

ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE HORIZONTES SUPERFICIALES DE SUELOS DE PRADO Y CULTIVO DE LA PROVINCIA DE A CORUÑA (NO, ESPAÑA)

M.M. TABOADA CASTRO, M.T. TABOADA CASTRO

Facultad de Ciencias. Universidad de A Coruña. Campus de A Zapateira s/n. CP: 15071. E-Mail: teresat@udc.es.

Abstract. The structural stability of surface horizons of agricultural soils (three of grassland and eight of crop) formed on schist and containing varying amounts of organic material (A Coruña, Spain) was analyzed. The aggregates were subjected to three treatments (fast wetting, mechanical breakdown, slow wetting) to simulate the behavior of the soil surface under different conditions, climatic, hydric and structural. The mean weight diameter (MWD) was determined for the three treatments and for each individual treatment. The average MWD ranged from 0.253 mm to 2.514 mm, corresponding to minimum and maximum levels of organic matter, respectively. A smaller MWD was observed after fast wetting than after slow wetting and mechanical breakdown, the latter showing the greatest diameter. The differences observed for the treatments reveal that the slaking produced from the effect of entrapped air is the principal aggregate-breakdown mechanism in these soils and that the mechanical action by raindrop impact contributes to a lower extent toward the reduction of mean diameter values.

Key words: aggregate stability, pasture and crop soils, fast and slow wetting, mechanical breakdown.

Resumen. Se analizó la estabilidad estructural de horizontes superficiales de tres suelos de prado y ocho de cultivo desarrollados sobre esquistos, con contenidos variables en materia orgánica, de la provincia de A Coruña (España). Los agregados se sometieron a tres tratamientos (humectación rápida, desagregación mecánica, humectación lenta) que simulan el comportamiento de la superficie del suelo en diferentes condiciones climáticas, hídricas y estructurales. Se determinó el diámetro medio ponderado (DMP) para los tres tratamientos y para cada tratamiento individual. El DMP promediado osciló entre 0.253 mm y 2.514 mm correspondiéndose con contenidos mínimos y máximos de MO respectivamente. El DMP tras humectación rápida fue inferior al medido tras humectación lenta y desagregación mecánica, siendo este último el más elevado. Estas diferencias entre tratamientos indican que el estallido por acción del aire ocluido sería el principal mecanismo de desagregación en estos suelos y la acción mecánica por impacto de las gotas de lluvia contribuiría en menor grado a la reducción del diámetro medio.

Palabras clave: estabilidad de agregados, suelos de prado y cultivo, humectación rápida y lenta, desagregación mecánica.

INTRODUCCIÓN

La agregación del suelo es un fenómeno que ocurre en dos etapas, estando la primera relacionada con la floculación de las partículas y la segunda con su estabilización por agentes cementantes. Del producto final de esos procesos resulta la formación de unidades estructurales, agregados, las cuales en su conjunto, definen la estructura del suelo.

El mantenimiento de un buen estado de agregación y estabilidad de los agregados y, consecuentemente, de una buena estructura es condición primordial para garantizar altas productividades agrícolas (Carpenedo y Mielniczuck, 1990). Suelos desestructurados y compactados generalmente presentan valores bajos de porosidad dificultando la penetración de las raíces y la difusión del oxígeno, además de disminuir la infiltración y favorecer por tanto la aparición de fenómenos de sellado en la superficie y la formación de escorrentía.

La formación de agregados estables requiere que las partículas primarias estén firmemente unidas entre sí, que no se dispersen en agua. Sin embargo en los horizontes superficiales de los suelos agrícolas, la estructura natural está sometida a constantes modificaciones, producidas por las gotas de lluvia, laboreo, etc. Diversos autores (Emerson, 1967; Boiffin, 1984; Le Bissonnais, 1988) han identificado cuatro mecanismos principales de desagregación: (i) disgregación por compresión del aire ocluido durante el proceso de humectación, (ii) desagregación mecánica debida al impacto de las gotas de lluvia, (iii) microfisuración por hinchamiento diferencial (iv) dispersión físico química.

Estos mecanismos de desagregación se diferencian entre sí principalmente desde el punto de vista de las interacciones entre las partículas a las que afectan, la energía necesaria para provocar la ruptura de las unidades estructurales, las condiciones físico-químicas necesarias para que se activen los mismos, la

cinética del proceso y la naturaleza y tamaño de las partículas que se originan como consecuencia de la desagregación. Desde el punto de vista metodológico, una consecuencia de la diversidad de mecanismos es que los procedimientos de medida deben de estar adaptados a esta amplia variabilidad de condiciones (Benito y Díaz-Fierros, 1989; Le Bissonnais y Le Souder, 1995; Le Bissonnais, 1996).

