



Evaluación de la conductividad hidráulica como indicador de la calidad de suelos en la región centro-norte de Córdoba

Aoki, Antonio Marcelo
Ateca, María Rosa del Pilar
Arias, F.
Cantarero, Marcelo Gabriel

Ponencia presentada en el XXIV Congreso Nacional del Agua. San Juan,
14 al 18 de octubre de 2013



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.

El Repositorio Digital de la Universidad Nacional de Córdoba (RDU), es un espacio donde se almacena, organiza, preserva, provee acceso libre y procura dar visibilidad a nivel nacional e internacional, a la producción científica, académica y cultural en formato digital, generada por los integrantes de la comunidad universitaria.

EVALUACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÚLICA COMO INDICADOR DE LA CALIDAD DE SUELOS EN LA REGIÓN CENTRO-NORTE DE CÓRDOBA

A.M. Aoki, M.R. Ateca, F. Arias, M. Cantarero

Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNC.

Av. Valparaíso s/n. Ciudad Universitaria. Te (fax) 4334118. aaoki@agro.unc.edu.ar

RESÚMEN

En la región centro norte de la provincia de Córdoba se ha producido una intensificación del uso de las tierras con cambios hacia sistemas agrícolas en detrimento de los usos ganaderos y mixtos. Se plantea como hipótesis que a partir del conocimiento de la conductividad hidráulica del suelo, es posible obtener información que oriente la elección de las acciones positivas para un manejo sustentable en aquellas regiones de mayor fragilidad. El objetivo general de este trabajo es evaluar si la conductividad hidráulica del suelo es un indicador robusto de la calidad del mismo, a fin de minimizar los impactos ambientales potencialmente negativos, producidos por la intensificación de los sistemas agrícolas. El área de estudio se encuentra ubicada al Norte de la ciudad de Córdoba, dentro de la pampa loésica alta, los suelos son Haplustoles. El clima es templado con estación seca en invierno. Se analizaron cuatro situaciones con diferentes historias de uso: Bosque Nativo (BN), Agrícola (A), Ganadero-Agrícola 1 (GA1) y Ganadero-Agrícola 2 (GA2), con diferente porcentaje de ganadería y agricultura. Se determinó a campo, entre otros parámetros, la conductividad hidráulica no saturada (K_0) del suelo en los distintos sitios de ensayo. Se observó que se produce una clara disminución de la K_0 a medida que aumenta el potencial de presión para todos los sitios de medición. Se verifica que los valores más elevados de K_0 a bajas succiones corresponden a BN, estimándose una reducción de aproximadamente el 84 % cuando se considera las situaciones A y AG1 y del 90 % para AG2. Esto se condice con el mayor contenido de materia orgánica y la menor densidad aparente de BN. A partir de la cuantificación de la K_0 en los diferentes sitios de ensayo se puede inferir que la misma es un indicador robusto de calidad del suelo, ya que permite identificar diferencias de funcionalidad entre situaciones de uso disimiles.

Palabras clave: Conductividad hidáulica, calidad de suelos, Haplustol

INTRODUCCIÓN

En la región pampeana en general, y en la zona central de Córdoba en particular, se ha producido una intensificación del uso de las tierras, con cambios hacia sistemas agrícolas en detrimento de los usos ganaderos y mixtos (Cholaky, et al.; 2009).

La expansión de la frontera agrícola en Córdoba ha ocurrido primordialmente sobre regiones de mayor fragilidad ecológica (i.e. localidades del norte), con mayores limitantes (Por Ej.: drenaje, salinidad, susceptibilidad a erosión) y riesgo de deterioro ocasionando interrogantes acerca de cuáles son los sistemas de producción más sustentables que apunten a mantener la productividad, conservar los recursos productivos, preservar el medio ambiente, responder a los requerimientos sociales y ser económicamente competitivos y rentables.

Este fenómeno, visualizado en diversas áreas del país, implica cambios significativos en el uso de la tierra, en la dinámica de los nutrientes y en los flujos de energía, y finalmente impacta en la estabilidad y sustentabilidad de los agroecosistemas.

En la zona de estudio, la vegetación original corresponde a la del espinal, sin embargo, las prácticas forestales y agropecuarias han llevado a la desaparición de gran parte de los bosques de esta región (Gorgas y Tasile, 2002). Al ser removida la vegetación para cultivarlos, lo que implica un movimiento de la capa arable, se provoca la mineralización del humus y una serie de cambios en las características físico-químicas del suelo. Esta acción desata una serie de procesos degradatorios que se intensifican con el correr del tiempo en una magnitud que dependerá de las técnicas agronómicas que se apliquen en su transcurso (Urdapilleta, et al.; 1995). La escasez de información que contemplen situaciones de “no uso” hace dificultoso el análisis comparativo con la situación original de estos suelos (Cisneros, et al.; 1997).

