

## La superficie específica de oxisoles y su relación con la retención hídrica

### Specific surface of oxisols and its relationship with water retention

Hugo Alberto Ruiz<sup>1</sup>, Guillermo Oliverio Sarli<sup>2</sup>, Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer<sup>1</sup>, Roberto Raul Filgueira<sup>2</sup>, Fabiana Silva de Souza<sup>3</sup>

Originales: *Recepción:* 11/03/2015 - *Aceptación:* 10/03/2016

#### RESUMEN

Se estimó la superficie específica (SE) de muestras de suelos mediante el método de adsorción de nitrógeno a 78 K, y se la relacionó con la capacidad de retención hídrica (RH), el contenido de arcilla, la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CIC), y la cantidad de agua retenida sobre la superficie expuesta del suelo, en una aproximación de capas superpuestas. Se trabajó con veintisiete Oxisoles a potenciales hídricos equivalentes de -33, -500, -1000 y -1500 kPa. Se encontró una correlación positiva significativa entre la SE y RH, así como con el contenido de arcilla. No hubo una relación significativa de la dependencia entre la SE y la CIC. Entre la SE y el contenido de materia orgánica la correlación fue débil. La SE se relacionó con la RH por medio de ecuaciones de regresión lineal para cada potencial aplicado. Los resultados mostraron que la SE de estos Oxisoles puede ser estimada adecuadamente por la retención de agua en el suelo en una amplia gama de potenciales matriciales. Finalmente, de la información de SE y RH para cada suelo se pudo estimar la cantidad de capas de agua que cubren toda la superficie de los poros expuesta al aire.

#### Palabras clave

adsorción de nitrógeno • potencial agua • BET-N<sub>2</sub> • espesor de capas de agua

- 
- 1 Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa - UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. Brasil.
  - 2 Profesor de Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidade Nacional de La Plata, 1900 La Plata, Argentina. gsarli@agro.unlp.edu.ar; fisica@agro.unlp.edu.ar.
  - 3 Estudiante de doctorado en Suelos y Nutrición Vegetal de la Universidad Federal de Viçosa - UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. Brasil.

## ABSTRACT

The specific surface area of soil samples was estimated by the method of nitrogen adsorption at 78 K, and it was related to the water retention capacity, clay content, cation exchange capacity, and the amount of water retained on the exposed soil surface, in an approximation of superimposed layers. Twenty seven Oxisols were investigated. Soil moisture retention was studied at water potentials -33, -500, -1000 and -1500 kPa. The specific surface area was positively correlated to soil moisture and with clay content. No relationship was found between specific surface area and cation exchange capacity. Between specific surface area and soil organic content only a weak correlation was found. The specific surface area was related with soil moisture content by linear equations obtained by the regression method of data, for each water potential applied. The results showed that the specific surface area of these Oxisols can be reasonable estimated by water retention in a wide range of matrix potentials. Finally, from the obtained data on specific surface area and water retention it was possible to estimate the thickness of the water film covering the entire surface of the soil pores exposed to the air.

### Keywords

nitrogen adsorption • water potential • BET-N<sub>2</sub> • water layer thickness

## INTRODUCCIÓN

La superficie específica (SE) es una propiedad de los sólidos que se define como la relación entre el área superficial expuesta y la masa del sólido (m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>). La SE del suelo varía notablemente con la distribución del tamaño de las partículas inorgánicas, la composición mineralógica y, en menor medida, con el contenido de los componentes orgánicos. Su estimación es importante porque influye significativamente en las propiedades físico-químicas del suelo (10, 32).

Muchos procesos físicos y químicos se realizan con intervención de la superficie de sus constituyentes (14). En este sentido, se pueden mencionar los fenómenos de retención de agua en el suelo, la adsorción de compuestos orgánicos (1, 3, 23), y el intercambio iónico (7, 29).

La estimación de la SE depende en gran medida del método de medición utilizado.

Entre los métodos disponibles para la medición de la SE se encuentran los que usan la sorción de moléculas orgánicas polares, tales como Etilenglicol (EG), Eter monoetilico del etilenglicol (EGME) y Glicerol para la formación de una monocapa sobre la superficie adsorbente (3).