Frecuentemente, la estabilidad se mide por tamizado en húmedo seguido de la determinación de la proporción de material que se encuentra por encima de un límite de tamaño determinado o, alternativamente, de la distribución de los fragmentos que se originan después del tratamiento (Henin *et al.*, 1958).

La forma de expresar los resultados de un ensayo depende de la naturaleza del método de medida. En aquellos ensayos en que se determina la distribución media de los fragmentos, la estabilidad se suele expresar por el diámetro medio ponderal (DMP). Otros índices usados habitualmente para expresar el estado de agregación de un suelo son el diámetro medio geométrico (DMG) o el índice de estabilidad de los agregados (IEA).

En este trabajo se analizan los mecanismos de desagregación frente al agua de tres suelos de prado y ocho de cultivo con diferente contenido en materia orgánica, formados sobre esquistos en la provincia de A Coruña (España). La estabilidad de los agregados se determinó mediante tres tratamientos: humectación rápida, desagregación mecánica y humectación lenta. Estos tres tratamientos permiten diferenciar a partir del diámetro medio ponderado (DMP) los principales mecanismos de la desagregación que afectan a los suelos estudiados.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en dos zonas agrícolas de la provincia de A Coruña (Mabegondo y Liñares) con suelos forma-

TABLA 1: Usos del suelo y propiedades generales. Barbecho: después de la recolección de maíz. T: Textura. F-L: Franca limosa; F: Franca.

Parcela	Muestra	Uso	pH		M.O (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	T
			H ₂ O	KCl					
<i>Agra Pardo (M1)</i>	M1c	Barbecho	5.17	4.25	3.58	33.50	51.90	14.60	F-L
	M1p	Pradera	4.72	4.17	5.18	29.00	54.31	16.69	F-L
<i>Prado Vello (M4)</i>	M4c	Barbecho	5.45	4.76	0.97	29.09	64.07	6.84	F-L
	M4c'	Barbecho	4.92	4.44	2.98	34.00	51.90	14.10	F-L
<i>Gaiolas (M13)</i>	M13c	Barbecho	6.09	4.88	1.46	31.14	54.95	13.91	F-L
	M13c'	Barbecho	6.17	4.97	3.36	29.12	57.71	13.17	F-L
	M13p	Pradera	5.69	4.49	6.37	27.06	56.06	16.02	F-L
<i>Ventosa (M14)</i>	M14c	Barbecho	6.36	5.30	2.49	25.96	61.32	12.72	F-L
	M14c'	Barbecho	6.30	5.25	3.42	28.53	57.99	13.48	F-L
<i>Liñares (Li)</i>	Lic	Barbecho	5.56	4.62	2.60	49.02	35.12	15.86	F
	Lip	Pradera	5.99	4.87	4.33	45.43	37.11	17.46	F

dos sobre esquistos básicos del Complejo de Ordenes. En Mabegondo se eligieron cuatro parcelas (M1, M4, M13, M14) y en Liñares una (Li) con diferentes usos (barbecho tras cultivo de maíz y/o pradera plurianual). Se tomaron muestras del horizonte superficial (0-15 cm) dentro de la misma parcela en áreas con diferente color (sufijo c y c'), indicativo de diferencias en el contenido de materia orgánica ó en zonas adyacentes dedicadas a pradera (sufijo p).

La determinación del tamaño y estabilidad de los agregados en agua fue realizada siguiendo el método descrito por Le Bissonnais, (1996). Este ensayo simula el comportamiento de los agregados bajo tres supuestos de condiciones hídricas en los que puede ocurrir la desagregación en condiciones de campo: humectación rápida por inmersión, desagregación mecánica por agitación tras rehumectación y humectación lenta por capilaridad. Se utilizó un granulómetro de rayos láser para determinar la distribución de fragmentos, realizando tres

repeticiones de cada tratamiento. Este equipo diferencia 44 clases de diámetro que fueron reagrupadas en siete intervalos: <50 µm, 50-100 µm, 100-200 µm, 200-500 µm, 500-1000 µm, 1000-2000 µm y > 2000 µm, a partir de los cuales se calculó el diámetro medio ponderado para cada tratamiento y para la media de los tres tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición de los horizontes superficiales puede sufrir variaciones a lo largo del tiempo, por efecto del laboreo y la dedicación por lo que se efectuaron análisis generales de alícuotas de cada una de las muestras. Las muestras analizadas se caracterizaron por presentar pH ácido o ligeramente ácido, textura media y una amplia gama de contenidos en materia orgánica, que variaron entre pares de muestras y para diferentes dedicaciones (Tabla 1), oscilando entre 0.97 y 3.58% en barbecho tras un cultivo de maíz y entre 4.33 y 6.37% en pradera.