La productividad y sustentabilidad agronómica están determinadas por los efectos interactivos de la calidad del suelo, de los factores ambientales y del manejo. Interpretar y predecir los efectos del manejo sobre la calidad del suelo a través de indicadores confiables y sensibles constituye una de las principales finalidades de la ciencia del suelo moderna (Quiroga y Funaro, 2003). La calidad de suelo, desde un punto de vista agronómico, es la capacidad que tiene el mismo para funcionar efectivamente, tanto en el presente como en el futuro (Doran y Parkin, 1994; Larson y Pierce, 1994). Puede ser medida a través de propiedades físicas, químicas y/o biológicas, conocidas como indicadores de calidad de suelo. Un indicador es una variable que resume o simplifica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información relevante (Cantú, et al.; 2007). En la actualidad existe interés en identificar indicadores de calidad de suelo que logren: a) integrar procesos y propiedades físicas, químicas y/o biológicas, b) ser aplicados bajo diferentes condiciones de campo, c) complementar bases de datos ya existentes o datos fácilmente medibles y d) responder a cambios en el uso del suelo, a prácticas de manejo y a factores climáticos o humanos (Doran y Parkin, 1994).

La mayoría de las aproximaciones y modelos mencionados en la literatura para evaluar la calidad del suelo le adjudican a las propiedades hidráulicas en general, y a la infiltración del suelo en particular, un elevado peso relativo como indicador físico de calidad (Doran y Parkin, 1994; Larson y Pierce, 1994; Cisneros, et al.; 1997).

Por lo tanto, se plantea como **hipótesis** que a partir a partir del conocimiento de de la conductividad hidráulica del suelo, es posible obtener información que oriente la elección de las acciones positivas para un manejo sustentable en aquellas regiones de mayor fragilidad.

El **objetivo general** de este trabajo es evaluar si la conductividad hidráulica del suelo es un indicador robusto de la calidad del mismo, a fin de minimizar los impactos ambientales potencialmente negativos, producidos por la intensificación de los sistemas agrícolas.

MATERIAL Y MÉTODO

Ubicación y descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada a 50 km al Norte de la ciudad de Córdoba, cerca de la localidad de Tinoco ($31^{\circ}6'$ lat. S, $63^{\circ}57'$ long. O), en el Departamento Colón (Figura 1). Geomorfológicamente se sitúa dentro de la pampa loésica alta. Se trata de un plano alto, con pendiente regional hacia el Este bastante uniforme y que disminuye en el mismo sentido. El clima es templado con estación seca en invierno (Koeppen, 1931).

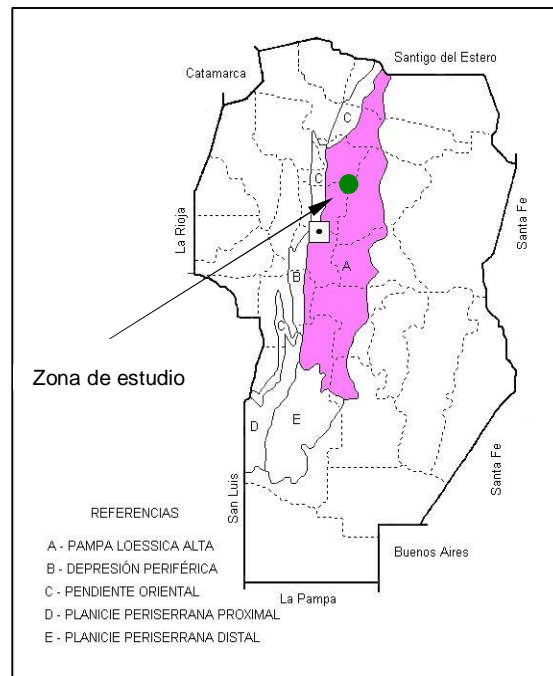


Figura 1. Ubicación de la zona de estudios dentro de los principales Ambientes Geomorfológicos de la región semiárida central de la Provincia de Córdoba.

Los Haplustoles, que son los suelos dominantes de la región, se caracterizan por ser suelos altamente productivos, profundos, bien drenados, fértiles, con un horizonte superficial rico en materia orgánica y con el complejo de cambio dominado por el calcio. El alto contenido de limo les confiere cierta fragilidad e inestabilidad estructural, que se manifiesta por una tendencia al encostramiento y al “planchado”, punto inicial de los escurrimientos y de los procesos erosivos.

Desde mediados del siglo pasado estas tierras sufrieron una casi total sustitución de la vegetación natural por cultivos, primero de trigo, luego de maíz y más recientemente de soja. Este proceso ha devenido en una intensa agriculturización que incluye un desplazamiento de las actividades ganaderas y contribuye a la intensificación de la erosión laminar y en cárcavas y a la degradación química y biológica del suelo (Gorgas y Tasile, 2003).

Sitios de ensayo

Se analizaron cuatro situaciones con diferentes historias de uso: 1) Bosque Nativo (BN): En este sitio el suelo conserva las características prístinas de los suelos de la región, la vegetación natural ha sufrido escaso daño debido a que nunca se lo destinó a uso agrícola o ganadero; 2) Agrícola (A), conducido bajo siembra directa. 3) Ganadero-Agrícola 1 (GA1); 4) Ganadero-Agrícola 2 (GA2). La secuencia de cultivos de estos últimos tres tratamientos puede observarse en la Tabla 1. Es importante aclarar que en el tratamiento GA2 el consociado de alfalfa mas cebadilla era pastoreado en forma directa con una carga animal de alrededor de 600 (\pm 50) animales (gordos en terminación o los novillitos en recría) en cuadros de 8-9 ha.

