

IMPACTO DE PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS EN LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE MOLISOLES

VALENTINA RUBIO*¹, MARIO PÉREZ BIDEGAIN², ANDRÉS BERETTA³,
EMILIANO BAROLIN¹, ANDRÉS QUINCKE¹

Recibido: 5/9/2018

Recibido con revisiones: 13/5/2019

Aceptado: 13/5/2019

RESUMEN

La estabilidad de agregados (EA) es determinante de la susceptibilidad del suelo a la erosión y compactación. Con el objetivo de evaluar el impacto de las propiedades físico-químicas en la EA de Molisoles, se seleccionaron 16 sitios, de diversa composición físico-química, en los cuales se determinó la EA mediante la técnica de Le Bissonnais. Un alto porcentaje de la variabilidad de la EA se debió al contenido de arena, Mg y Carbono. Rotaciones que permitan aumentar el COS, ayudarían a prevenir pérdidas en la EA, aunque estos aumentos son de tipo decreciente para dos de los mecanismos de EA evaluados.

Palabras clave: Estabilidad de agregados, calidad física de suelo, Le Bissonnais

IMPACT OF SOIL PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES ON SOIL AGGREGATE STABILITY OF MOLLISOLS

SUMMARY

Aggregate stability (AS) is a key factor controlling soil erosion risk and compaction. The main objective of this work was to explore the impact of soil physical and chemical properties on AS in Mollisols, using Le Bissonnais method. To achieve this goal, 16 soils were selected to represent a range in soil chemical-physical properties. Sand, Mg and organic carbon contents explained a high proportion of variability in AS. Crop rotations that increased soil C would aid in preventing losses in AS, although a decreasing response was observed for two of the evaluated mechanisms of AS.

Key words: Soil physical quality, aggregate stability, Le Bissonnais

INTRODUCCIÓN

La erosión y compactación del suelo se encuentran dentro de los principales problemas que enfrentan los sistemas agrícolas (Batey, 2009). La estabilidad de agregados (EA) mide la resistencia del suelo a mantener su arreglo espacial (Amézketa, 1999) y su deterioro se asocia, entre otros, a aumentos en la compactación y erosión del suelo (Batey, 2009). El carbono orgánico (COS) es identificado como el principal determinante de la EA en Molisoles (Novelli *et al.*, 2013), sin embargo falta información para cuantificar

su impacto. A nivel general, se han reportado relaciones positivas lineales tanto de primer orden (Chenu *et al.*, 2000) como de segundo orden (Regelink *et al.*, 2015), y no existe consenso respecto a la existencia de un nivel crítico de COS a partir del cual no se esperen aumentos en la EA. Entender esta relación, así como el efecto de otras propiedades en la EA, ayudaría a promover prácticas que permitan reducir su degradación.

Se seleccionó para este trabajo el método propuesto por Le Bissonnais (1996) para la determinación de la EA ya que este ha mostrado ser

¹ Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay

² Facultad de la Agronomía, Universidad de la República, Uruguay

³ Manejo y Conservación de Suelos, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Uruguay

*Autor de contacto: vrubio@inia.org.uy

una técnica sensible para detectar diferencias entre sitios asociadas al uso y manejo del suelo (ej.: Le Bissonnais, 1996; Gabioud, *et al.*, 2012 y Novelli *et al.* 2013). Además, cuenta con la ventaja de reproducir los tres mecanismos de desagregación del suelo asociados al agua. Estos mecanismos son: 1) estallido de agregados por aire entrampado; 2) la desagregación mecánica; y 3) el microfisuramiento por hinchamiento diferencial de las arcillas.

El objetivo del trabajo fue evaluar el impacto de las propiedades físico-químicas en la EA, en distintos Molisoles. Para el cumplimiento de dicho objetivo se relevaron 16 sitios en suelos Molisoles (Liu *et al.*, 2012) cuyas propiedades de presentan en la **Tabla 1**. De estos, ocho (1-8) se corresponden con cuatro tratamientos de un experimento de largo plazo iniciado en el año 1963 (estación experimental de INIA La Estanzuela, Uruguay), donde el mismo suelo fue sometido

a rotaciones de cultivos y pasturas contrastantes, lo que generó diferencias en sus propiedades físicas y químicas (Rubio *et al.*, 2018). Los restantes sitios (9 a 16) corresponden a chacras manejadas de forma comercial seleccionadas por su historia de uso conocida.

