

Indicadores de calidad para dos suelos con características vérticas de Entre Ríos (Argentina)

Quality indicators for two soils with vertic characterstics in Entre Ríos (Argentina)

INDEÁNGELO, N.¹; WILSON, M.G.^{1,2} & TASI, H.A.A.¹

Abstract

Nowadays, in the central northern region of Entre Ríos farmers clear forest land, both for cattle rising and crop production, which generates an important pressure on natural resources. Soil quality constitutes one of the aspects to be considered when evaluating the sustainability of production systems. Sustainability must be evaluated through the variables that represent edaphic properties related to the functions attributed to soil resource. Those variables must be sensitive to changes in the soil use and management. The objective of this research was to select soil quality indicators to obtain a minimum data set (MDS) for two representative soil subgroups and for production systems that characterize the region, as well as to propose managing practices for sustainable systems. The two selected soils were a Vertic Ocracualf (Arrúa Series) and an Argic Peludert (Santiago Series). Undisturbed soils sites and different agricultural histories were defined in each. Superficial samples were taken (0 to 12 cm deep) and chemical, physical-chemical and physical variables were determined. Principal Components Analysis (PCA) and Medium Multiple Comparison (MMC) were performed to select quality indicators for each soil. The PCA BiPlot, the Analysis of Conglomerates and the MMC were

(1) EEA INTA Paraná. Recursos Naturales y Factores Abióticos. Ruta 11, km 12,5 (3100) Paraná, Entre Ríos (Argentina). E-mail: indelangelo@fca.uner.edu.ar; mwilson@parana.inta.gov.ar; htasi@parana.inta.gov.ar

(2) Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. Ruta 11, km 10,5 (3100) Paraná, Entre Ríos (Argentina).

used for the analysis of the dynamic change of the soil quality due to agricultural use. Soils were disturbed by continuous agricultural use. A MDS was proposed for each soil, which was similar for both subgroups. Total Organic Carbon (TOC), Total Nitrogen (TN) and Hénin's instability index (Is), integrated the MDS for both soils. Total porosity (TP) was also included in the MDS of the Vertisol. In the Alfisol, where microbiological variables were also determined, microbial biomass carbon (C-biom) and net N mineralization (N-min) were selected as indicators. By analyzing the meaning of indicators and taking into account the identified deterioration processes it was possible to identify practices that involve the sequence of agricultural crops in a low proportion and plural-annual pastures as an adequate base for rotation.

Key words: Entre Ríos (Argentina), vertic soils, agricultural use, quality indicators.

INTRODUCCIÓN

La región Centro Norte de Entre Ríos ha sido tradicionalmente ganadera y ganadera-agrícola. Los suelos de la región, según las evaluaciones de aptitud de tierras presentan serias limitaciones para un uso agrícola continuo (TASI & BEDENDO, 2001). Esta situación, junto a la escasa disponibilidad de tecnologías apropiadas para las actividades agrícolas restringía el uso agrícola de los suelos de la región.

La agricultura experimentó un incremento en la ocupación de tierras, tanto en aquellas zonas tradicionalmente agrícolas como en las consideradas marginales para dicha actividad (PENGUE, 2003). Lo expuesto se puede atribuir a los cambios experimentados por la economía argentina y la de otros países del Cono Sur en la década de los 90, a la suba internacional de los precios de los commodities agropecuarios y a la aparición de nuevas tecnologías disponibles. Este hecho ha provocado una importante presión sobre los recursos naturales.

La calidad del suelo constituye uno de los aspectos a considerar para evaluar si un sistema productivo será sustentable o no. A modo de simple definición, la calidad del suelo significa “el comportamiento del suelo en el cual las funciones del mismo operan en óptimos niveles dentro del ecosistema” (CARTER *et al.*, 1997). En el contexto de la producción agrícola, la calidad del suelo se define en términos de productividad, específicamente en relación a la capacidad de sostener el crecimiento de los vegetales. De este modo, en términos de producción vegetal, la calidad del suelo se define como “la capacidad o aptitud del suelo de soportar el crecimiento de los vegetales sin que ello resulte en la degradación del mismo o en un daño ambiental” (GREGORICH *et al.*, 1994).

Es importante mencionar que las definiciones de la calidad del suelo distinguen dos aspectos o partes de la misma. Una parte natural o inherente relacionada a la capacidad

natural del suelo de permitir el crecimiento de los cultivos, y una parte dinámica influenciada por el uso del suelo o el manejo del mismo (CARTER *et al.*, 1997). En tal sentido, KOOLLEN (1987) y CARTER (1990) distinguen propiedades estáticas y de comportamiento, referidas a los conceptos de características inherentes y dinámicas del suelo.

