

ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE SUELOS CALIZOS MEDITERRANEOS DEL SUR DE ESPAÑA

J GIL, L CORRAL, C I CONTRERAS, F BERMUDEZ, M TEJADA

Departamento de Química Agrícola y Edafología. Facultad de Ciencias. Universidad de Córdoba.
Avda. San Alberto Magno s/n, 14004 Córdoba, España

STRUCTURAL STABILITY OF CALCAREOUS MEDITERRANEAN SOILS FROM SOUTHERN SPAIN

The relationship between structural stability (as measured by the Henin test and the USLE erodibility index) and various physical and chemical parameters for 28 agricultural soils from southern Spain developed on calcareous materials was investigated. Results revealed that erodibility in these soils, which is closely related to structure, decreases with increasing proportion of clay and permeability values. The structural stability was found to depend on exchangeable sodium and magnesium, carbon from fulvic acids, active limestone and pH. An analysis of the relationships observed suggests that aggregates are formed by bonding of active groups of fulvic acids with exchangeable sodium and magnesium ions, and that active limestone stabilizes them by preventing their biodegradation.

Key words: Structural stability - Erodibility factor (K_{USLE}) - Calcareous Mediterranean soils

INTRODUCCION

La estabilidad de los agregados es una de las propiedades que más influye en la erosionabilidad de los suelos, siendo numerosas las investigaciones que la han estimado a partir del índice de agregación de las partículas constituyentes del suelo. En este sentido, es bien sabido, que los agregados del suelo están sometidos a un proceso de evolución permanente (Govers 1987), y su estabilidad puede modificarse en función de determinadas circunstancias ligadas a propiedades físico-químicas, a la actividad biológica, a condiciones climáticas y al manejo del suelo (Fullen, Reed 1987). Precisamente sobre estos aspectos numerosos trabajos han tratado de relacionar la estabilidad estructural con diversos parámetros físicos y químicos del suelo, (Tisdall, Oades 1982; Fortun, Fortun 1989; Gil, Tejada 1992), considerando de forma unánime a la materia orgánica como una de las variables más influyentes, ya que niveles bajos de ésta inducen a modificaciones importantes de las propiedades físico-químicas del suelo (Wild 1992). En este sentido se orienta este trabajo, en el que se establecen relaciones numéricas entre la estabilidad de la estructura y diversos parámetros físicos y químicos de suelos agrícolas del sur de España (Andalucía), sobre calizas miocenas y pleistocenas en áreas de terrazas y campiñas.

MATERIALES Y METODOS

Se seleccionaron un total de 84 muestras superficiales (0-25 cm) de suelos agrícolas pertenecientes a los subgrupos de la Soil Taxonomy Calcic Rhodoxeralf, Typic y Calcic Haploxeralf,

Typic Calcixeroll, Typic Haploxeroll, Vertic y Calcixerollic Xerochrept y Paleixerollic Chromoxerert, cuyas principales propiedades se definen en trabajos anteriores (Tejada, Gil 1990; Gil, Tejada 1992, 1995).

En cada una de las muestras superficiales se realizaron por triplicado, además de las ya realizadas por Gil, Tejada (1995), las siguientes determinaciones: contenido de caliza activa (Nijelsohn, Pizarro 1960), carbono de ácidos húmicos y de ácidos fúlvicos (Kononova, Bel'chicova 1961), cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico (Bower *et al.* 1952).

Con el fin de obtener correlaciones entre las variables anteriormente estudiadas (Gil, Tejada 1995) y las nuevas variables analizadas, se calcularon los coeficientes de correlación simple de dichas variables y posteriormente se agruparon en factores, utilizando para ello el paquete estadístico Statgraphics 5.0 (Statistical Graphics Corporation 1991).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se presentan los valores medios y rango de las variables analizadas. Con ellos se construyó una matriz de correlación (Gil, Tejada 1995), y con el fin de obtener relaciones múltiples que permitan poner de manifiesto qué variables influyen más en la estabilidad estructural de estos suelos se sometieron los resultados a análisis factorial en componentes principales, agrupando las variables según su carácter físico o químico.

