45.
- CARLEVARO L., M. SENSEVER, R. BENAVIDEZ y J. MELENDEZ 1991. La estabilidad estructural del suelo como parámetro de los efectos de su laboreo y cultivo. *Gaceta Agronómica* XI 64: 395-405.
- DÍAZ ROSELLO R. 1994. Cambios en el largo plazo en el carbono y nitrógeno del suelo bajo rotación de cultivos con pasturas de leguminosas. Ed. Unidad de Difusión e Información Tecnológica INIA, Montevideo, Uruguay. 41: 10-12.

- DORAN J. and T. PARKIN 1994. Defining and assessing soil quality. *Soil Science Society of America* 677: 3-21.
- FEÓDOROFF A. 1960. Nouvelles normes pour l'appareil à tamiser. *Ann. Agron.* 11: 651-655.
- HENIN S., R. GRAS y G. MONNIER 1972. El perfil cultural, el estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 340 pp.
- JACKSON M.L. 1976. Análisis químico de suelos. Tercera Edición. Ed. Omega S.A. Barcelona, España. 662 pp.
- JENKINSON, D. and D. POWLSON 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 8: 209-213.
- LARSON W. and F. PIERCE 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. *Soil Science Society of America* 677: 37-51.
- ORELLANA de J. y M. PILATTI 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo* 12: 75-80.
- ORELLANA de J., M. PILATTI and D. GRENON 1997. Soil quality: An approach to physical state assessment. *Journal of sustainable agriculture. The Haworth Press, Inc.*, 9(2/3): 91-108.
- PILATTI M., J. ORELLANA de y O. FELLI 1998. Indicadores edáficos en agricultura sostenible. II) Idoneidad de variables edáficas para evaluar sostenibilidad en agroecosistemas. En Actas XVI Congreso Arg. de la Ciencia del Suelo, Córdoba. pág. 235.
- RABBINGE, R. 1997. Integrating policy and technical issues for international research on agriculture and the environment using systems approaches. En: Applications of Systems Approaches at the Farm and Regional levels. Ed. Teng, P. y otros. 1: 249-262.
- UICN/PNUMA/WWF 1991. Cuidar la Tierra. Estrategias para el Futuro de la Vida. Gland, Suiza. 256 pp.
- URRICARRIET S. y R. LAVADO 1999. Indicadores de deterioro en suelos de la pampa ondulada. *Ciencia del suelo* 17 (1): 37-44.
- VAZQUEZ M., L. BERASATEGUI, E. CHAMORRO, L. TAQUINI y L. BARBERIS 1990. Evolución de la estabilidad estructural y diferentes propiedades químicas según el uso de los suelos en tres áreas de la pradera pampeana. *Ciencia del Suelo* 8: 203-210.
- VERDE L. y E. VIGLIZZO 1994. Desarrollo agropecuario sustentable. (Recop. y coordinación) INTA - INDEC. Buenos Aires. 85 pp.
- VIVASH, y H. FONTANETTO 1986. Evaluación de algunas condiciones físicas y químicas de suelos con distintos manejos. EEA INTA Rafaela. Información del Dpto. Agronomía. N° 84.