Para evaluar el cambio dinámico en la calidad del suelo debido al uso, PIERCE & LARSON (1993) proponen el control de la calidad del suelo. Esta metodología contempla, entre otros pasos, la selección de las variables más sensibles en detectar cambios asociados al uso y manejo de los suelos. Su agrupamiento constituye un conjunto mínimo de datos (CMD), utilizado para el monitoreo de la calidad del suelo.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el CMD para dos subgrupos de suelos con características vérticas de Entre Ríos, con la finalidad de ser utilizado en la evaluación del impacto de los diferentes usos del suelo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se trabajó en lotes productivos con suelos pertenecientes a las Series Arrúa (Ocrualfe vértico) y Santiago (Hapluderte típico). Tomando como referencia la condición inalterada con bosques nativos, fueron muestreados lotes con diferentes usos: ganadero en base a praderas permanentes (praderas polifíticas de gramíneas y leguminosas), agrícola en lotes recientemente incorporados a partir del desmonte y agrícola continuo. En la Tabla 1 se presenta un detalle del uso de los diferentes sitios.

Tres muestras compuestas de suelo fueron tomadas a una profundidad de 0-12 cm, conformadas de 5 submuestras sin alterar para la determinación de estabilidad estructural, y de 15 submuestras para las variables químicas, físico químicas y microbiológicas. Las muestras para las variables químicas y físico químicas fueron secadas al aire y pasadas a través de un tamiz de 2000 μm . El contenido en carbono orgánico total (COT) fue determinado

por el método WALKLEY & BLACK (1934), el pH del suelo por el método potenciométrico usando una relación suelo:agua de 1:2,5, y el nitrógeno total (Nt) según el método micro Kjeldahl (JACKSON, 1976). También se consideró la relación C/N. La estabilidad estructural fue determinada por el método de HÉNIN *et al.* (1972), según sus tres pretratamientos diferentes: sin ningún tratamiento previo a la inmersión en agua (AEA), tratamiento previo con etanol (AEE) y tratamiento previo con benceno (AEB). El resultado de los tres pretratamientos fue utilizado para el cálculo de los agregados estables promedios y a partir del dato de la fracción inestable se calculó el índice de inestabilidad (Is). Se determinó además el índice K de percolación de Hénin, la densidad aparente de suelo (Dap)

por el método del cilindro y la densidad de partícula (Dr) por el método del picnómetro. La porosidad total (PT) fue calculada utilizando Dap y Dr. El Fósforo Extraíble (Pe) fue determinado por el método de Bray-Kurtz N°1, modificado con cinco minutos de agitación (BRAY & KURTZ, 1945). El Carbono de biomasa microbiana (CBM) fue determinado en el Laboratorio de Microbiología de la FCA UNER, medido por el método de fumigación-incubación de JENKINSON & POWLSON (1976); el N de la biomasa microbiana (NBM) fue determinado por el método de BROOKES *et al.* (1985), y el N mineralizable (N-min) se determinó en incubaciones anaeróbicas de siete días (WARING & BREMMER, 1964). La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se determinó por espectrofotometría de llama.

Lotes. Serie Arrúa (Ocracualfe vértico)

Inalterado	Corresponde a campo natural con bosque nativo. Uso: cría bovina.
Incorporado	Recientemente incorporado a la agricultura. Secuencia de cultivos utilizada: Trigo-Soja de segunda, en forma continua.
Pastura permanente	Pasturas polifíticas perennes a base de <i>Lotus corniculatus</i> . Antes: pastizal natural con esporádicas siembras de verdeos de verano.
Agrícola	Historia agrícola de tres años. Antes: chacra abandonada. Secuencia de cultivos actualmente utilizada: Trigo-Soja de segunda, en forma continua.
Agrícola +	Historia agrícola de cinco años. Antes: uso ganadero. Secuencia de cultivos actualmente utilizada: Soja de primera sobre Trigo-Soja de segunda.

Lotes. Serie Santiago (Hapluderte típico)

Inalterado	Corresponde a campo natural, bajo monte. Uso: cría bovina.
Incorporado	Recientemente incorporado a la agricultura. Secuencia de cultivos utilizada: Sorgo-Soja-Soja. En Siembra Directa.
Agrícola	Historia agrícola de 15 años. Secuencia de cultivos actualmente utilizada: Soja de primera sobre Trigo-Soja de segunda. Los últimos siete años en Siembra Directa.
Agrícola +	Historia agrícola de 45 años con participación de varios cultivos. Actualmente con pasturas de segundo año.

Tabla 1. Detalle del uso de los diferentes sitios de muestreo.

Para la identificación de las variables más sensibles a los cambios en las condiciones edáficas asociados al uso y manejo de los suelos se utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP). Con este análisis se realizó un gráfico bidimensional (BiPlot) a partir de los dos primeros componentes logrados en el ACP. Las variables más sensibles del CP1, en función de sus valores de ponderación (E1) de valor absoluto mayor a 0,25 fueron seleccionadas como Indicadores de Calidad de Suelo (ICS), según los criterios de selección utilizados por MADDONI *et al.* (1999), SCHIPPER & SPARLING (2000) y GOVAERTS *et al.* (2006). Dichos indicadores conformaron el CMD. También se utilizó el encadenamiento medio de los sitios (EMS) logrado por el Análisis de Conglomerados,

utilizando para esto sólo los indicadores seleccionados. Se realizó el ANOVA y la comparación múltiple de medias (CMM) para los indicadores seleccionados con el objetivo de complementar la información del análisis multivariado e interpretar la dinámica de los suelos estudiados. Se utilizó el Programa estadístico INFOSTAT (2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1-Serie Arrúa (Ocracualfe vértico)

Los dos primeros componentes hallados para la Serie Arrúa lograron explicar el 89% de la variación de los datos (Tabla 2). Las variables más sensibles para el CP1 fueron COT, Nt, CBM, N-min., e Is (Tabla 3).