La Tabla 2 contiene los resultados de dicho análisis para los parámetros físicos cuya matriz de correlación diagonalizada permitió obtener los autovalores de cada componente principal. La selección del número de componentes principales se hizo siguiendo el criterio de autovalor superior a la unidad, por lo que se seleccionaron dos componentes que explican el 84 % de la varianza total. La posterior rotación varimax convierte las compo-

Tabla 1. Propiedades físico-químicas de los suelos estudiados (n=28).

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
media	7,83	1,40	17,15	8,80	26,31	11,70	32,37	29,61	1,43	5,09	0,49	0,06	0,19	11,11	2,06	1,28	0,78	15,23
rango	1.08	0.64	42.77	43.40	61.86	28.81	38.43	51.02	0.86	38.23	0.74	0.08	0.47	8.64	4.53	1.70	1.58	8.72

1 pH, 2 Densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$) 3 CO_3^{2-} (%) 4 Caliza activa (%) 5 Arena gruesa (%) 6 Arena fina (%) 7 Limo (%) 8 Arcilla (%) 9 log 10Is
 10 Permeabilidad (log 10K) 11 Carbono orgánico (%) 12 Carbono ácidos húmicos (%) 13 Carbono ácidos fúlvicos (%) 14 Ca^{2+} (meq.100g⁻¹ suelo)
 15 Mg^{2+} (meq.100g⁻¹ suelo) 16 Na^+ (meq.100 g⁻¹ suelo) 17 K^+ (meq.100 g⁻¹ suelo) 18 Capacidad intercambio catiónico (meq.100 g⁻¹ suelo)
 19 Erosionabilidad (K_{USLE})

Tabla 2. Resultados del análisis factorial de componentes principales de parámetros físicos.

Variable	Factor	Autovalor	% Varianza	% Varianza acumulada	Componentes principales		Componentes principales (rotación varimax)	
					1	2	1	2
log 10Is	1	3.75	50.6	50.6	0.23	-0.48	0.48	0.19
Erosionabilidad (K_{USLE})	2	2.43	32.9	83.5	0.56	-0.79	0.95	0.21
Densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$)	3	0.55	7.4	90.9	0.83	-0.03	0.63	-0.54
CO_3^{2-} (%)	4	0.33	4.4	95.4	-0.30	-0.53	0.14	0.60
Arena gruesa (%)	5	0.19	2.5	97.9	0.76	0.58	0.17	-0.94
Arena fina (%)	6	0.16	2.1	100.0	0.79	-0.25	0.76	-0.35
Limo (%)	7	0.00	0.0	100.0	-0.53	-0.80	0.15	0.95
Arcilla (%)	8	-0.02	0.0	100.0	-0.96	0.03	-0.73	0.63
Permeabilidad (log 10K)	9	-0.15	0.0	100.0	-0.44	0.49	-0.66	-0.06

nentes en factores, quedando agrupadas en el factor 1 las variables inestabilidad estructural, erosionabilidad del suelo (factor K_{USLE}), densidad aparente, arena fina, arcilla y permeabilidad, por lo que podríamos definirlo como el factor erosionabilidad del suelo. Los valores de dichas variables en el factor indican que la inestabilidad de la estructura, y por tanto la erosionabilidad, aumenta al hacerlo la densidad aparente y la arena fina y disminuye al incrementar la fracción arcilla y la permeabilidad.

Ello podría relacionarse con el proceso de dispersión de partículas del suelo provocado por el impacto de la gota de lluvia y la posterior obturación de los poros del horizonte superficial, disminuyendo la velocidad de percolación y favoreciendo la escorrentía. Ello podría justificar la erosión laminar y en surcos que afecta a los suelos de la zona de estudio (Gil, Tejada 1992).

