

EVALUACION DE LOS CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE UN ARGJUSTOL ÚDICO POR PROCESOS DE DEGRADACION

Sacchi, G.¹ , De Pauli, C.²

Recibido: 03/10/01 Aceptado: 19/09/02

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es expresar en forma cuantitativa el grado de modificación inducido por actividades antrópicas, en Argiustoles údicos desarrollados a partir de sedimentos loessoides. Para cumplir tal fin, se compararon variables edáficas de los horizontes superficiales y subsuperficiales entre suelos cultivados y prístinos (suelos de referencia), tales como densidad real y aparente, porosidad total, composición granulométrica, pH 1:2,5, carbono orgánico y capacidad de intercambio catiónico. En los suelos cultivados, las variables físicas y químicas de los horizontes superficiales presentaron un comportamiento diferenciado respecto al sistema de referencia; esta condición no fue observada en los horizontes subsuperficiales donde las variables se modificaron, en general, con una misma tendencia. El contenido de carbono orgánico en estos suelos con material parental franco limoso, se constituyó en un indicador de los procesos de degradación. Los resultados de este estudio proveen una ecuación de regresión para estimar el Índice de degradación (ID) de los suelos, el cual expresa el grado de modificación de los mismos debido a una alteración en su equilibrio ecológico natural.

PALABRAS CLAVE: Argiustol údico, Calidad del suelo, Carbono orgánico, Índice de degradación (ID).

SUMMARY

ASSESSMENT OF THE CHANGES IN PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF AN UDIC ARGJUSTOLL DUE TO DEGRADATION PROCESSES

The objective of this paper was to determine the degree of modification induced by farming activities, mainly tillage effects, in Udic Argiustolls developed from loess redeposited. Soil variables of surface and subsurface horizons were compared between cultivated and pristine (reference system) soils, such as particle and bulk densities, total porosity, granulometric composition, pH 1:2.5, organic carbon and cationic exchange capacity. In the cultivated soils, physical and chemical variables of the surface horizons had a differential behavior in relation to the reference system; this condition was not observed for the subsurface horizon where the edaphic properties presented, in general, the same tendency. Organic carbon was the main indicator of the degradation processes. The results of this study provide a regression equation to estimate a soil Degradation Index (DI), which express the soils modification degree due to an alteration in their natural ecological balance.

KEY WORDS: Udic Argiustoll, Soil quality, Organic Carbon, Degradation Index (DI).

¹ Fac. Cs. Ex. Fís. y Nat. U.N. de Córdoba. Casilla de Correo N° 1398. Correo Central. (5000).

² CONICET. Fac. Cs. Químicas. U.N. de Córdoba. Pabellón Argentina. Ala I. 2° Piso. (5000). Córdoba. Argentina.

INTRODUCCIÓN

Los efectos del uso del suelo sobre las propiedades físicas dependen de varios factores, entre los cuales pueden citarse las propiedades del material parental, el clima, el manejo de la tierra y el tipo de cultivo (Mahboubi A. 1993). Cihacek *et al.* (1994) señalan, por su parte, que los procesos de erosión hídrica modifican las propiedades químicas del horizonte superficial, tales como carbono orgánico, nitratos, pH, fósforo extractable y capacidad de intercambio catiónico. Estas modificaciones tienden a reducir la productividad de los suelos (Lowery B. *et al.*, 1995), produciendo un impacto negativo sobre la mayoría de las variables edáficas. El grado de impacto sobre los suelos depende en forma importante del espesor original y de la calidad del horizonte superficial, así como también de la naturaleza del horizonte subsuperficial (Frye W. *et al.*, 1982). El objetivo de este estudio es la comparación de valores de densidad real y aparente, porosidad, composición granulométrica, pH 1:2,5, carbono orgánico y capacidad de intercambio catiónico, entre horizontes superficiales y subsuperficiales de suelos cultivados y prístinos. Para tal fin se diseñó un plan de muestreo, definiendo unidades sobre la base de conceptos genéticos y prácticos. Es decir, en función de la forma del relieve, tipo de suelo, clase de erosión y tipo de cultivos y manejo cultural. A partir del análisis estadístico de las variables edáficas se estableció un Índice de degradación (ID). Este índice es definido como un atributo "indicador" que cuantifica el nivel de modifi-

cación introducido en los suelos, por actividades antrópicas principalmente agrícolas y procesos asociados de erosión hídrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Area de estudio

Los suelos estudiados corresponden a un sector del Piedemonte aluvial de la Sierra Chica, Córdoba, Argentina ($31^{\circ}00'-30^{\circ}50'S$; $64^{\circ}06'-64^{\circ}15'O$). Esta área, representativa de la región semiárida de la provincia de Córdoba, presenta una precipitación anual de 790-860mm, con las mayores lluvias concentradas en primavera y verano. En el verano las temperaturas medias más frecuentes varían entre 34° y $42^{\circ}C$.