Componente	% explicado	Variable	E1	E2
1	0,63	COT	-0,26	0,17
2	0,89	Pe	0,15	-0,26
3	0,96	pH	0,04	-0,43
4	1	Nt	-0,26	0,15
5	1	C/N	0,23	0,04
6	1	CIC	-0,21	0,3
7	1	Is	0,28	-0,09
8	1	AEA	-0,29	0,04
9	1	AEAL	-0,26	-0,16
10	1	AEB	-0,28	0,09
11	1	Ks	-0,21	-0,28
12	1	AEM	-0,29	0,02
13	1	Fi	0,22	-0,2
14	1	Dap	0,14	0,37
15	1	PT	-0,17	-0,33
16	1	MP	-0,21	-0,31
17	1	CBM	-0,28	-0,08
18	1	NBM	-0,14	-0,29
19	1	N-min	-0,27	0,11

Tabla 2. Análisis de Componentes Principales. Serie Arrúa. Donde Dap es la densidad del suelo, CIC es la capacidad de intercambio catiónico, CO es el contenido de Carbono orgánico Total, Nt es el contenido de Nitrógeno total, N-min es el Nitrógeno mineralizable, AEA, AEB, AEAL y AEM son los porcentajes de agregados estables al agua sin tratamiento previo, tratados con benceno, con etanol y el promedio de éstos, respectivamente. CBM es el Carbono de la biomasa microbiana. Ks es el índice de percolación de Hénin. MP y PT son la macroporosidad y la porosidad total respectivamente. NBM es el Nitrógeno de la biomasa microbiana. C/N es la relación Carbono:Nitrógeno. Is es el índice de inestabilidad estructural de Hénin, Fi es la fracción de agregados inestable al agua, pH es la reacción de suelo y Pe es el contenido de fósforo disponible para las plantas.

Las variables que integran la ecuación para el cálculo del Is también fueron importantes en dicho componente. De esta forma, el CP1 opondría aquellos sitios que presentan buena estabilidad estructural, altos contenidos de C y N, y buena actividad microbiana de aquellos con estructuras inestables,

bajos contenidos de C y N, y poca actividad microbiana.

Si bien la ponderación del Pe es buena para el CP1, esta variable no se señala como indicador ya que los valores de la misma responden a la fertilización fosforada realizada, y no reflejaron procesos de degradación.

Indicadores seleccionados	
COT	Carbono Orgánico total
Nt	Nitrógeno total
Is	Índice de inestabilidad estructural
CBM	C de la biomasa microbiana
N-Min.	N mineralizado en incubaciones anaeróbicas

Tabla 3. Conjunto mínimo de datos (CMD) para la Serie Arrúa (Ocracualfé vértico) con uso ganadero-agrícola.

En la Fig. 1 se observa que en el cuadrante izquierdo, diferenciado por el CP1, se ubica el sitio *inalterado* debido a una alta estabilidad estructural, asociada a los altos contenidos de materia orgánica. Este sitio presentó también altos contenidos de Nt y N-min, así

como de COT y CBM. Teniendo en cuenta el CP2, el mencionado sitio se ubicó en el cuadrante superior, principalmente debido a una alta CIC y una baja Dap. Los sitios *desmontado*, *pasturas*, y *agrícola* se diferenciaron entre sí principalmente sobre el eje del CP2.

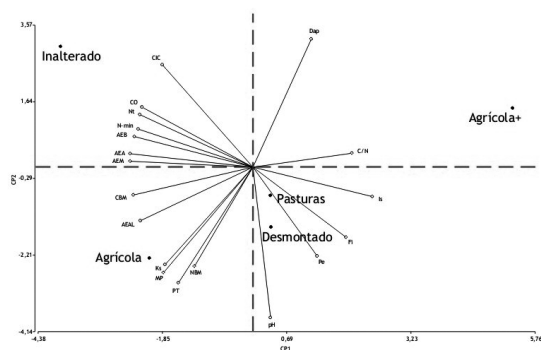


Fig. 1. BiPlot para la Serie Arrúa. Donde Dap es la densidad del suelo, CIC es la capacidad de intercambio catiónico, CO es el contenido de Carbono orgánico Total, Nt es el contenido de Nitrógeno total, N-min es el Nitrógeno mineralizable, AEA, AEB, AEAL y AEM son los porcentajes de agregados estables al agua sin tratamiento previo, tratados con benceno, con etanol y el promedio de éstos, respectivamente. CBM es el Carbono de la biomasa microbiana. Ks es el índice de percolación de Hénin. MP y PT son la macroporosidad y la porosidad total respectivamente. NBM es el Nitrógeno de la biomasa micribiana. C/N es la relación Carbono:Nitrógeno. Is es el índice de inestabilidad estructural de Hénin, Fi es la fracción de agregados inestable al agua, pH es la reacción de suelo y Pe es el contenido de fósforo disponible para las plantas.