Se realizó un muestreo por cada sitio, donde se extrajeron muestras de las posiciones topográficas correspondientes a ladera alta, media y baja a una distancia no mayor a 20 m entre ellos. Los muestreos fueron realizados en el momento de barbecho previo a la siembra de verano en los años 2014, 2015 y 2017 (dependiendo del sitio en cuestión). Se tomó una muestra compuesta (de 20 submuestras), por zona y sitio, de 0 a 15 cm de profundidad donde se determinó la textura (Hidrómetro modificado por Beretta *et al.*, 2014); el COS (Wright & Bailey, 2001); N total (Wright & Bailey, 2001); Ca, Mg, K y Na intercambiables y se determinó la capa-

Tabla 1: Ubicación, propiedades físico-químicas y estabilidad estructural de los sitios evaluados.

Table 1: Site location and soil physicochemical properties and aggregate stability

N°	Coordendas	Arena	Arcilla	COS	CIC	Ca	Mg	K	Na	DMA ₁	DMA ₂	DMA ₃	DMA _m
		-----%-----		-----cmol c kg ⁻¹ -----						-----mm-----			
1	34°20'34.30"S, 57°43'24.08"O	19	31	2,67	20	10,3	2,07	1,1	0,5	0,61	2,73	1,27	1,54
2	34°20'34.30"S, 57°43'21.64"O	17	41	2,57	21,1	10,1	2,07	0,88	0,25	0,41	2,22	1,42	1,35
3	34°20'34.30"S, 57°43'29.91"O	20	32	2,58	19	9,8	1,87	0,86	0,52	0,58	3,05	1,32	1,65
4	34°20'34.30"S, 57°43'17.35"O	14	39	2,56	22,8	11,2	2,4	0,8	0,15	0,78	2,72	1,34	1,62
5	34°20'34.30"S, 57°43'26.14"O	18	30	2,58	19,8	9,9	1,57	0,7	0,49	0,41	2,66	1,15	1,41
6	34°20'34.30"S, 57°43'18.24"O	15	34	2,47	21	10,2	1,73	0,52	0,2	0,34	2,17	0,67	1,06
7	34°20'34.30"S, 57°43'29.91"O	18	30	1,88	17,1	9,3	1,73	0,6	0,46	0,43	2,59	0,79	1,27
8	34°20'34.30"S, 57°43'19.08"O	15	40	1,52	18,2	9,4	2,03	0,52	0,3	0,29	1,55	0,49	0,78
9	34°20'29.86"S, 57°42'50.75"O	13	35	2,5	20,3	10,1	1,7	0,75	0,39	0,75	2,56	1,84	1,72
10	34°20'31.27"S, 57°42'46.95"O	14	36	2,37	20,4	10,3	1,97	0,67	0,18	0,64	2,56	1,82	1,67
11	34°21'06.54"S, 57°41'16.68"O	16	37	1,77	22	11,6	3,77	0,43	0,66	1,04	1,96	2,39	1,79
12	34°21'01.81"S, 57°43'18.59"O	48	31	2,2	19,3	9,8	2,9	0,63	0,33	0,71	2,45	2,46	1,88
13	33°31'51.26"S, 58°00'01.76"O	40	34	1,99	20,3	12,8	2,82	0,37	0,33	0,52	1,83	2,11	1,49
14	32°53'34.20"S, 57°06'14.14"O	36	44	3,2	26,2	17,5	1,98	0,38	0,09	0,58	2,49	1,95	1,67
15	33°42'16.67"S, 58°05'56.39"O	60	25	1,46	14,6	10,5	1,15	0,66	0,25	0,38	1,05	1,39	0,94
16	32°58'18.67"S, 57°41'52.59"O	49	31	2,93	21,8	13,1	2,23	0,45	0,19	0,66	1,7	2,52	1,64
Promedio		26	34	2,33	20,2	11	2,12	0,64	0,33	0,57	2,27	1,56	1,468
Desvío		15,41	4,93	0,49	2,56	2,07	0,62	0,2	0,16	0,2	0,53	0,63	0,315

DMA1: diámetro medio del pretratamiento de estallido de agregados; DMA2 diámetro medio del pretratamiento de desagregación mecánica; DMA3 diámetro medio del pretratamiento de microfisuramiento por hinchamiento diferencial

COS: Carbono orgánico del suelo; CIC: Capacidad de intercambio catiónico

cidad de intercambio catiónico (CIC) (Jackson, 1964). Para la estimación de la EA se tomó una muestra del horizonte A (20*10*20 cm aproximadamente). Esta se desmenuzó manualmente y tamizó en húmedo para obtener agregados entre 5 y 3 mm. Se tomaron tres submuestras, de 10 gr cada una, para determinar la EA acorde a Le Bissonnais (1996). A cada submuestra se le asignó uno de los siguientes pretratamientos; 1) humedecimiento en 50 ml de agua destilada durante 10 minutos, para estimar el estallido de agregados; 2) humedecimiento en 50 ml de etanol durante 30 minutos, seguido de 10 giros en 50 ml de agua destilada y 30 minutos de reposo, para estimar la desagregación mecánica; y 3) humedecimiento lento a tensión de 3 cm, durante una hora para determinar el microfisuramiento por hinchamiento diferencial. Una vez finalizados los pretratamientos se determinó el diámetro medio de los agregados DMA con lo que se obtuvieron los valores DMA₁, DMA₂ y DMA₃ respectivos y el DMA_m determinado como el promedio aritmético entre estos tres. Los suelos se clasificaron en función sus valores de DMA acorde a Le Bissonnais (1996) donde un suelo con: DMA < 0,4 es considerado muy inestable; entre 0,4-0,8 inestable; ente 0,8-1,3 medianamente estable; entre 1,3-2 estable; y > a 2mm muy estable.