Por otro lado, se puede observar que no hay relaciones entre la estabilidad estructural y los carbonatos

Tabla 3. Resultados del análisis factorial de componentes principales de parámetros químicos.

Variable	Factor	Autovalor	% Varianza	% Varianza acumulada	Componentes principales		Componentes principales (rotación varimax)	
					1	2	1	2
log 10Is	1	3.39	39.5	39.5	-0.29	0.31	-0.42	0.02
pH	2	2.47	28.8	68.2	0.14	-0.13	0.19	0.01
Caliza activa (%)	3	0.95	11.0	79.3	0.23	-0.37	0.42	-0.11
Carbono orgánico (%)	4	0.70	8.1	87.4	0.54	0.40	0.11	0.66
Carbono ácidos húmicos (%)	5	0.52	6.1	93.5	0.27	0.29	-0.00	0.40
Carbono ácidos fúlvicos (%)	6	0.25	2.9	96.4	0.50	-0.22	0.51	0.19
Ca^{2+} (meq.100 g ⁻¹ suelo)	7	0.16	1.9	98.3	0.20	0.93	-0.50	0.81
Mg^{2+} (meq.100 g ⁻¹ suelo)	8	0.14	1.7	100.0	0.88	-0.31	0.85	0.39
Na^+ (meq.100 g ⁻¹ suelo)	9	0.00	0.0	100.0	0.52	-0.74	0.88	-0.17
K^+ (meq.100 g ⁻¹ suelo)	10	-0.05	0.0	100.0	0.86	0.13	0.53	0.69
Capacidad intercambio catiónico (meq.100 g ⁻¹ suelo)	11	-0.12	0.0	100.0	0.75	0.61	0.11	0.96
Erosionabilidad (K_{USLE})	12	-0.18	0.0	100.0	-0.48	0.20	-0.49	-0.19

totales, cuya actividad cementante se ha discutido ampliamente (Duchaufour 1975; Callot, Dupuis 1980; Wild 1992). Los carbonatos totales, junto con las fracciones texturales arena gruesa y limo se agrupan en el factor 2. Los signos de las cargas sugieren que la mayor parte de los carbonatos podrían estar formando parte de la fracción limo, cuya relación con la erosionabilidad se puso de manifiesto en estudios anteriores (Gil, Tejada 1992; 1995).

El análisis factorial de parámetros químicos los agrupa en dos componentes principales que explican el 68,2 % de la varianza total. Como puede observarse, no existen relaciones entre la estabilidad estructural (factor 1) y el carbono orgánico total (factor 2), aspecto señalado por Fortun y Fortun (1989) que sugieren que posiblemente podría relacionarse con la consideración exclusivamente cuantitativa de dicho parámetro. En este sentido, Aringhieri y Sequi (1978) y Dormaar (1983) en estudios de microestructura, consideran que la estabilidad de los agregados puede depender, más que de la cantidad de materia orgánica, de su disposición respecto de las partículas minerales, y a este respecto, la mayoría de los autores coinciden en considerar la capacidad cementante como efecto principal de la materia orgánica en la formación de agregados, intensificando especialmente las fuerzas de cohesión entre las partículas de arcilla cuando se adsorbe en su superficie (Fortun, Fortun 1989). En este sentido, los datos obtenidos revelan que la estabilidad estructural de estos suelos se relaciona con la fracción de carbono de ácidos fúlvicos, aspecto señalado por Wild (1992), que comprueba que en los suelos agrícolas sólo la fracción de polisacáridos del humus es la responsable de la estabilización de la estructura, ya que no se conocen mecanismos que expliquen adecuadamente tales mecanismos para que otras fracciones húmicas. No obstante, los polisacáridos se producen rápidamente y se asocian a agregados grandes (mayores de 250 μ), pero también se descomponen rápidamente, por lo que los agregados así formados son estables sólo transitoriamente (Tisdall, Oades 1982; Chaney, Swift 1986). Además, el laboreo excesivo tiene un efecto perjudicial ya que activa la biodegradación de la fracción de polisacáridos del humus.

