



LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA DEL SUELO EN FORESTACIONES, AGRICULTURA Y GANADERÍA

Pablo Daniel DE FALCO * y Eduardo Augusto PENON *

RESUMEN

En las forestaciones o bosques nativos pueden observarse efectos negativos sobre las propiedades del suelo debido al pastoreo, cosecha o efectos positivos mediados por el aporte de hojarasca y de las raíces finas, contribuyendo ambos a mejorar y estabilizar la estructura. La evaluación y seguimiento de los parámetros físicos del suelo más comunes incluyen la densidad aparente y resistencia mecánica. Las mediciones de conductividad hidráulica saturada (KFs) a través de secciones del perfil brindan información sobre la capacidad que posee el sistema poroso del suelo de permitir el movimiento de fluidos. Con la KFs se evalúa la continuidad y la magnitud del espacio poroso y su estabilidad, puesta a prueba al forzar el pasaje de agua a través del suelo. Los objetivos del trabajo fueron: determinar valores de KFs del suelo, evaluar la sensibilidad del método para discriminar entre los usos forestales y el resto. Se determinó la KFs del suelo en establecimientos de la zona noreste de la Provincia de Buenos Aires, ubicados en los partidos de Luján, Navarro y General Rodríguez sobre suelos Argiudoles, con los usos: *Robinia pseudoacacia* de 15 años y pastoreado, *Eucalyptus maidennii* de 11 años con pastoreo, lotes naturalizados de pastos, pasturas en pastoreo continuo, rotación ganadero-agrícola, agricultura en siembra directa y *R. pseudoacacia* de 80 años. Se delimitaron al azar las áreas de medición con al menos 3 repeticiones por lote, se midió la KFs saturada del horizonte ubicado entre los 10 y 20 cm de profundidad. Las mediciones fueron *in situ*, empleando un permeámetro tipo Guelph y utilizando la ecuación de Elrick (1989). Los datos obtenidos se analizaron mediante ANVA y test de Duncan con el programa Infostat. La medición de la KFs se realizó hasta el momento en que en un mismo punto se registraron tres mediciones de tasa, consecutivas e iguales. Este tiempo varió según el uso actual y se estimó un tiempo promedio de 11 a 15 minutos hasta lograr la estabilización de lectura. Acacia blanca de 15 años y pastoreado tuvo el menor valor de KFs ($0,41 \text{ mm. h}^{-1}$) debido posiblemente al intenso pastoreo a que fue sometido en el último año en condiciones de alta humedad del suelo. *E. maidennii* de 11 años con pastoreo ocasional, lotes de pastoreo continuo, lotes en rotación ganadero agrícola y agricultura en siembra directa, formaron un grupo de valores intermedios sin diferencias entre sí con valores de KFs de ($1,6$ a $3,84 \text{ mm. h}^{-1}$), los lotes naturalizados de pastos con valores medios de $4,73 \text{ mm. h}^{-1}$, se diferenciaron de los anteriores posiblemente debido a que poseen una historia de al menos 20 años de clausura, la vegetación es de pastos muy densa y presentan altos valores de materia orgánica del suelo. La *R. pseudoacacia* de 80 años tuvo los valores más altos de KFs (valor medio de KFs de $37,52 \text{ mm. h}^{-1}$) y se diferenció significativamente de todos los tratamientos anteriores debido posiblemente al gran aporte de residuos de los árboles, de los pastos que producen abundante biomasa en otoño invierno y primavera (con dominio de *Bromus sp.*). En general los tratamientos más contrastantes en cuanto al intensidad de uso a la que fue sometido el suelo, (labranzas, cosecha, pastoreo) se diferenciaron cuando se utilizó el valor de conductividad hidráulica saturada como parámetro de comparación, avalando la sensibilidad del método propuesto. Se puso también de manifiesto la clara diferenciación del tratamiento *R. pseudoacacia* de 80 años, donde se observaron en muy buenas condiciones las propiedades físicas del suelo.

Palabras clave: forestaciones, conductividad hidráulica saturada, suelos, indicador físico.

* Dasonomía - Departamento de Tecnología - Universidad Nacional de Luján

Email: pablodefalco@hotmail.com



1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un subsistema fundamental del ecosistema forestal, con propias características físicas, químicas y biológicas (decisivas en su fertilidad; Fassbender, 1966).