Tabla 1: Secuencia de cultivos desde el año 1994 al 2003 de los tratamientos GA1, GA2 y A

	Año							
	97	98	99	00	01	02	03	04
A	Soja	Soja	Maíz	Soja	Maíz	Soja-Trigo	Soja	Soja
GA1	Soja	Soja	Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Soja	Soja/Trigo	Soja
GA2	Soja	Soja	Alf.-Ceb.	Alf.-Ceb.	Alf.-Ceb.	Alf.-Ceb.	Soja/Trigo	Soja

Mediciones en los sitios de ensayo

En cada tratamiento se efectuó, en el año 2003-2004, un muestreo compuesto en un espesor de 0-7, 7-20 y 20-40 cm, en este trabajo se analiza solo el espesor de 0-7 cm.

A cada muestra compuesta se le determinó contenido de materia orgánica (MO) (Nelson y Sommers, 1996); estructura por índice de agregación (Wu, et al.; 1990), porcentajes de arena, limo 50 μ m, limo 20 μ m y arcilla por el método de la pipeta (Gree y Bauder, 1994). Todas las determinaciones se llevaron a cabo por triplicado.

En cada tratamiento se midió a campo por sextuplicado densidad aparente (DA) por el método del cilindro (Blake y Hartage, 1986) entre 2 a 7 cm de profundidad y profundidad del CO₃Ca. Además, se realizaron mediciones con infiltrómetros de disco (Perroux y White, 1988) a 3 succiones diferentes: 2, 4 y 6 cm, previo a la época de siembra del cultivo de verano sobre suelo en el que se le limpió la cobertura de rastrojo.

Método de determinación de la conductividad hidráulica del suelo a distintas succiones

Con las medidas realizadas a campo, en los distintos sitios de ensayo, se determinó la conductividad hidráulica no saturada (K_0) del suelo mediante el método de Ankeny et al. (1991), por ser éste uno de los que minimiza los errores experimentales en el cálculo de K_0 (Aoki y Sereno, 2004 b). A partir de las determinaciones previamente mencionadas, se extrapolaron los valores de K_0 a otras succiones, mediante un modelo exponencial decreciente.

Análisis estadístico

Se realizó mediante estadística descriptiva para el análisis de los distintos factores, y en donde se buscó una significancia entre tratamientos se utilizó el test de comparación de medias de Tuckey para $\alpha=0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según Pierce y Larson (1993) los suelos tienen un nivel de calidad que está básicamente definida por: a) **Su estado natural o rasgos inherentes:** relacionados con los factores formadores de los mismos, cuyas características no cambian fácilmente (suelos arenosos drenan más fácilmente que suelos arcillosos, suelos más profundos proveen de mayor espacio para el crecimiento radicular que suelos con una capa dura cerca de la superficie), y b) **La dinámica de un suelo:** asociada al manejo (la selección del manejo afecta la cantidad de materia orgánica del suelo, la estructura del suelo, la profundidad, la capacidad de almacenar agua y nutrientes). Siguiendo estos criterios, y en función de las propiedades medidas, se compararon la profundidad del CO_3Ca y la textura en cada situación (A, G1 y G2). Esto permite determinar si los tratamientos analizados son comparables desde el punto de vista de su estado natural o rasgos inherentes (la profundidad del CO_3Ca , en suelos sin problemas de drenaje, hace referencia al desarrollo del perfil y la textura del suelo indica los porcentajes relativos de las partículas del suelo).

Como se observa en las Figuras 2 y 3 no existen diferencias significativas en cuanto a la profundidad del CO_3Ca y la textura de los sitios de ensayo A, G1 y G2. En los tres tratamientos la textura es franco-limosa y el CO_3Ca se encuentra a una profundidad de aproximadamente 55 cm.