Para evaluar la incidencia de las variables físico-químicas en la EA se utilizó la metodología propuesta por Vu, *et al.*, (2015). Donde se seleccionaron las variables independientes (no Inter correlacionadas, $\rho \geq 0,1$) con mayor correlación (Pearson) con el DMA y se incorporaron como variables independientes en modelos de regresión múltiple. Cada modelo se ajustó con procedimiento "backward" fijando un p-valor máximo de 0,15. Todos los análisis se realizaron con el software InfoStat/P.

La estrategia de selección de sitios seguida en este trabajo permitió captar una amplia variabilidad en las propiedades físico-químicas entre los suelos evaluados (**Tabla 1**) así como también en la EA. En el 75% de los sitios (12 de 16), la EA (expresada como DMA_m) fue estable (**Tabla 1**), los máximos valores aquí observados son intermedios a los reportados por Gabioud *et al.* (2012) para Molisoles en situaciones prístinas

(2,25 mm) y bajo agricultura continua (1,43 mm). En tanto los valores mínimos observados son comparables a los reportados por este mismo autor para monocultivo de soja (0,95 mm). El humedecimiento rápido del suelo (DMA₁) fue el pretratamiento más destructivo (**Tabla 1**). La mayoría de los sitios son inestables ante este pretratamiento, lo cual se asocia a una alta probabilidad de ocurrencia de problemas de encostamiento (Le Bissonnais, 1996). En cambio, los valores de DMA₂ y DMA₃, fueron en su mayoría estables y muy estables respectivamente. Así, a pesar de la larga historia de uso agrícola de algunos sitios evaluados no se esperarían problemas graves asociados a la ruptura de agregados dada por estos mecanismos.

Las variables que tuvieron mayor correlación con la EA fueron el contenido de COS, arena y Mg, aunque el efecto de este último no fue significativo sobre el DMA₂ (**Tabla 2**). Estas variables permitieron explicar un 41, 60 y 53% de la variabilidad del DMA₁, DMA₂ y DMA₃ respectivamente. El contenido de arena tuvo efectos opuestos sobre los diferentes pretratamientos (**Tabla 2**). Lo que confirma que los procesos de ruptura de agregados difieren entre los pretratamientos, al igual que las propiedades del suelo que los controlan. Mayores contenidos de arena aumentaron la EA medida como DMA₃, pero disminuyeron la EA medida como DMA₁ y DMA₂. Mayores contenidos de arena se asocian a menores contenidos de arcilla, por lo que habría menor superficie de contacto entre las partículas del suelo. Sin embargo, al aumentar las arcillas de tipo expansivo (dominantes

Tabla 2: Regresiones múltiples entre las diferentes propiedades físico-químicas del suelo y el diámetro medio de agregados determinado por los diferentes pretratamientos.

Table 2: Multiple regression between soil physico-chemical properties and mean aggregate weight diameter for each pretreatment.

	Ecuación	R ²
DMA ₁	-0,04 - 0,02 Arena + 3,5 exp ⁴ Arena ² + 0,21 Mg + 0,18 COS	0,41
DMA ₂	-2,07 - 1,9 exp ⁴ Arena + 3,54 COS - 0,66 COS ²	0,60
DMA ₃	-3,6 + 0,03 Arena + 0,1 Mg + 3,05 COS - 0,54 COS ²	0,53

DMA es el diámetro medio de agregados (mm) determinado por los pretratamientos uno (DMA₁), dos (DMA₂) y tres (DMA₃); COS: carbono orgánico

en Uruguay) aumenta la ruptura de agregados por expansión diferencial (Amézketa, 1999), explicando el efecto positivo de la arena en disminuir este mecanismo de ruptura.