TABLA 2: Diámetro medio ponderado (DMP) para cada tratamiento y DMP promedio de los tres tratamientos.

Parcela	Muestra	Humectación rápida DMP(mm)	Desagregación mecánica DMP (mm)	Humectación lenta DMP (mm)	Media de los tres tratamientos DMP (mm)
<i>Agra Pardo</i> (M1)	M1c	0.346	0.953	0.404	0.568
	M1p	0.416	2.206	0.604	1.075
<i>Prado Vello</i> (M4)	M4c	0.210	0.316	0.232	0.253
	M4c'	0.279	2.255	0.536	1.023
<i>Gaiolas</i> (M13)	M13c	0.411	2.391	0.521	1.108
	M13c'	0.462	1.930	0.580	0.991
	M13p	1.289	3.061	1.885	2.078
<i>Ventosa</i> (M14)	M14c	0.410	1.947	0.540	0.966
	M14c'	0.476	1.816	0.575	0.956
<i>Liñares</i> (Li)	Lic	0.343	2.056	0.411	0.937
	Lip	2.363	2.646	2.534	2.514

Los resultados del diámetro medio ponderado (DMP) promediado para los tres tratamientos y para cada tratamiento individual (humectación rápida, desagregación mecánica y humectación lenta) de las once muestras de suelo analizadas se presentan en la tabla 2.

A partir de los valores del DMP promediado para los tres tratamientos se consideraron diferentes grados o clases de estabilidad de acuerdo con criterios establecidos por Le Bissonnais (1996). Según estos criterios, de las once muestras, una era muy inestable (DMP < 0.4 mm), otra inestable (DMP entre 0.4 y 0.8 mm), siete medianamente estables (DMP entre 0.8 y 1.3 mm) y dos muy estables (DMP > 2.0 mm), pero no se clasificó ninguna como estable (DMP entre 1.3 y 2.0 mm). A pesar de que el rango de variación de contenido en materia orgánica es amplio, la mayor parte de estos suelos se clasifican como medianamente estables de modo que el número de muestras, que se encuentran en ambos extremos de la escala, tanto el muy

inestable como el muy estable, es muy limitado. Barral *et al.* (1998) estudiando la estabilidad de suelos desarrollados sobre esquistos y dedicados a maíz los clasificaron como estables, en base a criterios definidos por Monnier *et al.* (1982).

En los suelos del presente estudio se observó una amplia gama de variación del DMP promedio, que osciló entre 0.253 mm (M4c) y 2.514 mm (Lip) correspondiéndose con contenidos mínimos y máximos de materia orgánica respectivamente. En estudios previos de suelos de la provincia de A Coruña, varios autores encontraron una relación positiva entre estabilidad y contenido en materia orgánica (Benito y Díaz-Fierros, 1989; Benito y Díaz-Fierros, 1992; Barral *et al.*, 1998).

La parcela de Prado Vello (M4), dedicada a cultivo (maíz/barbecho/maíz), es la que presenta valores de DMP más bajos. La muestra con menor contenido en materia orgánica y menor proporción de arcilla, pro-

cedente de un área en donde se apreciaba con frecuencia erosión concentrada (M4c), es muy inestable, en contraposición a la muestra adyacente más rica en materia orgánica (M4c') que se clasifica como inestable. Benito y Díaz-Fierros (1992) estudiando suelos de esta zona y desarrollados sobre el mismo tipo de material, encontraron mayor inestabilidad en aquellos que presentaban contenidos elevados de limo y baja cantidad de arcilla, lo que esta de acuerdo con el comportamiento de la muestra M4c.

La diferencia de estabilidad entre pares de muestras tomadas en zonas adyacentes y con distinto contenido en materia orgánica también se aprecia en Gaiolas en donde el suelo de pradera (M13p) es muy estable y las de cultivo (M13c y M13c') medianamente estables. Lo mismo ocurre en Liñares, en donde el suelo de prado (Lip) se clasifica como muy estable y el de cultivo (Lic) como medianamente estable. Del mismo modo, en Agra de Pardo la diferencia de materia orgánica entre la zona de cultivo (M1c) y prado (M1p), también se traduce en diferencias de estabilidad, ya que las muestras de zonas adyacentes con distinta dedicación se clasifican como inestables y medianamente estables, respectivamente. Por último, las dos muestras tomadas en Ventosa (M14) presentan un valor de DMP muy similar, lo que está de acuerdo con la menor diferencia de contenidos en materia orgánica entre ellas.