El estudio se realizó en la estancia El Tala ubicada a 60 km al norte de la ciudad de Córdoba (Figura 1), en unidades de paisaje con pendiente menor a 1% (relieve subnormal). Los suelos estudiados son clasificados taxonómicamente como Argiustoles údicos, limosa fina, térmica, El Tala. El material parental pertenece estratigráficamente a sedimentos de naturaleza loessoides de posible edad Pleistoceno superior-Holoceno inferior (Sacchi G. 2001, Tesis doctoral). Este Gran grupo de suelo es representativo de los suelos fértiles de la región centro-este de la provincia de Córdoba. Los mismos representan aproximadamente el 43% del total de suelos definidos para dicha provincia (Gorgas J. *et al.*, 1993).

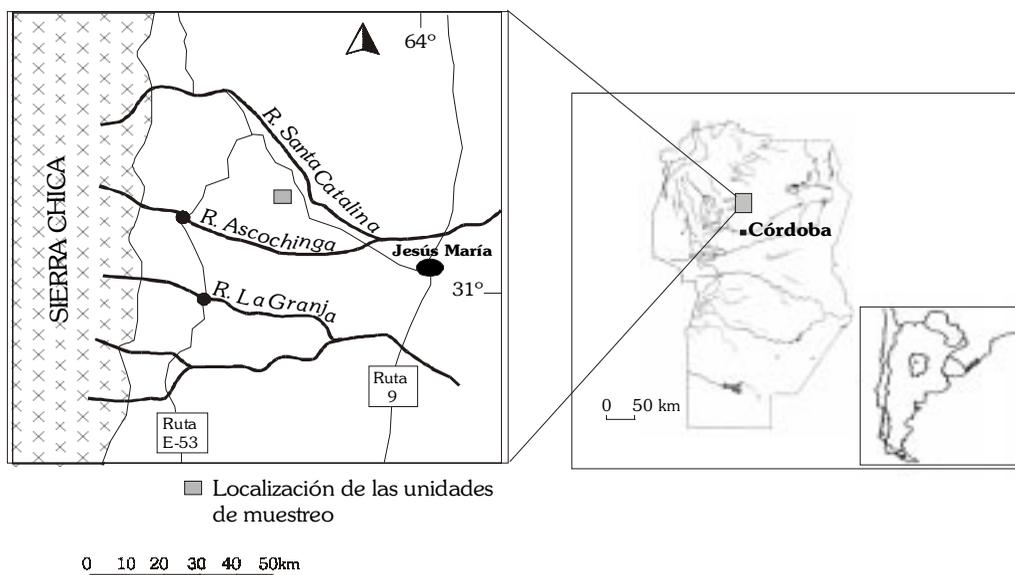


Figura 1. Localización del área de estudio.

Diseño experimental y tamaño de parcela

En los suelos cultivados y sin cultivar, el tamaño de las unidades de muestreo fue determinado en función del número de muestras a extraer para lograr una muestra representativa de la situación de estudio y del espaciamiento entre las mismas. Para el estudio de la mayoría de las variables edáficas se obtuvo por cada transecta de estudio una muestra compuesta integrada por 25 submuestras, siendo el error de muestreo inferido de 28%. Dicho error fue estimado mediante la siguiente ecuación: % Error = $90,2 (\text{número de submuestras})^{-0,36}$ (Rollán, A. 1994). La misma fue definida para un estudio de fertilidad en función del parámetro edáfico con mayor variabilidad espacial, contenido de nitratos. En el caso de la variable densidad aparente se extrajeron por transecta 8 muestras simples sin disturbar, con una varianza muestral inferior a 0,005 y una diferencia a detectar entre dos valores medios de densidad, de diferentes transectas, menor a 0,09 g/cc. El nivel de significación del ensayo es del 5%. El espaciamiento entre las muestras fue de dos metros, para asegurar un comportamiento estocástico en las variables edáficas (Kachanoski R. *et al.*, 1985; Anderson S. *et al.*, 1986; Bachmeier O. *et al.*, 1992).

De esta manera, en los suelos cultivados las unidades de muestreo presentaron un tamaño de 14x50 m. En cada unidad dos transectas atraviesan en forma diagonal los lotes de estudio, esta disposición de las transectas induce un menor error en el muestreo disminuyendo la probabilidad de obtener muestras intensamente modificadas por procesos de erosión hídrica, acumulación de sedimentos o concentración de fertilizantes. Esta situación de estudio quedó caracterizada por cuatro (4) unidades de muestreo y ocho (8) transectas. En las condiciones prístinas el muestreo se realizó a lo largo de dos transectas, cada una de ellas con 50 m de largo. Debido a la escasa representación areal de esta condición de uso, no se pudieron definir unidades de muestreo con las dimensiones determinadas para los suelos cultivados.