La capa del suelo mas superficial suele sufrir grandes alteraciones físicas por el tránsito de animales y vehículos. Esto conlleva un alto costo de mejora física de la estructura. Generalmente la capa superficial se labra con rastras de discos cuando se marcan huellas profundas en operaciones de cosecha o el ganado produce daño por pisoteo, pero romper una compactación profunda requiere uso de herramientas de labranza vertical, de alto costo operativo y limitada aplicabilidad en lotes forestales.

En las forestaciones o bosques nativos pueden observarse efectos negativos sobre las propiedades del suelo debido a la cosecha, pastoreo o efectos positivos mediados por el aporte de hojarasca y de las raíces finas, ambas contribuyentes al proceso de mejora y estabilización de la estructura. En las actividades forestales, la condición estructural del suelo es de vital importancia, ya que de ella dependen en gran medida la producción (Gaitán et al 2003, Gaitán y Penon 2005).

Para definir sistemas de producción sustentables es necesario contar con indicadores para interpretar los diferentes datos de calidad de suelo (Dalurzo et al. 2001; Michelena et al. 1989) y mejorar la calidad de diagnóstico del funcionamiento físico del suelo con la finalidad de elaborar mejores estrategias de manejo (Gil, 2001).

La evaluación y seguimiento de los parámetros físicos del suelo más comunes incluyen las determinaciones de densidad aparente y resistencia mecánica.

Como consecuencia de la compactación se afectan otras propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos: pierden parte de su capacidad de captar y movilizar agua (reducción de la conductividad hidráulica) y aire, lo que genera problemas en el crecimiento de las plantas. Además de las restricciones que se presentan a las raíces y raicillas para explorar todo el perfil, sus efectos son observados en muchas formas: desarrollo heterogéneo del cultivo posterior, reducción en los rendimientos, incremento de la erosión, pérdidas de nutrientes por gasificación y otros (Rab 1999; Mac Donagh 2001; Hadas 1994; Lipiec y Stepniewski 1995; Duiker 2004; Greacen y Sands 1980).

La fracción de la porosidad total que contribuye al flujo de agua influye en la profundidad a la que el agua penetra después de la infiltración.

Es un factor clave en el balance hídrico del sistema suelo planta, ya que regulan el ingreso, el escurrimiento y el almacenamiento de agua en el perfil.

Las propiedades hidráulicas en general tienen un peso elevado como indicadores físicos dinámicos de calidad según la mayoría de las aproximaciones y modelos (Doran y Parkin, 1994; Cisneros et al., 1997).

Dentro de las propiedades hidráulicas del suelo interesa conocer muy particularmente la "conductividad hidráulica saturada" (K_{fs}) para condiciones de campo.

La conductividad hidráulica proporciona información que permite caracterizar con seguridad el estado actual de la calidad del suelo en términos de estructura y de facilidad de movimiento del agua, siendo la misma un parámetro indicador del efecto de la calidad del suelo (Díaz et al. 2004)

La conductividad hidráulica saturada es un parámetro físico del suelo que interviene en todos aquellos procesos relacionados con el movimiento de agua y solutos a través del mismo. El suelo se favorecería con el aumento del flujo del agua y de solutos (Blackwell et al., 1990; Ghodrati and Jury, 1992. Citados por Dalurzo y otros, 2001), por ello, constituye uno de los descriptores fundamentales de la naturaleza de un suelo, utilizándose a menudo para estimar otros parámetros más complejos de determinar como la difusión de gases (O_2 , CO_2).

Las mediciones de conductividad hidráulica saturada (K_{fs}) a través de secciones del perfil brindan información sobre la capacidad que posee el sistema poroso del suelo de permitir el movimiento de fluidos, aportando información sobre la dinámica del proceso. Con la K_{fs} se evalúa la continuidad y la magnitud del espacio poroso y su estabilidad, puesta a prueba al forzar el pasaje de agua a través del suelo. La conductividad hidráulica saturada (K_{fs}), constituye el parámetro físico del



suelo más determinante a la hora de cuantificar las diferentes componentes del balance global de agua (Hillel, 1998).