Los valores de DMP obtenidos para cada tratamiento mostraron importantes diferencias de estabilidad entre ellos, siendo menos perceptibles tras los tratamientos de humectación rápida y humectación lenta, frente a la desagregación mecánica tras inmersión en etanol, que presentó mayores oscilaciones.

Diferencias importantes de estabilidad entre tratamientos sugieren distintos procesos de fragmentación; por el contrario las diferencias entre procesos no son tan evi-

dentos cuando los resultados de estabilidad son similares (Le Bissonnais y Le Souder, 1995). Por ejemplo, la muestra procedente de Prado Vello (M4c) es siempre la más inestable, con valores de DMP de 0.210 mm, 0.316 mm y 0.232 mm tras el tratamiento por humectación rápida, desagregación mecánica y humectación lenta, respectivamente; por el contrario, la muestra tomada en la zona adyacente de esta parcela (M4c') más rica en materia orgánica, presenta valores de DMP relativamente bajos tras humectación rápida (0.279 mm) y humectación lenta (0.536 mm) lo que contrasta con un DMP de 2.255 mm tras la desagregación mecánica. Del mismo modo, la muestra de suelo de prado tomada en Liñares (Lip) presenta un valor DMP promedio más elevado (2.514 mm), que resulta de valores individuales de DMP en cada tratamiento relativamente similares entre sí, 2.363 mm tras humectación rápida, 2.646 mm tras desagregación mecánica, y 2.534 mm tras humectación lenta; sin embargo, la muestra de cultivo adyacente a la anterior tomada en Liñares (Lic) proporciona valores de DMP muy inferiores tras humectación rápida (0.343 mm) y humectación lenta (0.411 mm) en relación a los obtenidos tras desagregación mecánica (2.646 mm), lo que determina que el DMP medio se cifre en 0.937 mm.

La muestras M4c y Lip cuyos DMP promedios las sitúa en el grupo de los suelos más inestables y más estables respectivamente, tienen en común a pesar de las diferencias entre las mismas, el hecho de que los tres tratamientos del ensayo de estabilidad proporcionen resultados similares de DMP. Este resultado indica que el comportamiento estructural de estas muestras es prácticamente independiente de las condiciones externas y confirma las observaciones efectuadas por Amézketa *et al.* (1996), en el sentido de que los suelos situados en ambos extremos de la escala de estabilidad, tanto los muy estables

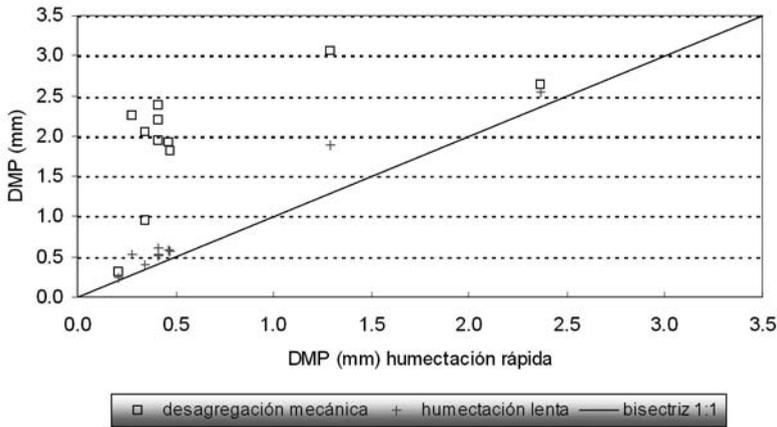


FIGURA 1: Relación entre los resultados de los ensayos de desagregación mecánica y humectación lenta, en relación con los de humectación rápida.

como los muy inestables, presentan unas características de fragmentación similares para diversos tratamientos.