El líquido más comúnmente utilizado es el EGME (15, 34). También se emplean procedimientos basados en la adsorción física de átomos y moléculas no polares en estado gaseoso (por ejemplo Ar, Kr, N<sub>2</sub>). Hasta el presente, el método aceptado internacionalmente como más confiable para la determinación de la superficie específica de un sólido, se basa en la interpretación de las isotermas de adsorción de N<sub>2</sub> a bajas temperaturas (78 K) mediante el modelo de Brunauer, Emmett y Teller (BET) (1938) (3, 17, 19, 22, 26). Este método, se considera adecuado para la determinación de la superficie específica

de materiales no expansivos, como ciertas arcillas y suelos, entre otras sustancias, aunque tiene el inconveniente de requerir el uso de equipos sofisticados y costosos, y demandar considerable tiempo para las determinaciones.

El estudio del estado energético del agua del suelo es muy importante desde el punto de vista físico y agronómico (20, 25). Una parte del agua que llega al suelo, debido a la irrigación o a la lluvia, se infiltra, movida por la acción gravitatoria y por capilaridad, a través del sistema poroso del mismo. Parte de este agua se moverá hacia las capas más profundas y otra quedará retenida en la matriz porosa del suelo, en capilares de diferentes formas y tamaños. En la medida que el agua se vaya perdiendo, ya sea porque las raíces de las plantas la toman, o porque en la superficie se produce la evaporación, los capilares se van vaciando de acuerdo con su tamaño. Los gases atmosféricos ocupan estos vacíos, quedando capas de agua de diversos espesores adheridas al material sólido. El agua así retenida en la matriz del suelo tiene un estado energético menor que el agua libre.

Para el caso de los suelos, la relación entre el contenido de humedad del mismo y la fuerza con que esta es retenida se describe habitualmente mediante la curva de retención de humedad o de retención hídrica (RH,  $\text{kg kg}^{-1}$ ). La obtención de esta relación es habitual en muchos laboratorios de estudio de suelos utilizando un recipiente cerrado, que posee una placa porosa, sometido a distintas presiones para desalojar el agua de los capilares (24). También pueden utilizarse, para ciertos potenciales, una centrífuga o la llamada mesa de tensión (18).

Las presiones con que se desaloja el agua de los poros de las muestras

varían entre experimentos. A medida que el contenido de humedad del suelo disminuye, se requiere más energía para extraer el agua retenida.

La RH de agua del suelo en suelos con un predominio de los minerales de arcilla no expansibles, de baja capacidad de intercambio catiónico, y pH dependiente, podría ser utilizada para estimar la SE del suelo de forma rápida y precisa.

### **Hipótesis**

Hay una relación entre la adsorción de nitrógeno gaseoso y la RH a bajos potenciales en suelos. Este conocimiento permitiría extraer conclusiones respecto del espesor de las capas de agua que cubren el material sólido.

### **Objetivo**

Utilizar la adsorción de  $\text{N}_2$  para obtener la SE de numerosos suelos y relacionarla con la retención hídrica en los mismos. A partir de los datos experimentales, obtener ecuaciones sencillas con las que se pueda calcular la SE y también estimar el número de capas de agua remanente sobre el material sólido.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Las determinaciones de SE y de RH se realizó en muestras de suelo secas al aire de 27 Oxisoles, seleccionados debido a la amplia variación de contenido de arcilla (tabla 1, pág. 98).

Las muestras obtenidas fueron superficiales, del horizonte A, de una profundidad hasta 20 cm, de suelos del Estado de Minas Gerais, Brasil. Las mismas fueron suministradas por agricultores de ese Estado, para su análisis en el laboratorio de la Universidade Federal de Vicosa.

**Tabla 1.** Media, desviación estándar, valores extremos y coeficiente de variación (CV) de superficie específica, fracciones granulométricas, materia orgánica del suelo, capacidad de intercambio catiónico efectiva, y retención de agua para los 27 suelos estudiados y coeficiente de correlación lineal simple (R) entre la superficie específica y las otras propiedades.

**Table 1.** Mean, standard deviation, extreme values and coefficient of variation (CV) of specific surface, particle size fractions, soil organic matter, effective cation exchange capacity, and water retention for the 27 soils studied and simple linear correlation coefficient (R) between the specific surface and other properties.