Las transectas en suelos cultivados y sin cultivar fueron localizadas en la misma unidad cartográfica de suelos, definida a escala 1:20.000. De esta forma, se aseguró que determinadas formas de relieve estuvieran asociadas a una misma serie de suelo; es decir se mantuvieron entre las situaciones a comparar constantes las condiciones genéticas (relieve y tipo de suelos) presentando solamente diferencias referidas al uso de la tierra.

En referencia al uso del suelo, en los lotes cultivados es fundamentalmente agrícola con una secuencia de cultivos maíz-soja con un sistema de labranza cero mantenido desde el ciclo 1996-1997. En cuanto a las situaciones prístinas, las especies más comunes son *Celtis tala Planchon*,

Lithraea ternifolia (Gill.) Barkley, *Geoffroea decorticans* (Gill.) Burk., *Condalia microphylla* Cav., *Aloysia gratissima* (Gill. et Hook.) Tronc. y *Acacia caven* (Mol.) Mol. Estos suelos prístinos no se encontraron a lo largo de su historia bajo uso agrícola o ganadero.

Determinaciones analíticas

Variables físicas: densidad real por el método del picnómetro (Petrelli C. 1980); densidad aparente por el método del cilindro y porosidad total estimada a partir de la relación entre las densidades. La determinación de los tamaños de partículas se realizó según Carver (1971).

Variables químicas: pH el cual fue medido potenciométricamente en agua con una relación suelo:solución 1:2,5 (Jackson M. 1982); contenido de carbono orgánico por el método de Walkley-Black (1934) y CIC por el método de acetato de amonio 1N a pH=7.

Análisis de los datos

Las fases de suelos por erosión hídrica se determinaron en función de la pérdida del espesor del horizonte superficial con respecto al perfil modal de la serie (Etchevehere P. 1976). La calificación de la densidad aparente fue realizada de acuerdo a los conceptos de Etchevehere (1976). En la caracterización del pH se consideró los intervalos establecidos por USDA (en Porta Casanellas J. *et al.*, 1994).

Los resultados obtenidos fueron evaluados estadísticamente mediante análisis de la varianza y determinación de la mínima diferencia significativa (MDS) en el nivel de significancia de 0,05. Se realizó también un análisis de correlación entre las diferentes variables edáficas estudiadas.

El comportamiento de los suelos cultivados y su tendencia temporal fue caracterizado a partir de la normalización de las variables edáficas con respecto al sistema de referencia. Estos valores normalizados denominados Número Índice, representan una medida estadística que señalan modificaciones en una variable con respecto al tiempo, situación geográfica u otra característica (Spiegel M. 1991), en el caso de estudio historias de uso y manejo de la tierra.

Para la determinación del Índice de degradación (ID) se utilizó la siguiente metodología: 1) en primer lugar se estimó las diferencias de los números índice de cada variable entre suelos cultivados y de referencia (número índice=1). El valor de esta diferencia indica el nivel de modificación de las variables. 2) Con estos valores se estableció una sumatoria, donde el signo correspondiente dependió del aumento (positivo) o disminución (negativo) del valor de las variables con respecto a su sistema de referencia. Para

esta ecuación, solamente se consideraron aquellas variables con una diferencia significativa entre las correspondientes situaciones de estudio ($p < 0,05$). 3) Para dejar expresado el ID como un número índice, las diferencias de los valores normalizados se refirieron al sistema de referencia. En la ecuación sumatoria, los valores absolutos normalizados de las variables no fueron utilizados debido a que no reflejarían las diferencias verdaderas entre los sistemas comparados. Porque en los valores menores a la unidad (por ejemplo un ID de 0,90 ó 0,63), un mayor valor absoluto indica una menor diferencia con el sistema de referencia (por ejemplo de 0,10 y 0,37 respectivamente) (Cuadro 1). Con el objetivo de que las modificaciones en el sistema suelo quedaran definidas en una ecuación de regresión, se estableció una relación entre las variables seleccionadas y los correspondientes números índice del ID.

Este método propuesto para la estimación de la degradación tiene las siguientes ventajas: 1) es de fácil aplicación, 2) las unidades de medida de las variables no afectan el valor de los mismos. En esta metodología se tiene en cuenta la importancia relativa de los diferentes cambios de las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos prístinos pueden considerarse como un punto de referencia del sistema edáfico, porque las condiciones naturales del ambiente (en referencia principalmente a su uso) se han encontrado poco modificadas en el tiempo. De esta forma, estos suelos están sujetos a menores cam-

bios en la distribución de nutrientes y propiedades físicas del perfil en relación a suelos cultivados. En estos últimos ocurren importantes cambios en dichas características y también en el tamaño y actividad de la biomasa microbiana con respecto al tipo y uso de la tierra (Quiroga A. *et al.*, 1997).