Los valores de K_{fs} no son constantes para un mismo suelo, sino que varían con el lugar y el tiempo, debido a alguna de las siguientes razones: interacciones entre el medio poroso y el líquido (expansión de las arcillas, deterioro debido al riego con aguas salinas, etc.), cierre de los poros por aire atrapado, heterogeneidad del medio poroso, anisotropía y modificaciones antrópicas.

En el presente trabajo, se propone utilizar el permeámetro de Guelph porque entre sus características principales, se encuentra que permite efectuar determinaciones in situ en condiciones de campo en la zona no saturada del suelo, en un tiempo relativamente corto obteniendo valores representativos y usa volúmenes de agua relativamente pequeños, además se elimina el disturbio estructural provocado por cilindros, como así también la posible modificación de la estructura superficial por el impacto de la gota de lluvia (Smettem y Clothier, 1989)

Los objetivos del trabajo fueron: determinar valores de KFs del suelo, evaluar la sensibilidad del método para discriminar entre los usos forestales y el resto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron establecimientos con lotes forestales y agrícolas de la zona noreste de la Provincia de Buenos Aires, ubicados en los partidos de Luján, Navarro y General Rodríguez. Sobre suelos Argiudoles típicos de secuencia A-Bt-BC-C con un horizonte A de 29 a 39 cm de espesor. Los tratamientos fueron: *R. pseudoacacia* de 15 años con pastoreo, *E. maidennii* de 11 años con pastoreo, lotes naturalizados de pastos, pasturas en pastoreo continuo, rotación ganadero-agrícola, agricultura en siembra directa y *R. pseudoacacia* de 80 años. Se delimitaron al azar las áreas de medición y se midió la KFs del horizonte ubicado entre los 10 y 23 cm de profundidad,

La KFs del suelo, in situ, se midió con un permeámetro "Guelph" utilizando la ecuación realizada por Elrick et al 1989 citado por Díaz 2004.

$$K_{fs} = \frac{CQ}{\left(2\pi H^2 + \pi a^2 C + 2\pi H/\alpha\right)}$$

ec. 1

Donde:

Kf s: es la conductividad hidráulica saturada a campo.

C: es un factor de la forma del bulbo de mojado adimensional.

Q es el caudal de agua medido.

H: es la carga hidráulica colocada dentro del orificio.

α : parámetro que relaciona la textura y la estructura del suelo, para este trabajo 12 m^{-1}

a: es el radio del orificio hecho en el suelo, donde se mide.

Reynolds et al. (1983) presentaron el permeámetro de Guelph (Foto 1) como una modificación del permeámetro presentado por Talsma y Hallam (1980)

El método del permeámetro de Guelph implica perforar un pequeño hoyo, vertical, cilíndrico, de radio a (en mm) se mantiene una carga hidráulica H constante y se determina el caudal Qs de agua (en mm³/h) que ingresa al suelo.



Foto1: Permeámetro de Guelph

Cuando se utiliza el método de una sola carga, se emplea la ecuación simplificada anteriormente citada, donde C es un factor sin dimensiones que depende del cociente H/a y de alfa (α) en mm^{-1} que es un parámetro del suelo relacionado con su textura y estructura

Los datos obtenidos se transformaron a la forma logarítmica, para cumplir con la exigencia de homogeneidad de varianza, se analizaron estadísticamente para cada tratamiento, mediante ANOVA y test LSD con el programa estadístico Infostat.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tiempo de medición

La medición de la conductividad hidráulica debe realizarse hasta el momento en que en un mismo punto se registren tres mediciones de caudal consecutivas iguales. En el presente trabajo se determinó un tiempo de operación promedio de 15 minutos, hasta lograr esas condiciones preestablecidas.

Si se tiene en cuenta el tiempo que insume la medición en cada punto, multiplicado por la cantidad de puntos a medir por lote y por la cantidad de lotes analizados en cada campo, y se le suma el tiempo que se demora en armar el equipo y el tiempo perdido en el transporte del mismo a cada punto y a cada lote, se puede inferir en que para la utilización habitual del permeámetro en una cantidad de lotes y de puntos por lotes similar al realizado en el presente trabajo, debe contarse con un tiempo aproximado correspondiente a una jornada de trabajo (es decir 8 horas) por cada campo que se quiera analizar.