Variable	Media	Desv. Est.	Máximo	Mínimo	CV (%)	R
Superficie específica (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	25,310	15,780	59,520	8,430	62,4	
Limo (kg kg <sup>-1</sup> )	0,103	0,076	0,300	0,010	72,2	0,685**
Arcilla (kg kg <sup>-1</sup> )	0,432	0,205	0,840	0,170	47,6	0,914**
Materia orgánica (g kg <sup>-1</sup> )	18,500	14,600	55,300	0,000	79,1	0,408 *
CIC efectiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,380	1,090	4,330	0,030	79,3	-0,087
Retención de agua (kg kg <sup>-1</sup> )						
-33 kPa	0,190	0,087	0,345	0,079	46,0	0,964**
-500 kPa	0,145	0,074	0,276	0,054	51,5	0,962**
-1000 kPa	0,134	0,071	0,257	0,051	53,2	0,951**
-1500 kPa	0,123	0,069	0,257	0,041	55,9	0,955**

\* y \*\*: significancia al 5 y 1%, respectivamente, por test t.

\* y \*\*: significance at 5 and 1%, respectively, by t-test.

Las medidas de SE se realizaron en el Laboratorio de Física Aplicada de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina, por el método BET-N<sub>2</sub>, en un instrumento construido y calibrado conforme a lo especificado en Sarli *et al.* (1993).

Muestras de suelos de aproximadamente 1,25 g por triplicado, se introdujeron en portamuestras de vidrio y fueron sometidas a vacío por 12 h a 313 K, para eliminar gases atmosféricos y agua adsorbidos. Luego fueron mantenidos bajo vacío a temperatura ambiente.

Posteriormente, los portamuestras fueron conectados al instrumento y variadas cantidades de N<sub>2</sub> gaseoso (pureza 99,99%) fueron adsorbidas sobre las muestras mantenidas a 78 K en un baño de N<sub>2</sub> líquido. Con los volúmenes de gas administrados y las presiones

de equilibrio obtenidas en cada caso se construyeron las isotermas de adsorción, las cuales fueron interpretadas con el modelo BET para el cálculo de la SE. Más detalles se pueden encontrar en Brunauer *at al.* (1938) y Sarli *et al.* (1993).

Las medidas de RH y la caracterización de los suelos se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos de la Universidad Federal de Viçosa. La RH de agua de los suelos se determinó utilizando dos instrumentos: una centrífuga (para el potencial hídrico -33 kPa) y un equipo de presión con placa porosa para los demás potenciales, utilizando tres repeticiones.

Las muestras se colocaron en cajas específicas con papel de filtro. A continuación, las muestras se saturaron durante 24 h. Estas se colocaron luego en una centrífuga con 2440 rpm durante 30 min.

Por último, se determinó el contenido de agua de las muestras, que se consideraron al valor de potencial hídrico de -33 kPa (28).

Otras muestras de suelos fueron colocadas en anillos de goma sobre una placa de cerámica porosa, la cual fue saturada por 24 h con agua.

Luego, la placa se colocó en un recipiente que se sometió a presiones, manteniendo las mismas durante 72 h.

Las presiones utilizadas resultaron equivalentes a potenciales de extracción de agua de -500, -1000 y -1500 kPa. Después de estas extracciones, se determinaron los contenidos de agua de equilibrio para cada potencial aplicado (11).

El tema de la obtención de la función de retención hídrica de suelo ha sido motivo de interés en los últimos años en búsqueda de una mayor precisión en las determinaciones (6, 31).

El análisis del tamaño de partícula se realizó por el método de la pipeta, utilizando como agente de dispersión de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> y la agitación mecánica lenta (27).

El carbono orgánico del suelo se determinó por el método de Walkley-Black modificado con la oxidación de la materia orgánica del suelo húmedo (8).

La materia orgánica del suelo se estimó multiplicando el contenido de carbono orgánico por el factor de conversión (1,724). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) efectiva se calculó a partir de la suma de Ca, Mg, K y Al intercambiables. Las fracciones de Ca, Mg y Al se extrajeron con KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (35) y se midieron por espectrofotometría de absorción atómica. El contenido de K intercambiable se dosificó por fotometría de llama después de la extracción con la metodología Mehlich-1 (9).