Los sitios *incorporado* y *agrícola* presentaron una buena PT y MP, lo que les permitió además tener una buena capacidad de conducción de agua en el perfil. El sitio *agrícola+* se ubicó en el cuadrante derecho respecto del CP1, debido fundamentalmente a un aumento de la relación C/N y una pérdida de estabilidad estructural. La alta Dap de este sitio lo ubica hacia la porción superior del eje del CP2. La densificación de este sitio podría explicarse por la larga historia agrícola y la ausencia de labranzas en los últimos años, situación que contrasta con la de los sitios con poca historia agrícola donde se han utilizado labranzas conservacionistas para la implantación de los cultivos. El sitio *incorporado* también presentó algún grado de densificación, debido posiblemente al pisoteo provocado por el ganado bovino utilizado para la actividad de cría en bosques nativos.

En el EMS (Fig. 2) se muestra la semejanza entre los sitios *pradera* e *incorporado*. Estos sitios, junto con el sitio *agrícola* conformaron un grupo que se diferenció del resto de los tratamientos. Esta diferenciación se indica en la figura con una línea de puntos trazada a partir del valor que representa el 50% de la distancia euclídea promedio máxima (DEP_{máx.}). La posición del sitio *inalterado* puede explicarse por el valor de los auto-vectores del CP2 generados en el ACP para las variables Dap, PT y MP. Los mismos reflejaron los problemas de densificación ocasionados por el pisoteo animal producto del pastoreo en el campo natural. El sitio *agrícola+* debe su ubicación en la figura a la mala condición física, físico-química y microbiológica del mismo explicada por los indicadores seleccionados para la obtención del EMS.

Las variables N-min, CBM, Nt y COT, mostraron buena sensibilidad para detectar diferencias significativas asociadas al uso y manejo de los suelos analizados. El Is presentó una buena ponderación en el CP1 y mostró una caída de sus valores medios asociada al uso y manejo de los suelos, aunque con una gran variabilidad a campo. La relación entre el

Is y el contenido de COT se presenta en la Fig. 3. Puede observarse un aumento del Is asociada a la pérdida de COT de tipo exponencial. El r encontrado fue de 0,55, el cual resulta adecuado para un $n = 15$.

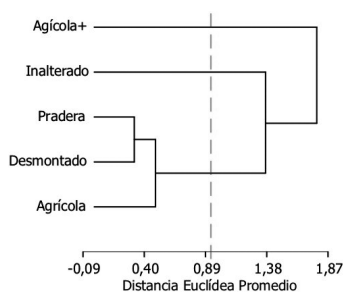


Fig. 2. Encadenamiento de Sitios. Serie Arrúa. La línea de puntos indica el valor igual al 50% de la Distancia Euclídea Promedio Máxima (DEP_{máx.}).

En la Fig. 4 se presenta el efecto del uso del suelo en el Nt, donde los valores más elevados se observaron en el sitio inalterado (0,248%), diferenciándose significativamente del sitio Ag+ (0,159%). No se mostraron diferencias significativas entre el sitio inalterado y el resto de los tratamientos.

Otra de las variables que resultó sensible para detectar cambios en las condiciones edáficas asociadas al uso y manejo de los suelos fue la Dap, la cual logró diferenciar tres categorías estadísticas. El sitio con ausencia de labranzas y los sitios destinados al uso ganadero presentaron los valores más altos, posiblemente debido a lo comentado en la discusión de los resultados del ACP. Si bien no se encontraron diferencias significativas entre los valores medios de la variable C/N, es de destacar la tendencia observada para dicha variable. El aumento de esta relación con el uso agrícola representa un potencial limitante para la captura de C por parte de los sistemas agrícolas, ya que ésta es nitrógeno dependiente. El solo aporte de residuos de cosecha no es suficiente para mantener e incluso aumentar el contenido de materia

orgánica del suelo si el N es limitante (GALARZA, 2005). Debe considerarse además que si los niveles de N disponible para las plantas no son los adecuados, la mineralización de la MO para cubrir estas deficiencias también resulta en una pérdida de COT del suelo.

La disponibilidad de fósforo (Pe) también resultó sensiblemente afectada por el

manejo de estos suelos, principalmente debido a la práctica de fertilización fosforada. En los sitios de esta serie se registraron valores similares a los señalados como críticos para las especies utilizadas en las rotaciones de los mismos. De esta manera el sitio *pastura* presentó los valores más altos de Pe.

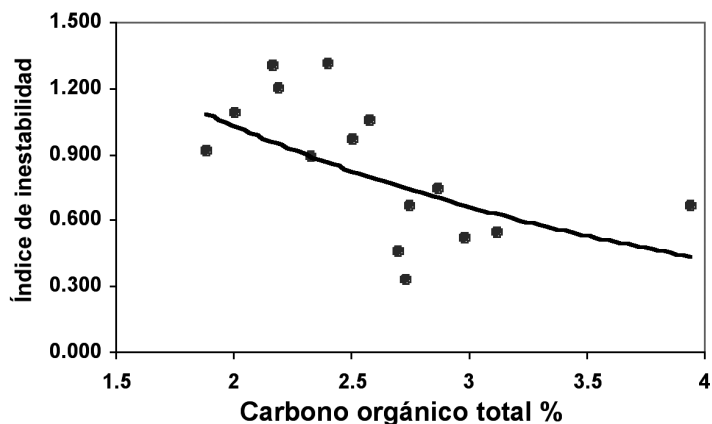


Fig. 3. Relación entre el Is y el COT para la Serie Arrúa.