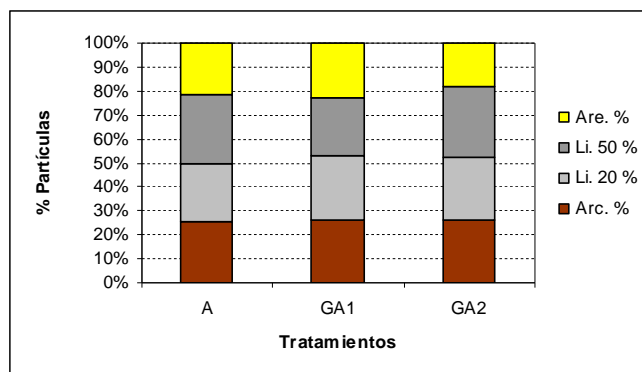


Figura 2: Textura superficial (0-7 cm) de los tratamientos A, GA1 y GA2

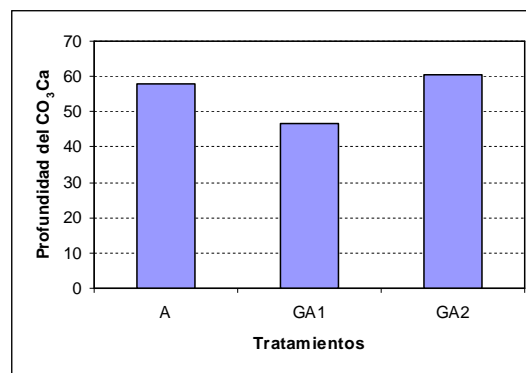
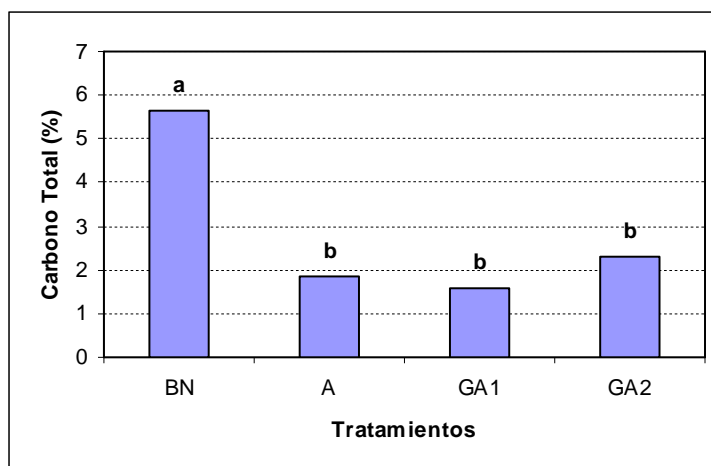


Figura 3: Profundidad del CO_3Ca en los tratamientos A, GA1 y GA2

Una vez que se determinó que los tratamientos son comparables desde el punto de vista de su estado natural, el siguiente paso fue detectar los cambios en los componentes dinámicos de la calidad del suelo para evaluar la sensibilidad o importancia de la conductividad hidráulica como indicador de calidad y conocer la performance y la sustentabilidad de los sistemas de manejo del suelo en estudio.

Como surge de la Figura 4, en el presente ensayo se obtuvieron valores de alrededor de un 65 % menos de contenido de CO , para los tres agrosistemas respecto a la situación testigo (BN). Es importante destacar que GA2 es el que menos disminuyó (60%) de los tres agrosistemas.

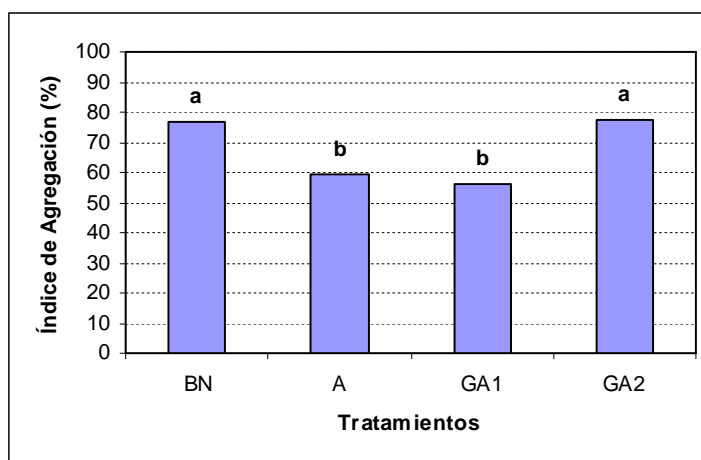
Cuando se elimina la vegetación original de un ecosistema y se pone bajo cultivo, el contenido de materia orgánica del suelo decrece. Este fenómeno, es observado en casi todos los suelos del mundo. Andriulo y Cordone (1998) describieron para suelos argiudoles de la Pampa Ondulada, con una baja tasa de erosión, un nuevo equilibrio en el contenido de materia orgánica, en los primeros 20 cm, que se alzaría entre un 40 a 60 % del que tenía el suelo virgen. De acuerdo con Michelena (1998) la agricultura continua provocó pérdidas en el contenido de materia orgánica del orden de 47 %. Bricchi et al. (2000) determinaron en un suelo Haplustol éntico, una reducción del orden del 68 % en el contenido de materia orgánica debido al uso del mismo, esto trajo como consecuencia una disminución de la porosidad total y un incremento del número de poros pequeños.



Valores seguidos de letras distintas difieren significativamente según test de Tukey ($P < 0,05$)

Figura 4. Contenido de carbono orgánico total superficial (0-7 cm) en los tratamientos BN, A, GA1 y GA2

El contenido de materia orgánica condiciona en gran medida la agregación del suelo y la configuración del sistema poroso: su geometría (tamaño y continuidad), y su estabilidad. En la Figura 5 puede observarse que existen diferencias significativas entre BN y GA2 si lo comparamos con A y GA1.