Teniendo en cuenta el comportamiento observado entre la SE y la RH del suelo (figura 1, pág. 100) se consideró

de utilidad relacionar ambas propiedades de manera más general. Esto se hizo mediante el proceso de regresión que involucra los parámetros ordenada al origen y pendiente de cada recta, con la tensión de trabajo ( $T = -\Psi$ ) para desalojar el agua de los poros. Por lo tanto se obtienen dos ecuaciones, una para calcular la ordenada al origen (I) y otra para calcular la pendiente (D), que pueden ser utilizadas para estimar SE en función de RH a cualquier tensión de trabajo (T), dentro del rango estudiado:

$$SE = D \cdot RH + I \quad (1)$$

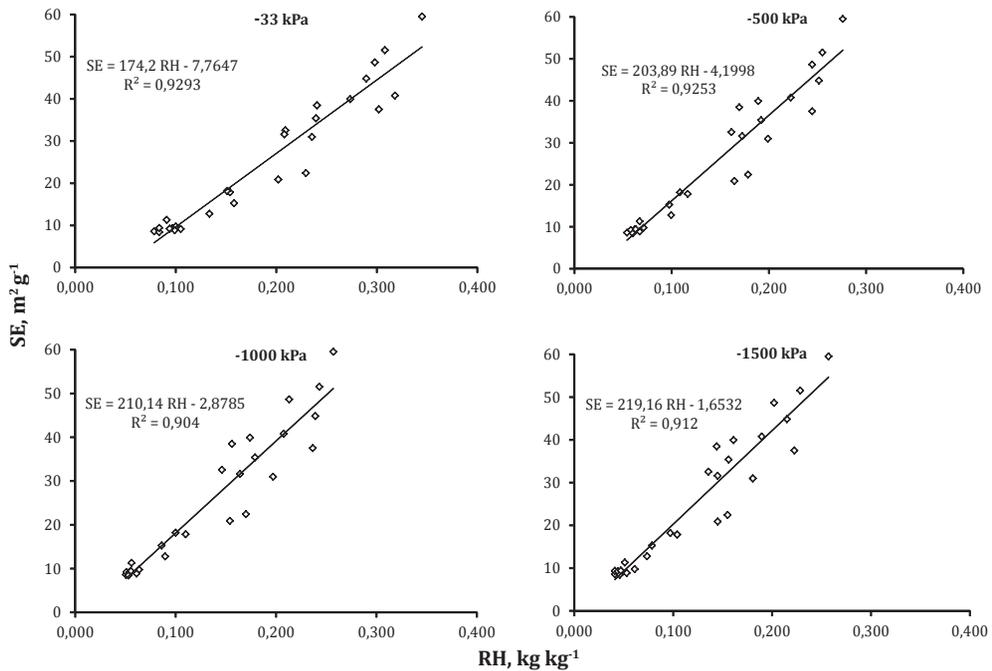
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de SE, RH y algunas características de los suelos investigados se muestran en la tabla 1 (pág. 98). Se encontró una correlación significativa positiva entre SE, RH y contenido de arcilla. Esta estrecha correlación se puede explicar debido a que la adsorción de nitrógeno y la retención de agua son fenómenos físicos relacionados con la superficie del sólido y el contenido de arcilla, aunque en el caso de la retención de agua el fenómeno de la capilaridad debe ser considerado.

Grohmann (1972) encontró una correlación positiva entre el contenido de arcilla y la superficie específica de varios Oxisoles.

Petersen *et al.* (1996) encontraron correlaciones significativas y positivas entre la superficie específica, contenido de arcilla y la retención de agua en muestras de suelo sometidas a bajos potenciales hídricos.

Se encontró una débil correlación entre la SE y el contenido de la materia orgánica del suelo. De acuerdo con resultados obtenidos por otros autores (12, 16, 22).



\*\*significancia al 1% por teste t.

\*\*significance at 1% by t test.

**Figura 1.** Relación entre superficie específica (SE) y retención de agua del suelo (RH), para cada potencial agua, en los Oxisoles estudiados.

**Figure 1.** Relationship between specific surface area and soil water retention for each water potential, in the studied Oxisols.