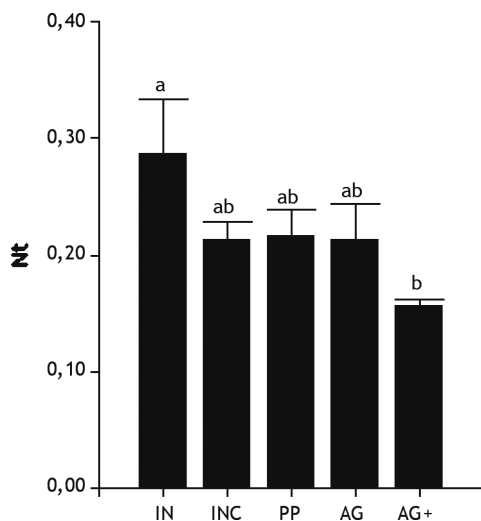


Fig. 4. Efecto del uso del suelo a partir del desmonte en la Serie Arrúa en el Nt. (Letras diferentes indican diferencias significativas (5%). Las líneas que se desprenden de las barras señalan el desvío estándar).

2-Serie Santiago (Hapluderte típico)

Los dos primeros componentes hallados para la Serie Santiago explicaron el 96% de la variación de los datos (Tabla 4). Las variables más sensibles para el CP1 fueron COT, Nt, Is, Ks, y PT (Tabla 5). Las variables que integraron la ecuación para el cálculo del Is también

fueron importantes para este componente. De esta forma, el CP1 opondría aquellos sitios que presentan buena estabilidad estructural, altos contenidos de COT y Nt, y buena porosidad total de aquellos con estructuras inestables, bajos contenidos de COT y Nt, y baja porosidad total.

Componente	% explicado	Variables	E1	E2
1	0,66	CO	-0,29	0,09
2	0,96	Nt	-0,29	0,04
3	1	Is	0,29	0,05
4	1	AEA	-0,29	-0,11
5	1	AEAL	-0,30	-0,05
6	1	AEB	-0,28	-0,09
7	1	Ks	-0,28	-0,10
8	1	AEM	-0,29	-0,09
9	1	CIC	-0,16	-0,36
10	1	PT	-0,29	-0,06
11	1	MP	0,24	-0,09
12	1	Pe	0,12	0,41
13	1	pH	0,14	-0,39
14	1	C/N	-0,14	0,39
15	1	Dap	0,08	0,41

Tabla 4. Análisis de Componentes Principales. Serie Santiago. Donde Dap es la densidad del suelo, CIC es la capacidad de intercambio catiónico, CO es el contenido de Carbono orgánico Total, Nt es el contenido de Nitrógeno total. AEA, AEB, AEAL y AEM son los porcentajes de agregados estables al agua sin tratamiento previo, tratados con benceno, con etanol y el promedio de éstos, respectivamente. Ks es el índice de percolación de Hénin. MP y PT son la macroporosidad y la porosidad total respectivamente. C/N es la relación Carbono:Nitrógeno. Is es el índice de inestabilidad estructural de Hénin, Fi es la fracción de agregados inestable al agua, pH es la reacción de suelo y Pe es el contenido de fósforo disponible para las plantas.

Indicadores seleccionados	
COT	Carbono Orgánico total
COT	Carbono Orgánico total
Nt	Nitrógeno total
Is	Índice de inestabilidad estructural
Ks	Índice de percolación
PT	Porosidad Total

Tabla 5. Conjunto mínimo de datos (CMD) para la Serie Santiago (Hapluderte típico) con uso ganadero-agrícola.

El BiPlot permitió identificar asociaciones entre sitios, entre variables y entre variables y sitios. En el mismo (Fig. 5) se observó que en el cuadrante izquierdo, diferenciado por el CP1 se ubicaron los sitios *inalterado* e *incorporado* recientemente a la actividad agrícola, y en el

derecho los sitios con uso agrícola, los cuales acusarían una pérdida de estabilidad estructural, de COT y Nt, y una disminución del volumen total de poros. También se observó cómo el sitio *inalterado* se diferenció del resto de los sitios por un bajo contenido de Pe y una elevada CIC.