En la figura 1 se relacionan los tres tratamientos. Al representar en abscisas el DMP tras el tratamiento por humectación rápida y en ordenadas los DMP de los otros dos tratamientos, desagregación mecánica y humectación lenta, se comprueba que los puntos se encuentran por encima de la bisectriz 1:1. Este resultado pone de manifiesto que el valor de DMP obtenido por humectación rápida en las once muestras es inferior al medido tras desagregación mecánica y humectación lenta. Se observa también que el DMP tras desagregación mecánica es siempre más elevado que tras humectación lenta. Por lo tanto, en estos suelos desarrollados sobre esquisto el valor de DMP se encuentra ordenado según la escala: desagregación mecánica > humectación lenta > humectación rápida.

El coeficiente de correlación del DMP tras humectación rápida y humectación lenta fue muy elevado ($r = 0.979$) y significativo ($p < 0.01$); por el contrario entre el DMP tras humectación rápida y lenta, desagregación mecánica no se encontró correlación significativa. Esto pone de manifies-

to que el estallido por acción del aire ocluido y la ruptura mecánica son mecanismos de desestabilización que fragmentan los agregados según diferentes patrones o mecanismos de acción. Sin embargo, la humectación rápida y la humectación lenta actuarían en este conjunto de muestras rompiendo puntos de unión entre las partículas que constituyen los agregados de naturaleza similar, si bien variaría la intensidad con la que se lleva a cabo su acción disgregadora.

Al relacionar el DMP promedio y el de cada tratamiento con los contenidos en materia orgánica de las once muestras, se encontraron correlaciones significativas ($p < 0.05$) para el DMP promedio ($r = 0,65$) y para los tratamientos de ruptura mecánica y humectación lenta ($r = 0,60$; $r = 0,63$ respectivamente) y no significativas para la humectación rápida.

CONCLUSIONES

El valor del diámetro medio ponderado (DMP) de la distribución de fragmentos obtenido tras humectación rápida es inferior al medido tras desagregación mecánica y humectación lenta; en consecuencia en estos suelos el estallido por efecto del aire ocluido

predomina sobre la desagregación mecánica como mecanismo de disgregación.

Se obtuvo una correlación significativa entre el valor del diámetro medio ponderado (DMP) tras humectación rápida y humectación lenta; por el contrario se comprobó la ausencia de correlación entre el DMP tras humectación rápida o lenta y desagregación mecánica. Estos resultados indican que mecanismos de fragmentación como la acción debida al estallido por aire ocluido durante la humectación rápida del suelo y la ruptura mecánica por impacto de las gotas de lluvia son independientes.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Caixa Galicia por una beca de Formación de Personal Investigador a la primera autora. A la Dirección e Investigadores del Centre de Recherches I.N.R.A. de Orleáns (Francia), la colaboración e infraestructura prestadas para la realización del test de estabilidad.

REFERENCIAS

- Amézketa, E., Singer, M.J., Le Bissonnais, Y. (1996): Testing a new procedure for measuring water-stable aggregation. *Soil Science Society of America Journal*. 60, 888-894.
- Barral, M.T., Arias, M., Guérif, J. 1997. Effects of iron and organic matter on the porosity and structural stability of soil aggregates. *Soil Tillage Res.* 46,261-272.
- Benito, E. y Díaz-Fierros, F. (1989). Comparación de diferentes métodos de medida de la estabilidad estructural al agua. *An. Edadaf. Agrobiolog.* 48, 291-298.
- Benito, E. y Díaz-Fierros, F. (1992). Estudio de las sustancias estabilizantes de la agregación en suelos ricos en materia orgánica. I. Composición de los agregados estables. *Agrochimica* 36,324-339.
- Boiffin, J. (1984): La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse Docteur-Ingenieur. Paris INA-PG. 320 pp + annexes.
- Carpenedo, V.y Mielniczuck, J. (1990): Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo.* 14, 99-105.
- Emerson, W. W. (1967): A classification of soil aggregates based on their coherence in water. *Aust. J. Soil Res.* 5, 47-57.
- Hénin, S., Monnier, G., Combeau, A. (1958): Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Annales Agronomiques*. I, 71-90.
- Le Bissonnais, Y. (1988): *Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies*. Thèse de Doctorat. Université d'Orleans. Francia.
- Le Bissonnais, Y. (1996): Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility. I. Theory and methodology. *European J. Soil Sci.* 47, 425-437.
- Le Bissonnais, Y.y Le Souder, C. (1995): Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la batance et à l'érosion. *Etude et Gestion des Sols.* 2, 43-55.
- Monnier G., Stengel, P., Guerif, J. (1982). Recherche de critères de fertilité des sols et de son évolution en fonction des systèmes de culture. *Comptes Rendues du Colloque CEE Fertilité des sols et systèmes de culture*, Bari, Italia. pp. 35-52.