Además, el factor 1 agrupa también a las variables pH, caliza activa, sodio y magnesio de cambio y erosionabilidad del suelo. El signo de las cargas de dichas variables sugiere la formación de agregados a base de uniones relativamente lábiles entre los grupos activos de los ácidos fúlvicos y el sodio y magnesio de cambio. Asimismo, hay que destacar el papel de la caliza activa, con una carga alta en el factor, se relaciona con el efecto protector que ejerce sobre los agregados organominerales frente a la biodegradación (Garrido *et al.*, 1995), y el pH se relaciona sin duda con este componente del suelo.

Finalmente, el factor 2 agrupa las variables capacidad de intercambio catiónico, calcio y potasio cambia-

bles, carbono orgánico y carbono de ácidos húmicos, por lo que sin duda alguna se refiere al complejo de cambio, cuya actividad química en estos suelos está íntimamente ligada a la de los ácidos húmicos. Por otro lado, la actividad del calcio y potasio cambiables en estos suelos, está asimismo ligada a la dinámica de la materia orgánica.

REFERENCIAS

- Aringhieri D.W., Sequi P. 1978. The arrangement of organic matter in a soil crumb. In *Modification of soil structure*. W.W. Emerson et al. (Eds.), pp. 145-150, John Wiley and sons. London.
- Bower C.A., Reitemeier R.F., Fireman M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci.* 73, 251-261.
- Callot G., Dupuis M. 1980. Le calcaire actif des sols et sa signification. *Sci. Sol. Boll. de L'A.F.E.S.*, nº 1, 17-26.
- Chaney K., Swift R.S. 1986. Studies on aggregate stability: I. Reformation of soil aggregates. *J. Soil Sci.* 37, 329-335.
- Dormaar J.F. 1983. Chemical properties of soil water stable aggregates after sixty-years of cropping to spring wheat. *Plant & Soil* 75, 51-61.
- Duchaufour Ph. 1975. *Manual de Edafología*. Ed. Masson, S.A. Barcelona. 478 pp.
- Fortun C., Fortun, A. 1989. Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo. *Ann. Edaf. Agrob.* 48, 185-204.
- Fullen M.A., Reed A.H. 1987. Rill erosion on arable loamy sands in the west Midlands of England. *Catena Supplement* 8, 85-96.
- Garrido F., Casermeiro M.A., Hernando J., Hernando, I. 1995. Evaluación de la erosión en suelos de la cuenca del Duero. XX Reunión Nacional de Suelos (España) I: 135-141. Madrid.
- Gil J., Tejada M. 1992. Propiedades físicas y químicas de suelos del valle del Guadalquivir. Su relación con el factor K de la USLE. III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (España) I: 439-444. Pamplona.
- Gil J., Tejada M. 1995. Erosionabilidad y propiedades del suelo en el área mediterránea (España). *Ciencia del Suelo* 13, 91-94.
- Govers G. 1987. Spatial and temporal variability in rill development processes at the Huldrenberg experimental sites. *Catena Supplement* 8, 17-34.
- Kononova M.H., Bel'chicova N.P. 1961. Rapid methods of determining the humus composition of minerals soils. *Pochvovedenie* 10, 75.
- Nijelso L., Pizarro O.C. 1960. Un procedimiento para la determinación del calcáreo activo en suelos orgánico-yesosos. *Bol. Tec. 2. Prov. Agropecuario*.
- Statistical Graphics Corporation. 1991. *Statgraphics 5.0. Statistical Graphics System*. Educational Institution Edition. USA.
- Tejada M., Gil J. 1990. Estimación de la erosionabilidad de los suelos de una zona del Valle Medio del Guadalquivir en la provincia de Jaén (Andalucía). I Reunión sobre el Medio Ambiente en Andalucía, I, 288-292.
- Tisdall J.M., Oades J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33, 141-163.
- Wild A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.