El COS aumentó la EA de manera significativa para todos los pretratamientos, confirmando que prácticas tendientes a aumentarlo favorecerían la EA (Chenu *et al.*, 2000). Sin embargo, con el aumento de COS se producen incrementos decrecientes de DMA_2 y DMA_3 (**Tabla 2**), lo cual se refleja con el término cuadrático en las respectivas funciones. No se observaron incrementos en DMA a valores superiores de 25 g kg^{-1} de COS. Este umbral es superior al valor de 17 g kg^{-1} propuesto por Pilatti & Orellana (2000) para Molisoles en Argentina y al de 20 g kg^{-1} reportado por Kemper & Koch (1966) para el oeste de Estados Unidos y Canadá. Debido al término cuadrático del COS en las funciones para DMA_2 y DMA_3 , se predice una disminución en la EA a valores mayores de COS. Este efecto no es esperable desde el punto de vista agronómico. Aquí se evaluaron suelos de hasta 32 g kg^{-1} (**Tabla 1**) y se observaron escasas disminuciones en EA asociadas a aumentos de COS. Aunque más evaluaciones son necesarias, se considera que los valores de COS evaluados representan el rango de variación presente en chacras comerciales.

El DMA_1 mostró relación del tipo lineal de primer orden con el COS (**Tabla 2**). A diferencia de los otros pretratamientos, los aumentos en el COS, en todo el rango evaluado, favorecerían la EA ante la disgregación causada por el estallido de agregados.

El Mg intercambiable aumentó la EA cuantificada como aumento en el DMA_1 y DMA_3 . El contenido de Mg se correlacionó negativamente con el contenido de Na. Además, los suelos con mayor contenido relativo de cationes polivalentes tendrían mayor poder de floculación acorde a lo reportado por Amézketa (1999) y por ende mayor estabilidad estructural.

Los resultados de este trabajo confirman que, mediante propiedades físicas y químicas del suelo, es posible explicar un alto porcentaje de la variabilidad de la EA. Aumentos en el conteni-

do de COS ayudarían a prevenir la pérdida de EA y disminuir los riesgos de compactación. Sin embargo, los efectos del COS en la EA serían mínimos por encima de 25 g kg^{-1} de COS para los mecanismos de ruptura asociados a la disgregación mecánica y la expansión de las arcillas. A pesar de esto la relación entre el COS y la EA asociada al estallido de agregados, la cual mostró ser la más destructiva, indicarían que prácticas de manejo tendientes a aumentar los niveles de COS mejorarían la sustentabilidad del sistema independientemente del valor inicial de COS.

BIBLIOGRAFÍA

- Amézketa, E. 1999. Soil Aggregate Stability: A Review. *J. Sustain. Agr.* 14(2-3): 83-151.
- Batey, T. 2009. Soil compaction and soil management: a review. *Soil use Manage.* 25: 335-345.
- Beretta, A; A Silbermann; L Paladino; D Torres; D Bassahun; R Musselli & A García-Lamothe. 2014b. Soil texture analyses using a hydrometer: modification of the Bouyoucos method. *Ci. Investig. agrar.* 41(2): 263-271.
- Chenu, C; Y Le Bissonnais & D Arrouays. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1479-1486.
- Gabioud, E; M Wilson & M Sasal. 2012. Análisis de la estabilidad de agregados por el método de Le Bissonnais en tres órdenes de suelos. *Ci. Suelo.* 5(3100): 129-139.
- Jackson, M (Eds). 1964. Análisis químico de suelos. Omega. [Barcelona, España. 662p]
- Kemper, WD & E Koch. 1966. Aggregate Stability of Soils from Western United States and Canada. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin, No 1355.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability. I. Theory and methodology. *European J. Soil Sci.* 47: 425-437.
- Liu, X; C Lee Burras; YS Kravchenko; A Duran; T Huffman; H Morras; G Studdert; X Zhang; Cruse & X Yuan. 2012. Overview of Mollisols in the world: Distribution, land use and management. *Canadian J. Soil Sci.* 92: 383-402.
- Novelli, L; O Caviglia; M Wilson & M Sasal. 2013. Land use intensity and cropping sequence effects on aggregate stability and C storage in a Vertisol and a Mollisol. *Geoderma.* 195-196: 260-267.
- Pilatti, MA & JA Orellana. 2000. The ideal soil: II. Critical values of an "ideal soil," for Mollisols in the North of the Pampean Region (in Argentina). *J. Sustain. Agr.* 17: 89-111.
- Regelink, IC; C Stoof; S Rousseva; L Weng; GJ Lair; P Kram; NP Nikolaidis; M Kercheva; S Banwart & R Comans.

2015. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. *Geoderma*. 247–248: 24–37.
- Rubio D., V., Gama R., D., Pérez B., M., Quincke, A., 2018. Evaluación del intervalo hídrico óptimo en un brunosol éutrico típico bajo diferentes intensidades de uso agrícola. *Agrocien. Uruguay*. 22, 107–115. <https://doi.org/10.31285/AGRO.22.1.11>
- Wright AF & J Bailey. 2001. Organic carbon, total carbon, and total nitrogen determinations in soils of variable calcium carbonate contents using a Leco CN-2000 dry combustion analyzer. *Commun. Soil Sci. Plan.* 32: 3243 – 3258.