En el área de estudio, los suelos prístinos presentaron un espesor medio del horizonte superficial de 33 cm, mientras que los suelos cultivados un espesor de 20 cm. Estos suelos cultivados en relación a los prístinos perdieron aproximadamente un 40% del espesor del horizonte superficial (Cuadro 2). El espesor medio de los suelos que tipifica la serie El Tala es de 28 cm, presentándose el conjunto de los suelos cultivados en fases ligera y moderadamente erosionados por agua. En los primeros hay una pérdida del horizonte superficial del 21% con respecto al perfil modal de la serie, mientras que en los segundos la pérdida alcanza el 36%.

Variables físicas (Cuadro 2)

Los valores de densidad real se incrementaron en los horizontes superficiales de los suelos cultivados, con respecto a los correspondientes horizontes de los suelos prístinos. En los horizontes subsuperficiales se presenta una situación diferente, incrementándose los valores de densidad real en las condiciones prístinas. En esta profundidad del perfil, la diferencia entre ambos tipos de manejo de suelos no es significativa estadísticamente. Esta modificación de la densidad real se encuentra relacionada con las

Cuadro 1. Ejemplo para la determinación del Índice de degradación en el horizonte superficial. Esta operación se repitió para cada transecta de estudio.

Densidad real	Densidad aparente	C.O.	pH _{H2O}	C.I.C.		
1,09	1,25	0,63	0,90	0,69	Números Índice	
0,09	0,25	0,37	0,10	0,31	Diferencia con el sistema de referencia	1 ^{er} paso
	↓					
+0,09	+0,25	-,37	-0,10	-0,31	∑ -0,44 (ID)	2 ^{do} paso
	↓					
Número Índice del ID				0,56		3 ^{er} paso

C.O.: carbono orgánico.

Cuadro 2. Estadística de las variables físicas. Media (máximo-mínimo).

	Espesor horizonte A (cm)	Densidad real (g/cc)	Densidad aparente (g/cc)	Porosidad total (%)
Suelos cultivados				
Horizonte superficial	20* (15 - 25)	2,58* (2.48 - 2.65)	1,21* (0.92 - 1.56)	53 (45 - 61)
Horizonte subsuperficial		2,60 (2.46 - 2.75)	1,42* (1.14 - 1.80)	46 (38 - 54)
Suelos prístinos				
Horizonte superficial	33 (29 - 39)	2,34 (2.30 - 2.37)	1,13 (0.90 - 1.39)	52 (44 - 59)
Horizonte subsuperficial		2,74 (2.69 - 2.78)	1,23 (1.07 - 1.38)	55 (51 - 59)
Material parental				
		2,63	1,16	55

*Diferencia significativa entre las medias de suelos cultivados y prístinos a un nivel $p < 0,05$.

variaciones del carbono orgánico en los perfiles de suelos.

En los horizontes superficiales y subsuperficiales de los suelos cultivados, los valores de densidad aparente se incrementan con respecto a los correspondiente horizontes de los suelos prístinos, siendo estas variaciones significativas. Debido a que la densidad aparente varía principalmente en función de las características estructurales, es posible inferir condiciones de mayor compactación en los suelos cultivados producto fundamentalmente del uso de la tierra. En este tipo de manejo de la tierra, el 59% del total de los horizontes subsuperficiales muestreados se encuentran "compactados a muy compactados" con una densidad aparente mayor a 1,30 g/cc. En los suelos prístinos solamente el 25% de dichos horizontes mantiene, por sus características intrínsecas, estos altos valores de densidad.

La variable porosidad total no se encontró afectada en forma significativa por un cambio en las condiciones de uso del suelo. Los porcentajes de porosidad resultaron ligeramente mayores en los horizontes superficiales de los suelos cultivados en comparación a los prístinos, no siendo esta diferencia significativa estadísticamente. Esta diferencia tampoco se manifiesta para los horizontes subsuperficiales, donde los valores de porosidad total son mayores en las condiciones prístinas.

En los horizontes subsuperficiales de los suelos cultivados, los menores valores de porosidad total se encuentran asociados con mayores valores de densidad aparente. En estos suelos, el efecto negativo resultado de una

mayor densidad aparente se encuentra aún más agravado por una disminución en el porcentaje de porosidad total. En los suelos prístinos esta situación se modifica, debido a que un mayor valor de densidad aparente en los horizontes subsuperficiales se encuentra compensado con un mayor porcentaje de porosidad total.