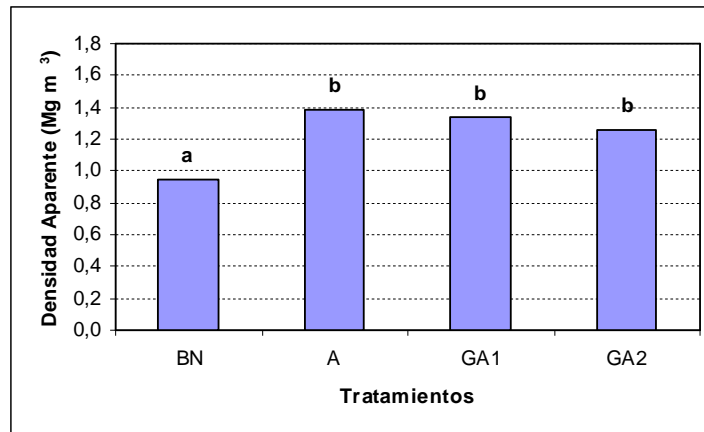
Valores seguidos de letras distintas difieren significativamente según test de Tukey ($P < 0,05$)

Figura 5. Índice de agregación superficial (0-7 cm) en los tratamientos BN, A, GA1 y GA2

Lo notable es la elevada agregación de GA2, esto se explicaría porque en este tratamiento la sucesión de cultivos incluye 4 años de una consociación de alfalfa y cebadilla y 1 año de trigo, lo que originaría una mayor estructuración del suelo. Por otra parte, en la metodología de determinación del índice de agregación no se trabaja con muestras indisturbadas sino que se morterea y tamiza las muestras y se contabiliza el porcentaje de partículas secundarias del suelo; debido a esto se perdería la configuración del sistema poroso que posiblemente nos indicaría algunas características diferenciales más de los distintos tratamientos.

La densidad aparente suele utilizarse como indicadora de compactación (Greenland, 1981). En este sentido se constató que los sitios de ensayos A, GA1 y GA2 poseen una tendencia

significativa a la densificación, si se los compara con BN (Figura 6). Esto se relaciona estrechamente con la porosidad total del suelo, propiedad de suma importancia en los procesos de movimiento de agua y aire en el mismo. En este sentido, el sitio de ensayo BN poseería una mayor porosidad total por su mayor contenido de materia orgánica (Tabla 4) y por su no laboreo.



Valores seguidos de letras distintas difieren significativamente según test de Tukey ($P < 0,05$)

Figura 6. Densidad aparente superficial (0-7 cm) en los tratamientos BN, A, GA1 y GA2

Si bien la densidad aparente de A, AG1 y AG2, no presenta diferencias significativas, se destaca una mayor densificación de A, posiblemente asociado al mayor número de cultivos anuales que no poseen algún grado de remoción de suelo. Los suelos limosos ofrecen serios inconvenientes en cuanto a su capacidad de regenerar macroporos (Douglas, et al.; 1986, Taboada, 1998). Ello se atribuye a que a menudo son débilmente estructurados, con limitado potencial de expansión-contracción, y además se compactan fácilmente (Taboada, 1998). En nuestro país este problema afecta a muchos suelos agrícolas (Pecorari, et al.; 1990). En la Pampa Ondulada, los horizontes Ap de muchos suelos tienden a formar estructuras masivas con alta porosidad textural, pero con pérdida de la porosidad estructural con diámetros mayores a 0,03-0,05 mm (Pecorari, et al.; 1990). La compactación superficial no resulta del colapso de todo el espacio poroso edáfico, sino sólo de los poros de mayor tamaño (i.e. $> 0,03$ mm de diámetro cilíndrico equivalente), debido a la acción de perturbaciones externas o internas impuestas al suelo. Sin embargo, no abunda información referente a efectos de las labranzas sobre la distribución de tamaño de poros (Taboada, 1998).

Variación de la conductividad hidráulica entre sitios de ensayo

Como puede observarse en la Figura 7, se produce una clara disminución de la K_0 a medida que aumenta el potencial de presión para todos los sitios de medición. Esto indica un comportamiento diferencial del rango de poros a diferentes succiones.

Al analizar comparativamente los valores presentados en la Figura 7, se verifica que los valores más elevados de K_0 a bajas succiones corresponden a BN, estimándose una reducción de aproximadamente el 84 % cuando se considera las situaciones A y AG1 a -2 cm de presión y del 90 % para AG2. Esto se condice con el mayor contenido de materia orgánica y la menor densidad aparente de BN (Figuras 4 y 6). Es evidente que en este nivel de comparación el componente estructural juega un rol determinante en el arreglo espacial y distribución de los poros, lo que condicionaría en forma directa la mayor conductividad hidráulica a bajas succiones. En el mismo sentido, Lin et al. (1996) afirmaron que el movimiento del agua en suelos estructurados naturalmente, debido a que poseen macroporos y poros biológicos, es diferente del de aquellos

suelos homogeneizados artificialmente. A succiones más elevadas el tamaño y número de poros estaría más condicionado por la textura del suelo. En coincidencia con esto, Watson y Luxmoore (1986) sostienen que cuando el movimiento de agua sucede en poros gruesos, la variabilidad del flujo está asociada a la estructura del suelo, mientras que a bajos contenidos hídricos, la variabilidad del flujo está asociada con la variabilidad de la textura.