R. pseudoacacia de 15 años (lote pastoreado frecuentemente) tuvo el menor valor de KFs ($0,41 \text{ mm. h}^{-1}$) y se diferenció significativamente del resto de los tratamientos según este parámetro, Cuadro 1 y Gráfico 1, debido posiblemente al intenso pisoteo en condiciones de alta humedad del suelo a que fue sometido en el último año.

Los tratamientos: *E. maidennii* de 11 años con pastoreo ocasional, los lotes de pastoreo continuo, lotes en rotación ganadero agrícola y agricultura en siembra directa, formaron un grupo de valores intermedios sin diferencias entre sí con valores de KFs de ($1,6$ a $3,84 \text{ mm. h}^{-1}$), los lotes naturalizados de pastos con valores medios de $4,73 \text{ mm. h}^{-1}$, se diferenciaron de los anteriores posiblemente debido a que poseen una historia de al menos 20 años de clausura, la vegetación es de pastos muy densa y presentan altos valores de materia orgánica del suelo y ello produce una notoria estabilización de la estructura del suelo, mejora la cantidad y continuidad de poros del suelo. La *R. pseudoacacia* de 80 años tuvo los valores más altos de KFs (valor medio de KFs de $37,52 \text{ mm. h}^{-1}$) y se diferenció significativamente de todos los tratamientos anteriores, debido posiblemente al gran aporte de residuos y raíces ricas en Nitrógeno que aportan los árboles fijadores de Nitrógeno (AFN). Los AFN superan a las plantas no fijadoras en ganancia relativa de carbono, Gregorich *et al* (2001), Binkley *et al* (2004) y producen una notoria estabilización de la estructura del suelo (Hernandez, 2010). Esta acción se refuerza con la cobertura de pastos que se observó (con predominio de *Bromus sp.* en este caso) que producen abundante biomasa en otoño invierno y primavera.

Cuadro 1. Analisis de varianza de la variable KFs (transformada (log))



Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	valor p
Modelo	4,03	6	0,67	6,09	0,0002
tratamiento	4,03	6	0,67	6,09	0,0002
Error	3,53	32	0,11		
Total	7,56	38			

Cuadro 1 (continuación) Test: LSD Fisher

Tratamiento	Medias			
R. pseudoacacia 15 años	-0,39	A		
E maidenii 11 Años	0,19		B	
pastoreo	0,28		B	C
rotacion GA	0,35		B	C
Agricultura SD	0,39		B	C
Pastizal Naturalizado	0,60		C	
R. pseudoacacia 80 años	1,27			D

Alfa:=0,05 DMS:=0,43495 Error: 0,1103 gl: 32 Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

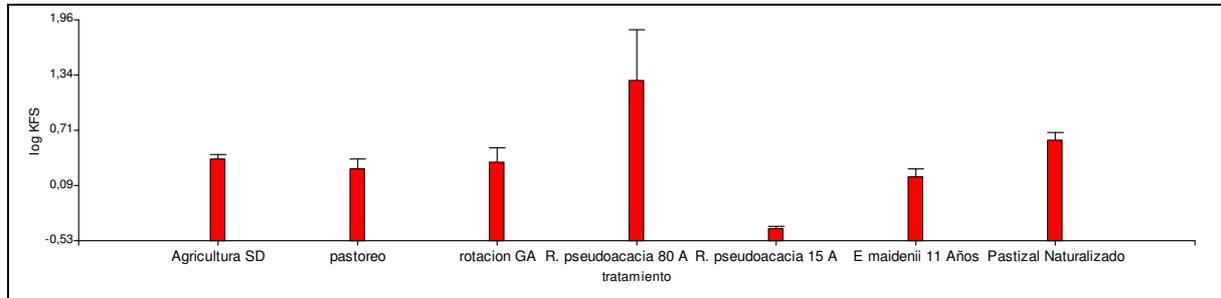


Gráfico 1. KFs (logaritmos) de los tratamientos

4. CONCLUSIONES

Los tratamientos más contrastantes, en cuanto a intensidad de uso a la que fue sometido el suelo, (labranzas, cosecha, pastoreo) se diferenciaron cuando se utilizó el valor de conductividad hidráulica saturada como parámetro de comparación, avalando la sensibilidad del método propuesto. Se puso también de manifiesto la clara diferenciación del tratamiento *R. pseudoacacia* de 80 años, donde se observaron muy buenas condiciones físicas del suelo.