Las distintas fracciones granulométricas, no presentan diferencias significativas para los horizontes superficiales y subsuperficiales entre los diferentes tipos de manejo de suelos. Sin embargo, es importante destacar el incremento de las fracciones gruesas en los suelos cultivados. Por ejemplo, en los horizontes superficiales de estos últimos suelos el limo grueso disminuye un 4,6% y el contenido de arena total (50-2000 μ) se incrementa un 5,6% con respecto a su situación sin cultivar. En los horizontes subsuperficiales de los suelos cultivados el contenido de limo fino disminuye un 3,2% y la arena total se incrementa un 6.8% con respecto a los suelos prístinos (Cuadro 3).

Variables químicas (Cuadro 4)

En los horizontes superficiales y subsuperficiales de los suelos cultivados el pH tiende a disminuir. Esta disminución puede responder tanto a una mayor intensidad de los procesos de erosión hídrica (condiciones extrínsecas) como a una mayor acentuación del proceso de lixiviación de cationes (condiciones intrínsecas). Este último proceso genéticamente se aceleró a partir de que se produjo la descarbonatación del material parental. En los suelos cultivados, el carbonato de calcio se encuentra solamente en

Cuadro 3. Composición granulométrica de los perfiles de suelos.

	Arcilla		Limo			Arena		
	(2 μ)	Fino (2-20 μ)	Grueso (20-50 μ)	Muy fina (50-100 μ)	Fina (100-250 μ)	Media (250-500 μ)	Gruesa (500-1000 μ)	Muy gruesa (1000-2000 μ)
Suelos cultivados								
Horizonte superficial	26.7	29.3	26.1	4.1	3.2	3.3	3.7	1.6
Horizonte subsuperficial	33.8	26.5	22.7	4.7	3.0	2.9	3.6	1.8
Suelos prístinos								
Horizonte superficial	27.8	29.6	30.7	3.9	2.1	1.7	1.8	0.9
Horizonte subsuperficial	34.4	29.7	25.4	3.6	2.1	1.6	1.3	0.6

Cuadro 4. Estadística de las variables químicas. Media (máximo-mínimo).

	pH _{H2O}	C.O. (%)	C.I.C. (cmol _c kg ⁻¹)
Suelos cultivados			
Horizonte superficial	6,74* (6.38 - 6.97)	1,56* (1.37 - 1.66)	29,01* (23.8 - 31.0)
Horizonte subsuperficial	7,47* (7.15 - 7.70)	0,63* (0.52 - 0.78)	33,2 (27.8 - 36.6)
Suelos prístinos			
Horizonte superficial	7,13 (6.85 - 7.43)	2,35 (2.05 - 2.64)	35,35 (32.0 - 38.7)
Horizonte subsuperficial	7,84 (7.29 - 8.39)	1,15 (0.96 - 1.33)	35,15 (34.7 - 35.6)
Material parental			
	9.06	0.10	24.3

*Diferencia significativa entre las medias de suelos cultivados y prístinos a un nivel $p < 0,05$.

el material originario, el cual es "ligeramente alcalino a alcalino". En los suelos prístinos, el carbonato de calcio se presenta en algunos casos en los horizontes subsuperficiales, esta situación no sólo condiciona que el proceso de lixiviación sea menos intenso sino que también determina los mayores valores de pH en relación a los suelos cultivados.

El uso del suelo así como también los procesos de erosión hídrica, han ocasionado una disminución en el porcentaje de carbono orgánico en los horizontes superficia-

les y subsuperficiales de los suelos cultivados. La utilización del suelo para actividades agrícolas implica una aceleración de la mineralización, de forma tal que la materia orgánica preexistente disminuye en forma exponencial en el tiempo (Porta Casanellas J. *et al.*, 1994).

Quiroga et al (1998) al estudiar el deterioro de variables edáficas producto del sistema de manejo de suelos, determinó que en Haplustoles énticos desarrollados a partir de sedimentos eólicos la variación de los contenidos de materia orgánica entre suelos con similares texturas (arcilla

más limo) es causada por cambios en el manejo de suelos. Dicha situación también justificaría para el área estudiada la variación de los porcentajes de carbono orgánico, pero en este caso en suelos clasificados como Argiustoles údicos.

En los suelos cultivados estudiados, a pesar de una semi-incorporación de rastrojos en el horizonte superficial debido al sistema de labranza utilizado, la disminución del carbono orgánico alcanza un porcentaje de 34%. Esta reducción es mayor a la determinada por Urricariet *et al.* (1999) para Argiudoles típicos de la Pampa Ondulada, con condiciones de alternancia agrícola (sistema de labranza convencional)-ganadera; estos valores oscilan entre 27 y 23% de acuerdo a la intensidad del uso del suelo.

La disminución de carbono orgánico en los horizontes superficiales de los suelos cultivados, se asocia con un incremento de la densidad real (Mahboubi A. *et al.*, 1993) y aparente, está última variable también es función de un mayor contenido de arcilla en dicho horizonte (Frye W. *et al.*, 1982). En tal sentido, la relación con la densidad real se establece con un coeficiente de -0,91 ($p < 0,05$). En el caso de la densidad aparente los coeficientes de correlación con las variables carbono orgánico y arcilla, de -0,70 y -0,26 respectivamente, resultaron no significativos estadísticamente ($p > 0,10$).