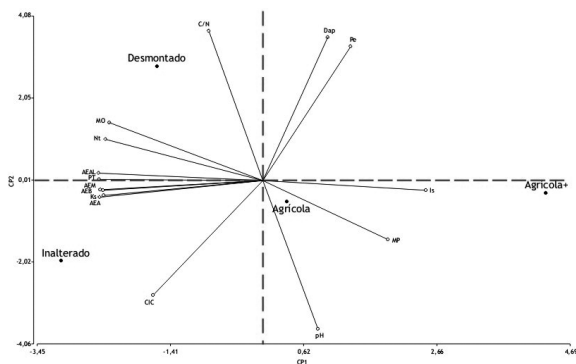


Fig. 5. BiPlot para la Serie Santiago. Donde Dap es la densidad del suelo, CIC es la capacidad de intercambio catiónico, CO es el contenido de Carbono orgánico Total, Nt es el contenido de Nitrógeno total. AEA, AEB, AEL y AEM son los porcentajes de agregados estables al agua sin tratamiento previo, tratados con benceno, con etanol y el promedio de éstos, respectivamente. Ks es el índice de percolación de Hénin. MP y PT son la macroporosidad y la porosidad total respectivamente. C/N es la relación Carbono:Nitrógeno. Is es el índice de inestabilidad estructural de Hénin, Fi es la fracción de agregados inestable al agua, pH es la reacción de suelo y Pe es el contenido de fósforo disponible para las plantas.

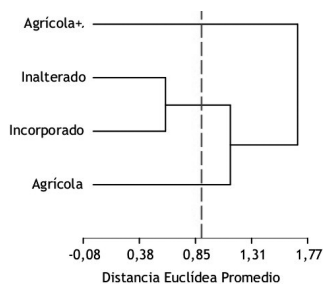


Fig. 6. Encadenamiento de Sitios. Serie Santiago. La línea de puntos indica el valor igual al 50% de la Distancia Euclídea Promedio Máxima (DEPmáx.).

En el EMS de la Serie Santiago (Fig. 6), puede observarse la semejanza entre los sitios *inalterado* e *incorporado* recientemente al uso agrícola. Los sitios con uso agrícola se diferenciaron de este grupo, ubicándose hacia la derecha de la línea que representa el 50% del valor de DEPmáx.

Los valores encontrados para el Is en estos suelos se presentan en un rango que abarca dos órdenes de magnitud. Esto se debe a la alta estabilidad de los Vertisoles en la condición inalterada y a la importante pérdida de estabilidad en los suelos del sitio con una historia agrícola de muchos años. Esta característica sobresale también en trabajos realizados por WILSON (2003) y CERANA

et al. (2006), quienes trabajaron fundamentalmente con Vertisoles en uso ganadero-agrícola en la zona tradicionalmente arroceras de Entre Ríos. En la Fig. 7 se muestra la relación entre el Is y el COT, donde se observa el aumento de la inestabilidad estructural en

función de la pérdida de COT ($r = 0,79$). Es de destacar que los valores están separados en dos grupos: los estables (sitios inalterado y de incorporación reciente a la agricultura) y los menos estables (con agricultura mayor a tres años).

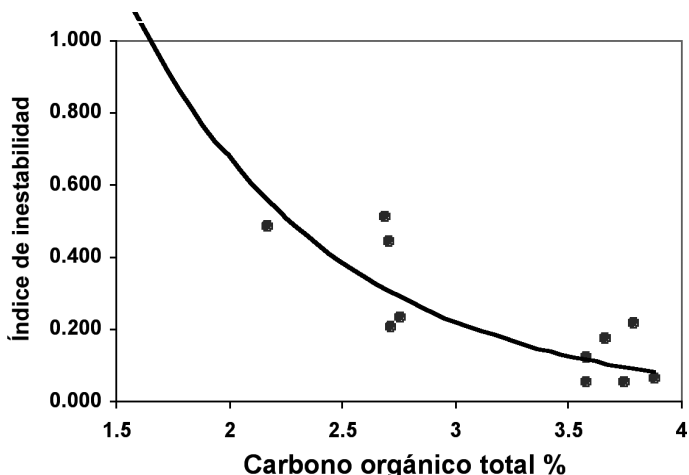


Fig. 7. Relación entre el Is y el COT del suelo en la Serie Santiago.

La comparación múltiple de medias (Tukey 5%) de las variables analizadas mostró que el Is y el Ks diferenciaron claramente los sitios según su uso (Fig. 8). Se observó una pérdida de estabilidad estructural con el uso agrícola de los suelos de la serie Santiago.

Respecto a las variables que componen el Is, se observó una disminución mayor en el porcentaje de agregados estables al agua tratados con benceno y sin tratamiento alguno, respecto al porcentaje de agregados tratados con alcohol previamente. Este último refleja el grado de cohesión de los suelos, ya que en su determinación el etanol expulsa el aire de los agregados, pero sin provocar su estallido. Lo contrario sucede con los pretra-

tamientos con benceno y agua, los cuales evalúan la susceptibilidad al deterioro por el estallido que provoca la humectación violenta de los agregados por el agua. El benceno además resalta las propiedades de agregación por parte de los compuestos orgánicos (HENIN *et al.*, 1972). Los valores medios encontrados para la variable Ks mostraron una importante pérdida de la capacidad de los suelos de conducir agua en el perfil dada por el uso agrícola. Asimismo, la PT resultó sensible en detectar cambios de las condiciones edáficas asociadas al uso y manejo de los suelos. En la Fig. 9 se observa una pérdida del volumen total de poros asociada al uso agrícola de los suelos.