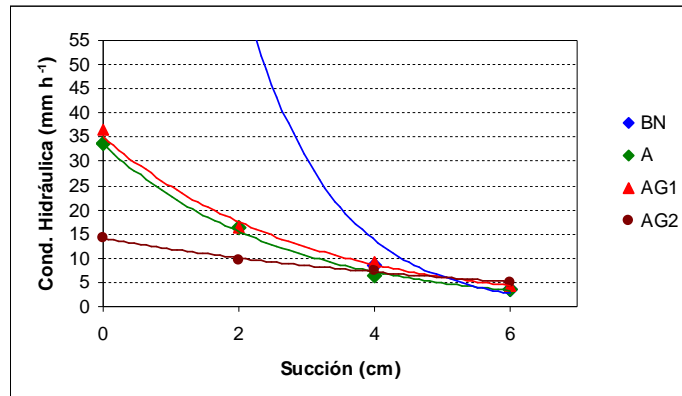


Figura 7. Conductividad hidráulica superficial (0-7 cm) en los tratamientos simulada entre los 0-8 cm de tensión a partir de los datos medidos a campo.

Aoki y Sereno (2004a), midiendo con infiltrómetro de disco sobre un suelo Haplustol típico, encontraron que en monocultivo de soja los valores de K_0 a -2 cm de presión se redujeron en un 45 % respecto al bosque nativo. Por otra parte, Miccuci et al. (2000), utilizando también infiltrómetro de disco sobre un suelo Hapludol típico franco-arenoso, determinaron disminuciones del 34 y 69 % del valor de K_0 a saturación en relación a la situación prístina cuando se trabajaba el suelo con siembra directa o labranza convencional. Cisneros et al. (1997), utilizando el método de doble anillo sobre un suelo Haplustol típico franco grueso, registraron valores de 312 mm h^{-1} en un monte natural de algarrobo y $7,4 \text{ mm h}^{-1}$ cuando se lo trabajó con agricultura continua en los últimos 80 años.

Es importante resaltar que la conductividad hidráulica comienza a diferenciarse más claramente entre los distintos tratamientos debido al arreglo estructural de los poros activos por debajo de tensiones de 3 a 4 cm de columna de agua (Figura 7). Esto remarca la importancia de estudiar y conocer el comportamiento y la dinámica del agua en los horizontes superficiales del suelo en condiciones de humedad próximas a saturación. En coincidencia con esto, Jarvis y Messing (1995), midiendo la conductividad hidráulica cercana a saturación con infiltrómetro de disco a tensión, en suelos de texturas contrastantes, sugirieron que el dominio del flujo de los macro y mesoporos puede ser funcionalmente definido por un punto de quiebre localizado entre los 2,5 y 6 cm de tensión.

Si se analiza el comportamiento de los agrosistemas (A, GA1 y GA2), es notable como el tratamiento GA2 posee menores valores de K_0 en el rango de tensión entre 0 y -3 cm, a pesar de ser el agrosistema con mayor contenido de carbono orgánico (Figura 4), mayor índice de agregación (Figura 5) y menor densidad aparente (Figura 6), propiedades que le deberían conferir una mejor calidad de suelo. Esto no se condice funcionalmente con lo que refleja la K_0 en el rango de tensión analizado. Esto puede explicarse por una notoria disposición laminar de la estructura en el tratamiento GA2, seguramente inducida por el pisoteo animal. En sistemas mixtos de producción, la degradación física del suelo, guarda relación con características de las labranzas y del pastoreo. La presión estática ejercida por un tractor puede variar entre entre 30 y 150 kPa (Soane, 1970) mientras

que un vacuno puede duplicar estos valores (Wind y Schothorst, 1964). En esta situación la K_0 del suelo se comportó como un indicador robusto de la real funcionalidad del perfil.