Los valores de CIC también se han encontrado modificados por el tipo de manejo, de esta forma en los horizontes superficiales y subsuperficiales de los suelos cultivados se presenta una menor capacidad de intercambio en relación con los prístinos. El comportamiento de esta variable edáfica se encuentra relacionado con las variaciones de los porcentajes de carbono orgánico y arcilla. El modelo de regresión lineal entre las tres variables, explica el 88,54% de la variabilidad de la capacidad de intercambio. Cihacek *et al.* (1994) determinaron también esta relación entre

CIC, carbono orgánico y arcilla, al estudiar suelos desarrollados a partir de sedimentos de loess y de till glacial.

En los suelos cultivados, la CIC presenta un mayor coeficiente de correlación con los porcentajes de arcilla que con respecto a los de carbono orgánico. Esta relación con el carbono es negativa, debido a que el mismo disminuye en los horizontes subsuperficiales habiendo un incremento de CIC por los mayores contenidos de arcilla en dicho horizonte. En los suelos prístinos, la capacidad de intercambio se encuentra relacionada con un mismo coeficiente ($r=0,38$) con el carbono orgánico y la arcilla (Cuadro 5). Esto indica que al disminuir el contenido de carbono orgánico en los suelos, los porcentajes de arcilla son los responsables mayoritarios de la capacidad de intercambio de cationes, mientras que cuando los porcentajes de carbono aumentan sin existir una variación significativa de la arcilla (como es el caso de un mismo suelo bajo diferentes manejos) ambos componentes coloidales equiparan su influencia sobre dicha propiedad.

El comportamiento de la CIC en los suelos prístinos es explicado en función de la variable limo fino. Esta condición se refleja en los valores de los coeficientes r y r^2 , de 0,93 y 0,87 ($p < 0,10$) respectivamente, determinados para dicho uso del suelo. Esta condición de correspondencia entre dichas variables edáficas no se cumple para los suelos cultivados (Cuadro 5).

Situación temporal del sistema edáfico

En la Figura 2 se muestra la tendencia normalizada en el sistema edáfico, debido a los cambios inducidos por las actividades agrícolas. En el horizonte superficial las propiedades físicas, densidad real y aparente, y porosidad total se incrementaron en los suelos cultivados comparados con los prístinos. Por su parte, las variables químicas

Cuadro 5. Comportamiento de la C.I.C., en suelos cultivados y prístinos, en relación con las variables carbono orgánico, arcilla y limo fino.

Variables edáficas	r	r ²	Error estándar	Variables edáficas	r	r ²	Error estándar
Suelos cultivados				Suelos prístinos (n=4)			
C.O. (n=16)	-0,57	0,33*	3,46	C.O.	0,38	0,15 (ns)	3,12
Arcilla (n=8)	0,99	0,99**	0,44	Arcilla	0,38	0,15 (ns)	3,12
Limo fino (n=8)	0,43	0,19 (ns)	3,82	Limo fino	0,93	0,87†	1,23

n: número de observaciones

†, *, **: significativo al 0,10, 0,05 y 0,01 niveles de probabilidad respectivamente

(ns): no significativo

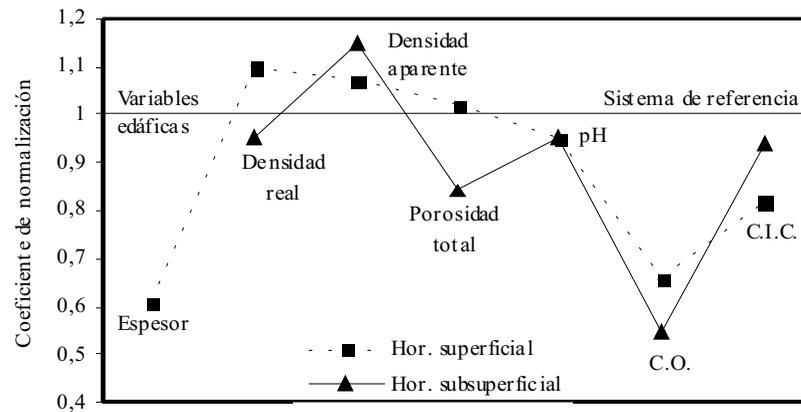


Figura 2. Comportamiento de los suelos cultivados.

pH, carbono orgánico y CIC disminuyeron sus valores con respecto a su sistema de referencia.

En el horizonte subsuperficial de los suelos cultivados las propiedades físicas y químicas presentaron un comportamiento semejante, disminuyendo con respecto a las condiciones prístinas. La densidad aparente es la única variable que presentó un comportamiento diferente con respecto al conjunto de las variables analizadas.