La materia orgánica por sí misma tiene una SE del orden de  $1 \text{ m}^2 \text{g}^{-1}$  cuando se la estima con adsorción de  $\text{N}_2$ . Si embargo puede llegar a modificar la superficie del sólido, tapando poros y evitando que el  $\text{N}_2$  penetre en el interior de los mismos lo cual resulta en una débil o nula correlación entre la SE y la materia orgánica (12).

No se encontró una relación de dependencia significativa entre la SE y la capacidad de intercambio catiónico, de acuerdo con lo hallado por otros autores; en suelos tropicales una elevada SE no implica una elevada CIC (33). En estos suelos la presencia de gibbsita y de oxihidróxidos

de Fe y Al, puede revelar una elevada SE, pero con baja CIC efectiva, lo cual provoca una dispersión en los datos experimentales y consecuentemente una falta de relación lineal entre estas variables. Esto es diferente para suelos de climas templados, donde la CIC permanente es una propiedad útil para predecir la SE.

La relación entre la superficie específica y la retención de agua del suelo mostró altos valores de  $R^2$  y tendencias definidas para todos los potenciales hídricos, lo que demuestra una estrecha relación entre estas propiedades (figura 1).

Un comportamiento similar observaron otros autores (5, 21, 23).

Utilizando los datos reportados por Bruand y Tessier (2000) de SE estimada por el método BET-N<sub>2</sub>, RH y contenido de arcilla, en suelos de Francia, se obtuvo también una correlación significativa entre la RH a potenciales hídricos del suelo entre -1 y -1500 kPa, con el contenido de arcilla, y con la SE.

Con estos mismos datos se estimó las capas de agua adsorbidas obteniéndose resultados concordantes con los encontrados en este trabajo.

En la tabla 2 se reportan dos ecuaciones, una para calcular la ordenada al origen (I) y otra para calcular la pendiente (D), los cuales pueden ser utilizadas para estimar SE en función de RH a cualquier tensión de trabajo (T), mediante la ecuación 1 (pág. 99).

La retención de agua del suelo mostró una relación significativa cuando se la vinculó con el contenido de arcilla del suelo (figura 2, pág. 102).

En todos los casos el coeficiente de bondad del ajuste R<sup>2</sup>, fue muy alto. Centurion y Andrioli (2000) observaron que la retención de agua, a las tensiones correspondientes a la capacidad de campo y punto de marchitez permanente, era

dependiente de las fracciones más finas del suelo (limo y arcilla).

El espesor de la capa de agua adsorbida y consecuentemente el número de capas, para cada tensión, fueron obtenidos a partir de la SE y RH para cada suelo y luego promediados. Para estos cálculos se consideró el diámetro equivalente de la molécula de agua igual a 0,367 nm (13).

Para el potencial de -33 kPa, el espesor de capa de agua calculado fue de 8,43 ± 1,79 nm, y el número de capas adsorbidas 23 ± 5; para -500 kPa 6,17 ± 1,04 nm y 17 ± 3; para -1,000 kPa; 5,65 ± 0,96 nm y 15 ± 3; para -1500 kPa 5,08 ± 0,86 nm, y 14 ± 2, respectivamente (tabla 3, pág. 103).

Valores similares fueron obtenidos por Bruand y Tessier (2000) para la tensión de trabajo 1000 kPa, siendo el número de capas adsorbidas obtenido de 13 ± 3 y para 1500 kPa, 12 ± 3, en materiales con contenido de arcilla entre 0,336 y 0,929 kg kg<sup>-1</sup>.