En la misma línea, Gil (2002) observó que existe una relación inversa entre la K_{sat} y la DA, pero el ajuste que presenta la misma es muy bajo, observándose que por ejemplo para densidades medias de 1,25 gr/cc se miden K_{sat} entre menos de 1 y más de 12 cm/h. Este comportamiento general, muy posiblemente sea debido a que el aumento de la DA trae aparejado una disminución en el volumen total de poros del suelo. Sin embargo, aquel autor, determinó que el comportamiento de la K_{sat} es muy variable, dado que el mismo no solo está regido por la porosidad total, sino que además está influenciado en gran medida por la distribución del tamaño, la continuidad y la estabilidad del sistema poroso. Por otra parte, está ampliamente demostrado el rol fundamental que cumplen los macroporos continuos en la K_{sat} . Resultados obtenidos en diversos trabajos demuestran la posibilidad de utilizar las mediciones de K_{sat} como un indicador confiable para el estudio del comportamiento funcional del sistema poroso, en especial de los poros de aireación y flujo rápido. Por lo tanto, este parámetro constituiría un mejor indicador que la mera determinación de la DA, complementándose con la misma. Esta afirmación se corrobora con ensayos en un Argiudol típico de la pampa ondulada en donde se midió el efecto del tránsito de maquinarias en lotes con siembra directa determinándose en una zona subsuperficial con huella, en la cual para una porosidad total (PT) de 0,47 cc/cc comparada con el 0,49 cc/cc de la subsuperficial sin huella, la K_{sat} pasó de 4,25 cm/h en sin huella a 0,41 cm/h en la huella (Gil, 2002). Esto demuestra como la K_{sat} resaltó estas diferencias en el comportamiento funcional del suelo, más que la observada a través de la PT. En otras palabras, mientras que la PT disminuyó un 4%, la K_{sat} mostró una variación del 90%. Por otra parte, en determinaciones del efecto de la bioporosidad del suelo sobre la Conductividad Hidráulica, también sobre un suelo Argiudol típico, se observó que para valores de DA prácticamente iguales (1,30 y 1,28 gr/cc), la K_{sat} aumenta significativamente en la situación con actividad biológica pasando de 4,7 a 15,5 cm/h, diferencias estas no detectadas a través del parámetro de DA.

Es importante destacar también, que de los tres agrosistemas el tratamiento A es el que posee los mayores valores de K_0 en el rango de 0 a -3 cm de tensión, sin embargo estos valores poseen notables diferencias. Por otra parte, el tratamiento A posee los menores valores de CO (Figura 4) y los valores más elevados de densidad aparente, lo que indica una tendencia importante a la compactación. Lattanzi et al. (2010) determinaron que los perfiles de resistencia mecánica muestran que en los 15 cm superiores, la siembra directa presenta mayor resistencia que los tratamientos de labranza reducida y convencional. Esto coincide con lo observado en este trabajo, respecto a DA.

CONCLUSIONES

- El uso de suelos Haplustoles produce una elevada reducción en el contenido de materia orgánica y una significativa densificación del horizonte superficial.
- A partir de la cuantificación de la K_0 en los diferentes sitios de ensayo se puede inferir que la misma es un indicador robusto de calidad del suelo, ya que permite identificar diferencias de funcionalidad entre situaciones de uso disímiles.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado con el apoyo económico de la SeCyT- UNCba.