Los resultados de la normalización de las variables indican que el carbono orgánico se modificó en forma considerable en ambos horizontes, superficial y subsuperficial, con respecto a las condiciones prístinas. El resto de las variables en los suelos cultivados presenta menores diferencias con respecto a los prístinos, sin embargo estas diferencias resultaron significativas a un nivel del 5%. Por ejemplo con respecto a las variables densidad real y aparente, pH y CIC para el horizonte superficial y densidad aparente y pH para el horizonte subsuperficial.

Factor de degradación

Las propiedades de suelos tales como “degradación”, “fertilidad” y “productividad” son de muy difícil medición, por esta razón se diseñó una metodología de evaluación basada en el concepto estadístico de Número Índice. A través de esta metodología se propone un Índice de Degradación, que puede ser aplicado a cualquier tipo de suelo, siendo el único requisito conocer la condición de referencia del correspondiente sistema.

El ID se estableció en el horizonte superficial a partir de las variables densidad real y aparente, carbono orgánico, pH y CIC. La ecuación de regresión estimada se presenta en el Cuadro 6.

En este horizonte se presentaron valores de degradación comprendidos entre 0,74 y 0,2 (Figura 3). En los suelos ligeramente erosionados el coeficiente de variación es de 5,74%, siendo menor al encontrado para los suelos mo-

Cuadro 6. Regresión múltiple para los horizontes superficiales y subsuperficiales entre el Índice de degradación y las variables indicadas.

	r^2	Intercepto	Coeficientes lineales				
			Densidad real	Densidad aparente	C.O.	pH _{H2O}	C.I.C.
Horizonte superficial	0,99**	-3,860	+0,348	+0,847	+0,548	+0,135	+0,027
Horizonte subsuperficial	0,86*	+7,877		+0,586	-1,554	-0,953	

*, **: significativo al 0,05 y 0,01 niveles de probabilidad respectivamente.

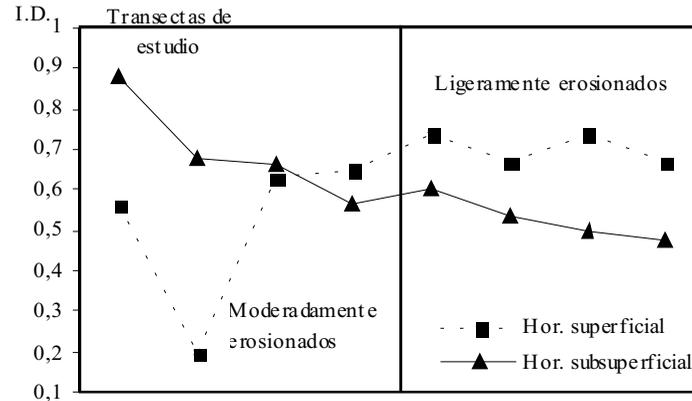


Figura 3. Índices de degradación de los horizontes superficiales y subsuperficiales.

deradamente erosionados (41,72%). El ID estimado utilizando la metodología propuesta refleja el nivel de degradación en esta profundidad del perfil. En la Figura 3, puede observarse que las poblaciones de suelos ligera y moderadamente erosionadas quedaron diferenciadas de acuerdo a los valores del índice. Estos valores reflejan mayores diferencias entre los suelos moderadamente erosionados y los de referencia.

En el horizonte subsuperficial las variables densidad aparente, carbono orgánico y pH definieron el ID, siendo la ecuación de regresión presentada en el Cuadro 6. Los valores de degradación oscilaron para este horizonte entre 0,88 y 0,48. El ID en los suelos moderadamente erosionados presenta un coeficiente de variación (19,29%) mayor al de los suelos ligeramente erosionados (9,98%). Este índice no señala una diferenciación entre suelos con diferente fase por erosión (Figura 3), debido a que los contenidos de carbono orgánico fueron mayores en los suelos moderadamente erosionados y las diferencias de pH fueron no significativas (datos no mostrados). En estos horizontes los procesos de degradación no se manifiestan en forma tan notable como en los superficiales, sin embargo se presenta una modificación del conjunto de variables estudiadas (Figura 2).

CONCLUSIONES

En los horizontes superficiales los procesos de degradación quedaron expresados en forma significativa ($p < 0,05$), a partir de la modificación de las variables densidad real y aparente, carbono orgánico, pH y CIC. En los horizontes subsuperficiales estos procesos también pro-

dujeron modificaciones significativas en las variables densidad aparente, carbono orgánico y pH. La porosidad total y la composición granulométrica, tanto de los horizontes superficiales como subsuperficiales, no se constituyeron en variables indicativas de los procesos de degradación.