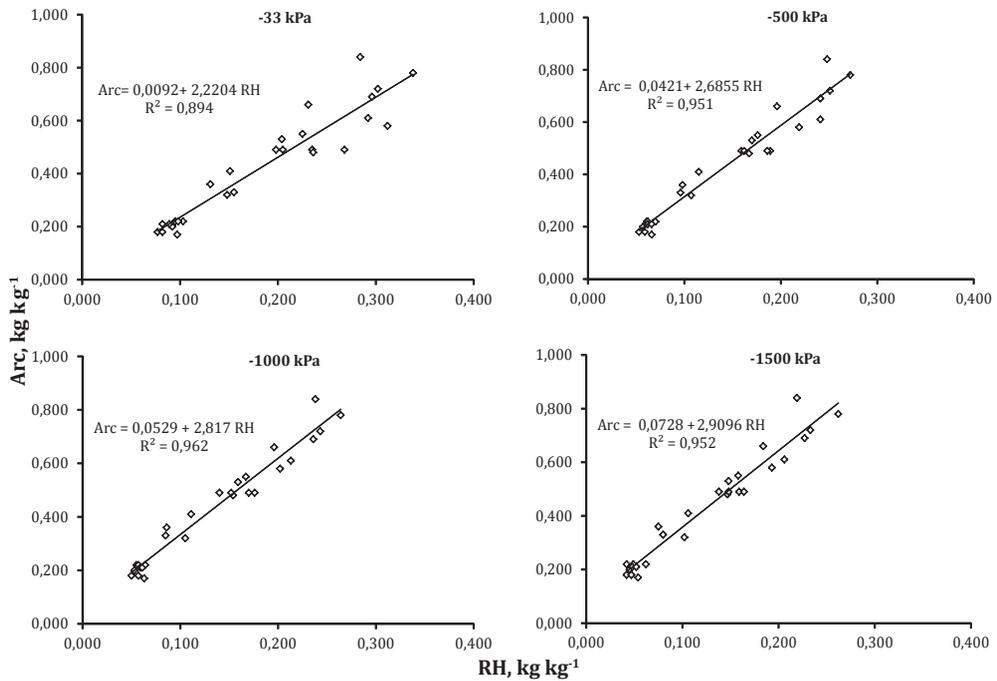
El agua se mantiene en el suelo por las fuerzas de adsorción en la superficie de las partículas y la tensión interfacial en los capilares.

Para tensiones altas (potenciales hídricos bajos), el contenido de agua forma una película, y las fuerzas de adsorción son dominantes.

**Tabla 2.** Ecuación de regresión para el cálculo de la ordenada al origen (I) y pendiente (D) de la ecuación de regresión lineal relacionando superficie específica con retención de agua del suelo, considerando la tensión de trabajo (T), en el intervalo 33-1500 kPa.

**Table 2.** Regression equation for calculating the intercept (I) and slope (D) of the linear equation relating specific surface with soil water retention, for tension stress (T) in the range 33-1500 kPa.

Parámetro	Ecuación de Regresión	R <sup>2</sup>
Coordenada al origen	$I = -9,15 + 0,2520 T^{0,5} - 0,001545 T$	0,998
Pendiente	$D = 162,17 + 2,2670 T^{0,5} - 0,02127 T$	0,991



\*\*significancia al 1% por test de t.

\*\* significance at 1% by t test.

**Figura 2.** Relación entre el contenido de arcilla (Arc) y retención de agua del suelo (RH), para cada potencial agua, en los Oxisoles estudiados.

**Figure 2.** Relationship between clay content (Arc) and water retention of the soil (RH) for each water potential in the studied Oxisols.

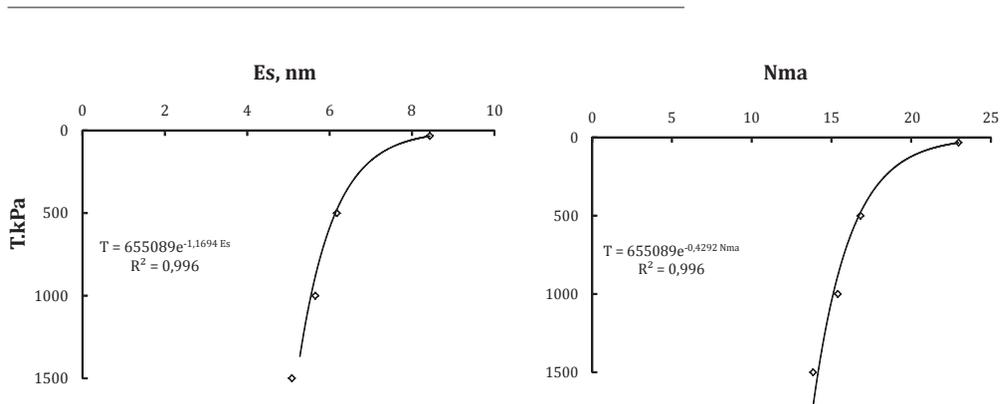
Por el contrario, a tensiones bajas (potenciales altos), resultó mayor el espesor y número de capas de agua adsorbida (figura 3, pág. 103), la tensión

interfacial sería más importante y el modelo de capas superpuestas va perdiendo validez.