5. LITERATURA CITADA

Binkley, D.; J. Kaye.; M. Barry; M. Ryan. 2004. First rotation changes in soil carbon and nitrogen in *Eucalyptus* plantation in Hawaii. Soil Sci. Sci. Am. J. 68:1713-1719.

Cisneros, J.M.; Cholaky,C.; Bricchi, E.; Giayetto, O.; Cantero, JJ. 1997. Efectos del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un haplustol típico del centro de Córdoba. Rev UNRC 17 (1): 13 – 22

Dalurzo, H., Vázquez, S. y Ratto, S. 2001. Indicadores físicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina). Jornadas Científicas y Tecnológicas de la Universidad Nacional del Nordeste.

Díaz, E., Duarte, O., Cerana, J. y Fontanini, P. Medición de la Conductividad Hidráulica Saturada en



- suelos Vertisoles y Entisoles de Argentina Mediante el Permeámetro de Guelph, en Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría. Filgueira, R. y Micucci, F. editores. 2004. EDULP
- Doran, J.W., Parkin, T. 1994. Defining and assessing soil quality. Soil Science Society of América 677:3– 21
- Duiker, Sjoerd. 2004. Avoiding Soil Compaction. CAT UC186 3.5M1/04ps4641. College of Agricultural Sciences. Agricultural Research and Cooperative Extensión. The Pennsylvania State University 2004
- Fassbender, H.W. 1996. Modelaje de la Fertilidad del Suelo y de la Productividad de Sistemas de Producción Agropecuarios en América Latina. Conferencia Comisión 4 y 8: Fertilidad de suelos y Nutrición Mineral de Plantas. Fertilizantes y Correctivos. XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Aguas de Lindoia, Saõ Paulo, Brasil. CD support.
- Gaitán, J. J., E. A. Penon y M C Costa. 2005. Distribución de raíces finas de *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenni* y su relación con algunas propiedades del suelo. *Ciència Florestal*, Santa María, v. 15. Número 1 e 2 2005. p. 33-41. ISSN 0103-9954.
- Gaitán, J. J. y E. A. Penon . 2003 Efecto de la resistencia mecánica del suelo sobre la densidad de raíces finas de *Eucalyptus globulus* Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales (2003) 12 (2), 125-130.
- Gil, R. 2001. Comportamiento Físico – Funcional de los suelos. Proyecto Nacional Agricultura de Precisión. Información completa de divulgación científica
- Greacen E. and Sands R. 1980. Compaction of forest soils. A review. *Australian Journal of Soil Research*, Vol. 18 No. 2 Pages 163 - 189, Published 1 June 1980
- Gregorich, E. G.; C.F. Drury; J. A. Baldoc. 2001. Changes in soil carbon under long-term maize in monoculture and legume-based rotation. *Can. J. Soil Sci.* 81:21-31.
- Hadas, A. 1994. Soil compaction caused by high axle loads – review of concepts and experimental data.
- Hernandez, J. P. 2010. Efecto de la cobertura arbórea sobre algunas variables físicas de un suelo Vertisol del Espinal Entrerriano. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. AACs. Rosario Argentina.
- Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press. San Diego.
- Lipiec, J. y W. Stepniewski. 1995. Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrientes. *Soil & tillage Research*, 35 (1995) 37-52. Elsevier Science B.V.
- Mac Donagh, P. 2001. La compactación de suelos inducida por el tránsito de la maquinaria forestal. *SAGPyA Forestal* 19 (junio 2001) 2-5.
- Michelena, R.; Iruña, C.; Vavruska, F.; Mon, R. y Pittaluga, A. 1989. Degradación de suelos del norte de la región Pampeana. Publicación técnica 6. INTA
- Rab, M. A. 1999. Measures and operating standards for assessing Montreal process soil sustainability indicators with reference to Victorian Central Highlands forest, southeastern Australia. *Forest Ecology and Management* 117 (1999) 53-73.
- Smettem, K.R.J., and B.E. Clothier. 1989. Measuring unsaturated sorptivity and hydraulic conductivity using multiple disc permeameters. *J. Soil Sci.* 40:563-568