Las propiedades físicas y químicas de los horizontes superficiales tuvieron un comportamiento antagónico frente a los procesos de degradación, lo cual permitió diferenciarlas en dos grupos. Estas diferencias no se registraron para los horizontes subsuperficiales, donde las variables edáficas mantuvieron en general un comportamiento similar.

El carbono orgánico se ratifica como la variable que mejor detecta la degradación de suelos, hecho de fundamental importancia debido a que una variación en su contenido afecta el comportamiento de otras propiedades físicas y químicas.

El Índice de degradación remedia una importante limitación para evaluar en forma conjunta propiedades edáficas que expresen cambios con respecto a su sistema de referencia. La metodología propuesta permitió la diferenciación de suelos con diferente nivel de degradación en los horizontes superficiales. El ID debería ser examinado con otros tipos de suelos, ya que diferentes propiedades edáficas podrían ser adicionadas a las propuestas en la metodología original.

AGRADECIMIENTOS

G.S. agradece a CONICET por la Beca de Investigación. Los autores desean agradecer al Dr. Manuel Ignacio Velasco la lectura crítica del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, S.A., CASSEL, D.K. 1986. Statistical and autoregressive analysis of soil physical properties of Portsmouth sandy loam. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:109661104.
- BACHMEIER, O.A., BUFFA, E. 1992. Variabilidad espacial de un suelo bajo vegetación de *Prosopis* sp. Turrialba. 3:3656370.
- CARVER, A. 1971. Procedures in sedimentary petrology. Univ. of Georgia. Athens, Willey Interscience. Georgia.
- CIHACEK, L.J., SWAN J.B. 1994. Effects of Erosion on Soil Chemical Properties in the North Central Region of the United States. *J. Soil and Water Conservation.* 3:2596265.
- ETCHEVEHERE, P.H. 1976. Normas de reconocimiento de suelos. 2^{da} ed. INTA. Publicación 152, Buenos Aires.
- FRYE, W.W., EBELHAR, S.A., MURDOCK, L.W., BLEVINS, R.L. 1982. Soil erosion effects on properties and productivity of two Kentucky soils. *Soil Sci. Soc. Ame. J.* 5: 105161055.
- GORGAS, J.A., TASSILE, J.L., LOVERA, E., MOORE, F. 1993. Panorama edafológico de Córdoba. I.N.T.A. – M.A.G. y R.R. Plan Mapa de Suelos. Córdoba.
- JACKSON, M.L. 1982. Análisis químico de suelos. Omega, S.A.
- KACHANOSKI, R.G.; JONG E., ROLSTON, D.E. 1985. Spatial and spectral relationships of soil properties and microtopography: I. Density and thickness of B horizon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:8126816.
- KACHANOSKI, R.G., ROLSTON, D.E., JONG E. 1985. Spatial and spectral relationships of soil properties and microtopography: I. Density and thickness of A horizon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:8046811,
- LOWERY, B., SWAN, J., SCHUMACHER, T., JONES, A. 1995. Physical properties of selected soils by erosion class. *J. Soil and Water Conservation,* 3:3066311.
- MAHBOUBI, A.A., LAL, R., FAUSSEY, N.R. 1993. Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio. *Soil Sci. Soc. Ame. J.* 57:5066512,
- PETRELLI, C. 1980. Apuntes de Pedología. Fac. Cs. Ex. Fis. y Nat. U.N. de Córdoba.
- PORTA CASANELLAS, J., LÓPEZ-ACEVEDO REGUERÍN, M., ROQUERO DE LABURU, C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa.
- QUIROGA, A., ORMEÑO, O. 1997. Efectos sobre el suelo de siembra directa y convencional de trigo y sorgo, en monocultura y rotación. 4^{ta} Jornadas de fertilidad y recuperación de suelos. pp. 62-73.
- QUIROGA, A, BUSCHIAZZO, D.E., PEINEMANN, N. 1998. Management discriminant properties in semiarid soils. *Soil Science.* 7:5916597.
- ROLLÁN, A.A. 1994. Criterios a adoptar en la toma de muestras de suelos. En Jornada Técnica sobre fertilidad de suelos. Asoc. Ing. Agr. de Hernando – INTA – M.A.G. y R.R. de Córdoba – Colegio de Ing. Agr. de Córdoba. pp.165.
- SACCHI, G.A. 2001. Dinámica de erosión hídrica y de degradación física y química de suelos en las cuencas de los ríos Santa Catalina y Ascochinga. Córdoba. Argentina. Tesis Doctoral, U.N. de Córdoba. Fac. Cs. Ex. Fis. y Nat.
- SPIEGEL, M.R. 1991. Capítulo 19. Números índice. En: Estadística, pp.4786510. Mc Graw-Hill.
- URRICARIET, S., LAVADO, S.D. 1999. Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo.* 1:37644.
- WALKLEY, A., BLACK, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the cromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29637.