**Tabla 3.** Media, desviación estándar, valores extremos y coeficiente de variación (CV) del espesor y del número de capas de agua adsorbidas para cada potencial agua, en 27 suelos estudiados.

**Table 3.** Mean, standard deviation, extreme values and coefficient of variation (CV) of the thickness and the number of adsorbed layers of water for each water potential of 27 studied soils.

Potencial	Media	Desviación Estándar	Máximo	Mínimo	CV
kPa					%
<b>Espesor (nm)</b>					
-33	8,43	1,79	11,47	5,80	13,72
-500	6,17	1,04	7,96	4,41	16,34
-1000	5,65	0,96	7,58	4,05	17,51
-1500	5,08	0,86	6,94	3,74	18,92
<b>Número de capas</b>					
-33	23	5	31	16	6,47
-500	17	3	22	12	7,70
-1000	15	3	21	11	8,26
-1500	14	2	19	10	8,92



**Figura 3.** Relación entre la tensión de trabajo ( $T = -\Psi$ ), el espesor de la capa de agua ( $E_s$ ) y el número de capas de agua adsorbidas ( $N_{ma}$ ) para los Oxisoles estudiados. Cada punto representa el promedio de 27 datos.

**Figure 3.** Relationship between the operating tension ( $T = -\Psi$ ), the thickness of the water layer and the number of layers of adsorbed water ( $N_{ma}$ ) for the studied Oxisols. Each point results from the mean of 27 data.

## CONCLUSIÓN

La superficie específica de los Oxisoles puede ser estimada en forma adecuada por experimentos de retención hídrica, en un amplio rango de potenciales, facilitando la

estimación de esta propiedad del suelo. Se ha podido determinar, en un modelo de capas superpuestas, la cantidad de agua adsorbida para los potenciales utilizados en este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bruand, A.; Tessier, D. 2000. Water retention properties of the clay in soils developed on clayey sediments: significance of parent material and soil history. *Eur. J. Soil Sci.* 51: 679-688.
2. Brunauer, S.; Emmett, P. H.; Teller, E. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *J. Am. Chem. Soc.* 60: 309-319.
3. Carter, D. L.; Mortland, M. M.; Kemper, W. D. 1986. Specific surface. In: Klute, A., ed. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* 2 nd. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. 413-423.
4. Centurion, J.; Andrioli, I. 2000. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. *R. Bras. Ci. Solo.* 24: 701-709.
5. Churchman, G. J.; Burke, C. M. 1991. Properties of subsoil in relation to various measures of surface area and water content. *J. Soil Sci.* 42: 463-478.
6. Cresswell, H. P.; Green, T. W.; Mckenzie, N. J. 2008. The adequacy of pressure plate apparatus for determining soil water retention. *SSSAJ.* 72(1): 41-49.
7. Curtin, D.; Smillie, G. W. 1976. Estimation of components of soil cation exchange capacity from measurements of specific surface and organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 461-462.
8. Defelipo, B. V.; Ribeiro, A. C. 1981. Análise química do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. *Boletim de Extensão*, 29. 17 p.
9. Defelipo, B. V.; Ribeiro, A. C. 1997. Análise química do solo. 2 ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. *Boletim de Extensão*. 29. 26 p.
10. Di Ciocco, C. A.; Sandler, R. V.; Falco, L. B.; Coviella, C. E. 2014. Actividad microbológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico- químicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 46(1): 73-85.
11. Gardner, W. H. Water 1986. Content. In: Klute, A., ed. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* 2 nd. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. 377-382.
12. Gelati, P. R.; Sarli, G. O.; Soracco, C. G.; Lozano, L. A.; Filgueira, R. R. 2009. Influencia de la materia orgánica en la superficie específica de un Argiudol típico. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 41(2): 117-126.
13. Gregg, S. J.; ING, K. S. W. 1995. Adsorption, Surface Area and Porosity. Academic Press. London. 238 p.
14. Grohmann, F. 1972. Superfície específica do solo de unidades de mapeamento do Estado de São Paulo. I-Estudo de perfis com horizonte B textural e B latossólico. *Bragantia.* 31: 145-165.
15. Heilman, M. D.; Carter, D. L.; Gonzalez, C. L. 1965. The ethylene glycol monoethyl ether technique for determining soil surface area. *Soil Sci.* 100: 409-413.
16. Kahle, M.; Kleber, M.; Jahn, R. 2002. Predicting carbon content in illitic clay fractions from surface area, cation exchange capacity and dithionite-extractable iron. *Eur. J. Soil Sci.* 53: 639-644.
17. Kaiser, K.; Guggenberger, G. 2003. Mineral surfaces and soil organic matter. *Eur. J. Soil Sci.* 54: 219-236.
18. Klute, A. 1986. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Water retention. Laboratory methods.* ASA-SSSA, Wisconsin. 635-662.
19. Mayer, L. M.; Xing, B. 2001. Organic matter-surface area relationships in acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 250-258.