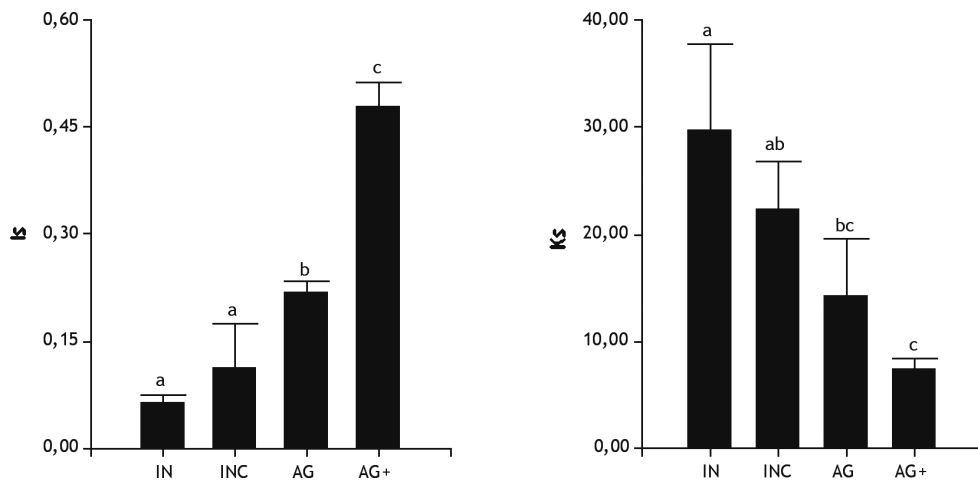


Fig. 8. Efecto del uso del suelo a partir del desmonte en la Serie Santiago en el Índice de inestabilidad y el K de percolación. Letras diferentes indican diferencias significativas (5%). Las líneas que se desprenden de las barras señalan el desvío estándar.

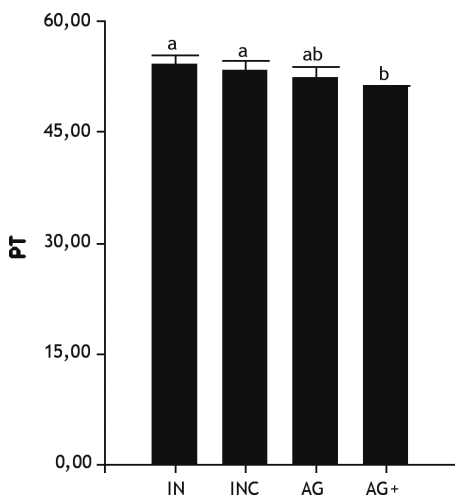


Fig. 9. Efecto del uso del suelo a partir del desmonte en la Serie Santiago en la porosidad total. Letras diferentes indican diferencias significativas (5%). Las líneas que se desprenden de las barras señalan el desvío estándar.

La pérdida de capacidad para conducir agua por desarreglos en la geometría del espacio poroso y la pérdida de estabilidad estruc-

tural potenciarían la natural susceptibilidad a la erosión de estos suelos al aumentar la escorrentía superficial debido a la poca capacidad

de conducción de agua de los horizontes sub-superficiales. La erosión hídrica ha sido señalada por varios autores como clave para la utilización sustentable de estos suelos (PLAN MAPA DE SUELOS DE LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS, 1984).

Se observó, aunque sin diferencias significativas, una pérdida de COT y Nt en los suelos con larga historia agrícola. Esta pérdida de COT posiblemente se deba a la importante mineralización de la fracción poco estable de la materia orgánica del suelo. Asimismo, la fracción que forma complejos con las arcillas posee una gran estabilidad, debido, posiblemente, a la buena protección que las arcillas brindan a las sustancias húmicas de estos suelos (DE PETRE, 2000). El sitio *incorporado* presenta para estas dos variables valores superiores a los del sitio *inalterado*, debido posiblemente a los grandes aportes de materiales orgánicos producidos por la práctica del desmonte y las labranzas posteriores al mismo.

CONCLUSIONES

Se determinó el conjunto mínimo de datos para un Hapluderte típico y un Ocracualfe vértico de Entre Ríos, a partir de la selección de indicadores de calidad de suelo. El contenido de Carbono orgánico total y el de Nitrógeno total, junto con el índice de inestabilidad estructural se presentaron en los dos conjuntos mínimos de datos. El Carbono de la biomasa microbiana y el Nitrógeno mineralizable fueron seleccionados como indicadores en el suelo donde pudieron ser evaluados.

Los indicadores reflejaron el efecto del uso en el suelo. Se observó un importante deterioro por el uso agrícola, especialmente en el Ocracualfe vértico. Este suelo presentó condiciones de mayor inestabilidad estructural en la situación inalterada respecto al Hapluderte típico, llegando a valores más altos de Is en lotes con mayor historia agrícola.