BIBLIOGRAFÍA

- Andriulo, A. ; Cardone G.** (1998) “ *Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la Región Pampeana Húmeda*”. In: Panigatti J.L., Marelli H., Buschiazzo D. y Gil, R. (Eds.). Siembra directa. Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina, p. 65-96.
- Ankeny, M.D.; et al** (1991) “*Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity*”. Soil Sci. Soc. Am. J., 55(2):467-470.
- Aoki, A.M. ; Sereno R.** (2004a) “*Modificaciones de la conductividad hidráulica y porosidad del suelo, estimadas mediante infiltrómetro de disco a tensión*”. En: Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría. Roberto R. Filgueira/Federico G. Micucci (Editores). Editorial de la Universidad de La Plata. República Argentina. ISBN 950-34-0280-8. Año de edición: 2004. Pág. 159-180.
- Aoki, A.M. ; Sereno R.** (2004b) “*Comparación de dos metodologías de cálculo de propiedades hidráulicas de suelo, a partir de datos medidos con infiltrómetro de disco a tensión*”. En: Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría. Roberto R. Filgueira/Federico G. Micucci (Editores). Editorial de la Universidad de La Plata. República Argentina. ISBN 950-34-0280-8. Año de edición: 2004. Pág. 145-158.
- Blake, G.R. ; Hartage K.H** (1986) “*Bulk Density*”. In: Methods of soils analysis. Agronomy 9. Part I. Am. Soc. of Agronomy, Madison, WI, USA, p. 363-375.
- Bricchi, E.; et al.** (2000) “*Evaluación del efecto del sistema de producción sobre las propiedades químicas y físicas en suelos con escaso desarrollo*”. 11° International Soil Conservation Conference. Bs. As., .Arg. Pp. 22.
- Cantú, M.P. et al.** (2007) “*Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices*”. Ciencia del Suelo 25(2): 173-178.
- Cholaky, C. et al.** (2009) “*Persistencia del efecto de descompactadores en suelos con historia de siembra directa*”. Experiencia en haplustoles/udoles del sur de Córdoba. III Taller de física de suelo: "Alternativas de manejo para la descompactación superficial y subsuperficial en sistemas de siembra directa". 3 y 4 de Diciembre de 2009. Facultad de Agronomía y Veterinaria. UNRC.
- Cisneros, J. M. et al.** (1997) “*Efectos del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un Haplustol típico del centro de Córdoba*”. Rev., UNRC 17(1):13-22.
- Doran, J. ; Parkin T.** (1994) “*Defining and assessing soil quality*”. In: Doran, JW; DC Coleman; DF Bezdieck & BA Stewart (eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, p. 3-21.
- Douglas, J.T. et al.** (1986) “*Structure of a silty soil in relation to management*”. J. Soil Sci., 8:123-149.
- Gil, R.** (2002) “*El comportamiento físico-funcional de los suelos*”. Publicado en Internet, disponible en <http://www.agroestrategias.com/pdf/Suelos%20-%20El%20Comportamiento%20Fisico%20del%20Suelo.pdf>. Activo noviembre de 2010.
- Gorgas, J.A. ; Tassile, J.L.** (2003) “*Regiones Naturales de la Provincia de Córdoba*”. Serie C. Publicaciones Técnicas. Agencia Córdoba Ambiente. Pp. 97.
- Gree, G.W. ; Bauder, J.W.** (1994) “*Particle-size Analysis*”. En: Methods of soils analysis.. Part I. Am. Editorial committee: Weaver, R. W., chair...(et al.). Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA, pp. 425-441.
- Greenland, D. J.** (1981) “*Soil management and soil degradation*”. J. Soil Sci., 32:301-332.
- Jarvis, N. J. ; Messing, I.** (1995) “*Near-saturated hydraulic conductivity in soils of contrasting texture measured by tension infiltrometers*”. Soil Sci. Soc. Am. J. 59 (1) :27-34.
- Koppen, W.** 1931. “*Grundriss der Klimakunde*”. Walter de Gruyter Co. XII. Berlín. Pp. 388.
- Larson, W.E. ; Pierce F.J.** (1994) “*The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management*”. In: Doran, J.W.; DC Coleman; DF Bezdieck & BA Stewart (eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, p. 37-51.
- Lattanzi, A. et al.** (2010) “*La siembra directa presente y futuro*”. Publicado en Internet, disponible en http://www.inta.gov.ar/balcarce/noticias/inta_expone/AuditorioUbaldoGarcia/SiembraDirecta.pdf. Activo noviembre de 2010.
- Lin, H.S. et al.** (1996) “*Effective porosity and flow rate with infiltration at low tensions into a well-structured subsoil*”. Trans. ASAE , 39 (1):131-133.
- Michelena, R.O.** (1998) “*Degradación de tierras, conceptos de calidad y salud, metodología de evaluación de la degradación*”. En: Suelos II: Utilización de la información de suelos para el uso sustentable de las tierras. INTA Programa Nacional de suelos. Bs. As, pp. 33-42.
- Micucci, F. et al.** (2000) “*Cambios hidráulicos en suelos de pampa ondulada luego de varios años de siembra directa continua*”. 11° International Soil Conservation Conference. Bs. As., Argentina. Pp. 195.
- Nelson, D.W. ; Sommers L.E.** (1996) “*Total carbon, organic carbon, and organic matter*”. In: Sparks D.L. (Ed.). Methods of Soil Analysis: Part 3 – Chemical Methods. ASA, SSSA, CSSA, Madison WI, p. 961-1010.
- Pecorari, C. et al.** (1990) “*Fitolitos en los suelos pampeanos: influencia sobre las propiedades físicas determinantes de la evolución de la estructura*”. Ciencia del Suelo, 8(2):135-141.
- Perroux, K.M. ; White I.** (1988) “*Designs for disc permeameters*”. Soil Sci. Soc. Am. J., 52 (5): 1205-1215.
- Pierce, F.J. ; Larson, W.E.** (1993) “*Developing criteria to evaluate sustainable land management*”. p. 7-14. In: J. M. Kimble (ed.), Proceedings of the Eighth International Soil Management Workshop: Utilization of Soil survey

Information for Sustainable Land Use, May 3, 1993. USDA Soil Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

- Quiroga, A. ; Funaro, D.** (2003) [Online]. "*Indicadores de calidad de suelos*". Homepage: <http://www.aacrea.org.ar/soft/nro275.htm#notatapa>.
- Soane, B.D.** (1970) "*The effect of traffic and implements on soil compactation*". J. Proc. Inst. Agric. Eng. 25: 115- 126.
- Taboada Castro, M.M. et al.** (1998) "*Evolución temporal de la infiltración superficial a escala de parcela*". En: Avances sobre el estudio de la erosión hídrica. Paz González A. y Taboada Castro M. T., (ed.). La Coruña, España, pp. 101-127.
- Urdapilleta, P.V. et al.** (1995) "*El deterioro de las tierras en la República Argentina*". Alerta Amarillo. Secretaría de agricultura, ganadería y pesca y el Consejo Federal Agropecuario, Bs. As., Argentina, pp. 283.
- Watson, K.W. ; Luxmoore, R.J.** (1986) "*Estimating macroporosity in a forest watershed by use of a tension infiltrometer*". Soil Sci. Soc. Am. J., 50(3):578-582.
- Wind, G.P ; Schothorst, C.J.** (1964) "*The influence of soil properties on suitability for grazing on soil properties*". Trans. 8th Int. Cong. of Soil Sci. Bucarest. 571- 580 pp.
- Wu, L. et al.** (1990) "*Pore Size, Particle Size, Aggregate Size, and Water Retention*". Soil Sci. Soc. Am. J. 54 (4): 952-956.