20. Morábito, J.; Salatino, S.; Hernández, R.; Schilardi, C.; Álvarez, A.; Rodríguez Palmieri, P. 2015. Distribución espacial de la evapotranspiración del cultivo de referencia y de la precipitación efectiva para las provincias del centro-noreste de Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 109-125.
21. Morin, R. E.; Jacobs, H. S. 1964. Surface area determination of soils by adsorption of ethylene glycol vapor. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 28: 190-194.
22. Pennell, K. D.; Abriola, L. M.; Boyd, S. A. 1995. Surface area of soil organic matter reexamined. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1012-1018.
23. Petersen, L. W.; Moldrup, P.; Jacobsen, O. H.; Rolston, D. E. 1996. Relations between specific surface area and soil physical and chemical properties. *Soil Sci.* 161: 9-21.
24. Richards, L. A. 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Science.* 66(2): 105-110.
25. Ríos Flores, J. L.; Torres Moreno, M.; Castro Franco, R.; Torres Moreno, M. A.; Ruiz Torres, J. 2015. Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017, Comarca Lagunera, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(1): 93-107.
26. Rolim Neto, F. C.; Schaefer, C. E. G. R.; Costa, L. M.; Corrêa, M. M.; Fernandes Filho, E. I.; Ibraimo, M. M. 2004. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). *R. Bras. Ci. Solo.* 28: 953-964.
27. Ruiz, H. A. 2005. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R. Bras. Ci. Solo.* 29: 297-300.
28. Ruiz, H. A.; Ferreira, G. B.; Pereira, J. B. M. 2003. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. *R. Bras. Ci. Solo.* 27: 389-393.
29. Sambatti, J. A.; Costa, A. C. S.; Muniz, A. S.; Sengik, E.; Souza Junior, I. G.; Bigham, J. M. 2002. Relações entre a substituição isomórfica de Fe por Al e as características químicas e mineralógicas de hematitas sintéticas. *R. Bras. Ci. Solo.* 26: 117-124.
30. Sarli, G. O.; Piro, A.; Filgueira, R. R. 1993. Puesta a punto de un método para medir superficie específica de suelos. *Ciencia del Suelo*, 10-11: 85-88.
31. Solone, R.; Bittelli, M.; Tomei, F.; Morari, F. 2012. Errors in water retention curves determined with pressure plates: Effects on the soil water balance. *Journal of Hydrology.* 470-471: 65-74.
32. Soracco, C. G.; Lozano, L. A.; Filgueira, R. E.; Fournier, L. L.; Sarli, G. O. 2010. Funciones de transferencia edafológica adaptadas a suelos de La Plata, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 42(2): 111-115.
33. Souza Junior, I. G.; Costa, A. C. S.; Sambatti, J. A.; Peternele, W. S.; Tormena, C. A.; Montes, C. R.; Clemente, C. A. 2007. Contribuição dos constituintes da fração argila de solos subtropicais à área superficial específica e à capacidade de troca catiônica. *R. Bras. Ci. Solo.* 31: 1355-1365.
34. Tiller, K. G.; Smith, L. H. 1990. Limitations of EGME retention to estimate the surface area of soils. *Aust. J. Soil Res.* 28: 1-26.
35. Vettori, L. 1969. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. *Boletim Técnico*, 7. 24p.