Los indicadores seleccionados, además de ser útiles para el monitoreo de la calidad del suelo, brindaron información necesaria para el diseño de sistemas productivos sustentables. En el Ocracualfe vértico, no se presentaron diferencias significativas entre las situaciones de reciente incorporación a la agricultura, pradera y agricultura de pocos años. Sin embargo, cuando la historia agrícola fue mayor, se produjo un deterioro del suelo generalizado. Problemas similares se observaron en el Hapluderte típico. Para lograr la sustentabilidad del recurso a largo plazo, el incremento de la participación de pasturas consociadas en las rotaciones es recomendable.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación se desarrolló en el marco del Acuerdo complementario “*Factibilidad del uso agrícola y ganadero de tierras incorporadas a partir del desmonte*”, entre el Centro Regional de INTA Entre Ríos y la Secretaría de la Producción del Gobierno de Entre Ríos. Agradecemos al personal del Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER, en la persona de las Ings. Silvia y Cristina Benintende.

Recibido: 03 / 04 / 2007

Aceptado: 02 / 10 / 2007

BIBLIOGRAFÍA

- BRAY, R.H. & KURTZ, L.T. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science*, 59: 39-45.
- BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G. & JENKINSON, D.S. (1985). Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 17: 837-842.
- CARTER, M.R. (1990). Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies. *Canadian Journal of Soil Science*, 70: 425-433.
- CARTER, M. R.; GREGORICH, E. G.; ANDERSON, D. W.; DORAN, J. W.; JANZEN, H.H. & PIERCE, F. J. (1997). Concepts of soil quality and their significance. Chapter 1. En: GREGORICH, E.G. & CARTER, M.R. *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. Elsevier.
- CERANA, J.; WILSON, M.; DE BATTISTA, J.J.; NOIR, J. & QUINTERO, C. (2006). Estabilidad estructural de suelos vertisólicos en el sistema arrocero regado con agua subterránea. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. En Revisión. 10 pp.
- DE PETRE, A. (2000). Descripción y características especiales de los Vertisoles de Entre Ríos. *Revista de la Facultad de Agronomía*. Universidad Nacional de Buenos Aires. Número especial. *Primer Simposio Nacional sobre Suelos Vertisólicos*. Tomo 20, n° 1.
- GALARZA, C. (2005). Balances de carbono en suelos agrícolas pampeanos con manejos contrastantes como indicadores de sustentabilidad. Seminario Internacional. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. EEA Marcos Juárez. Centro Regional Córdoba.
- GOVAERTS, B.; SAYRE, K.D. & DECKERS, J. (2006). A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil & Tillage Research*, 87: 163-174.
- GREGORICH, E.G.; CARTER, D.; ANGERS, C. & ELLERT, B. (1994). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 74: 367-385.
- HENIN, S.; GRAS, R. & MONNIER, G. (1972). *El perfil cultural, el estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas*. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 340 pp.
- INFOSTAT (2002). InfoStat versión 1.1. Grupo InfoStat. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición. Editorial Brujas. Argentina.
- JACKSON, M.L. (1976). *Análisis químico de suelos*. Tercera Edición. Ed. Omega S.A. Barcelona, España. 662 pp.
- JENKINSON, D. & POWLSON, D. (1976). The effects of biocidal treatment on metabolism in soil. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology & Biochemistry*, 8: 209-213.
- MADDONI, G.; URRICARIET, S.; GHERSA, C. & LAVADO, R. (1999). Assessing soil quality in the Rolling Pampa, using soil properties and maize characteristics. *Agronomy Journal*, 91: 280-287.
- PENGUE, W. (2003). *El vaciamiento de "las pampas". Intensificación, agroexportación y degradación de recursos*. Número 47. Le Monde diplomatique y Capital Intelectual S.A.
- PIERCE, F. J. & LARSON, W. E. (1993). Developing criteria to evaluate sustainable land management. En: MACEWAN, R.J. & CARTER, M.R. *Proceedings of symposium of Soil Quality for Land Management: Science, Practice and Policy*. CEM, University of Ballarat, Victoria, Australia.
- PLAN MAPA DE SUELOS DE LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS. CONVENIO INTA-GOBIERNO DE ENTRE RÍOS (1984). *Suelos y erosión de la provincia de Entre Ríos*. Segunda Ed. Tomo I. Serie Relevamiento de Recursos Naturales (1) INTA-EEA Paraná. Entre Ríos. 112 pp.
- SCHIPPER, L.A. & SPARLING, G.P. (2000). Performance of soil condition indicators across Taxonomic groups and Land uses.

- Soil Science Society of America Journal*, 64: 300-311.
- TASI, H. & BEDENDO, D. (2001). Aptitud agrícola de las tierras de la provincia de Entre Ríos. Plan Mapa de Suelos. INTA Serie Extensión N° 19. 10 pp.
- WALKLEY, A. & BLACK, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for the determining soil organic matter and proposed modification of the chromic titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- WARING, S.A. & BREMNER, J.M. (1964). Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature*, 201: 951-952.
- WILSON, M. (2003). *Efecto del sistema de producción de arroz sobre la calidad del suelo de Entre Ríos*. Tesis de Postgrado. Maestría en Ciencias Agropecuarias, Mención Manejo de Tierras. Universidad Nacional de Río Cuarto. 85 pp.