



## RELACIONES ENTRE ESTABILIDAD DE AGREGADOS Y PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS EN UN AMBIENTE MEDITERRÁNEO SEMIÁRIDO

*Relationships between aggregated stability and the physical and chemical  
soil properties in a semiarid mediterranean environment*

M. J. Delgado Iniesta, F. Belmonte Serrato y F. López Bermúdez

*Departamento de Geografía Física (Laboratorio de Geomorfología). Universidad de Murcia.  
Campus de la Merced; E-30001 Murcia. E-mail: lopber@fcu.um.es*

**Resumen:** Se presentan los resultados obtenidos en un muestreo de las propiedades físicas y químicas del suelo y su influencia en la estabilidad de los agregados a lo largo de un transecto longitudinal a la pendiente con tres tipos de usos del suelo: matorral (romeral), erial abandonado y campo de cultivo. Los resultados indican que existe una relación evidente entre algunas de las características físicas y químicas de los suelos y la estabilidad de agregados. Algunas propiedades químicas como: el contenido de materia orgánica (MO), la capacidad de intercambio catiónico (T) y el contenido de potasio intercambiable, favorecen la estabilidad de los agregados. La acción antrópica expresada en la roturación, el cultivo y el abandono, altera la distribución granulométrica y el contenido de materia orgánica aumentando la inestabilidad de los agregados.

**Palabras clave:** *catena, propiedades del suelo, estabilidad de agregados, erosionabilidad, nutrientes, usos del suelo.*

**Abstract:** This paper presents the results of soil physical and chemical properties and their influence in the stability of aggregates in a slope transect with three types of soil use: shrub (*Rosmarinus officinalis*), abandoned land and cultivated land. The results show the links between some physics and chemistries characteristics of soil and the stability of aggregates. Some properties as the organic matter content (OM), the cationic interchange capacity (T) and the potassium content favoured the aggregate stability. The human action showed in the tillage, crop and abandoning, disturb the granulometric distribution and the organic matter content and at the same time increase the unstability of aggregates.

**Key words:** *catena, soil properties, aggregates stability, erodibility, nutrients, land use.*



Delgado Iniesta, M. J., Belmonte Serrato, F. y López Bermúdez, F. (2000). Relaciones entre estabilidad de agregados y propiedades físicas y químicas de los suelos en un ambiente mediterráneo semiárido. *Rev. C.&G.*, 14 (1-2), 35-45. © SEG. AEQUA. GEOFORMA Ediciones.

### 1. Introducción

La erosión y degradación del suelo son procesos multifactoriales, sin embargo la eliminación de la cubierta vegetal, desempeña un papel esencial, desencadenante de los procesos de degradación física y química del suelo, además, lo fragiliza ante la erosividad de la lluvia. De estos procesos, la degra-

dación de la estructura y en ella, la estabilidad de los agregados, tiene una función primordial en la capacidad de retención hídrica, en la erosionabilidad del suelo, en la dinámica hidrológica, la formación de costras y la erosión por salpicadura (Scoging, 1989; Römkens *et al.*, 1990; Ekwue, 1991; Imeson, 1995; Cerdá, 1998). El porcentaje de agregados estables en agua y su distribución de tamaños, junto con el

grado de estabilidad de la estructura, indican el grado de resistencia de un suelo frente a los factores externos (Jaiyeoba y Ologe, 1990). Por ello la estabilidad de los agregados se ha utilizado, desde hace ya algunas décadas (Yoder, 1936; MacCalla, 1944; Low, 1954; Bryan, 1968; Imeson, 1984; Singer *et al.*, 1988), como parámetro ecológico que identifica la alteración de los ecosistemas y la actividad de los procesos erosivos.

En este trabajo, se estudian algunas características físicas (fracciones texturales y densidad aparente) y químicas de los suelos a lo largo de un transecto que comprende un matorral seminatural, un campo de cultivo abandonado y un campo de cultivo sometido a una alternancia de cereal-barbecho y, en el último año, almendros.

## 2. Área de estudio

El transecto elegido se localiza dentro del campo experimental de «El Ardal» situado en Mula (Murcia, SE de España), a una altitud de 550 m. En este campo, el Área de Geografía Física de la Universidad de Murcia viene realizando desde 1989 un seguimiento y evaluación de los procesos de erosión y de las relaciones clima-planta-suelo (López Bermúdez *et al.*, 1991, 1996; Martínez Fernández, *et al.*, 1991, 1994, 1995; Belmonte Serrato, 1998; Belmonte Serrato y Romero Díaz, 1998).

Los suelos predominantes en el área de El Ardal, son Xerosoles cálcicos y petrocálcicos, poco profundos y pedregosos, que se extienden sobre calizas o conglomerados calizos en las partes más altas de la ladera, o sobre un horizonte petrocálcico (Martínez Fernández *et al.*, 1995; FAO-UNESCO, 1998).

Aunque la vegetación climática del territorio es un chaparral de *Quercus coccifera* rico en lentiscos (*Pistacia lentiscus*), enebros (*Juniperus oxycedrus*) y espinos (*Rhamnus lycioides*), que se incluye en la amplia asociación ibérica *Rhamno lycioides-Quercetum cocciferae* (Esteve, 1975; Alcaraz, 1984; Alcaraz y Garre, 1985), en el momento actual la cubierta vegetal está formada por un matorral compuesto mayoritariamente por arbustos y gramíneas perennes, siendo *Rosmarinus officinalis* y *Brachypodium retusum*, las especies más representativas respectivamente, a estas se suman

otras como *Juniperus oxycedrus*, *Rhamnus lycioides*, *Thymus vulgaris*, *Thymus membranaceus* y de forma aislada *Pinus halepensis*.

Las condiciones climáticas son características de un clima mediterráneo semiárido, con una temperatura media anual de 14.5°C, y una precipitación en torno a los 300 mm con acusadas variaciones mensuales e interanuales (Belmonte Serrato y Romero Díaz, 1996).

## 3. Métodos

### 3.1 Toma de muestras

Se ha seleccionado un transecto de 65 x 5 metros dividido en 13 cuadros de 5 x 5 m, que comprende un tramo de ladera con orientación NW que presenta tres usos distintos del suelo: matorral en la parte más elevada (cuadrados del transecto 1 y 2), campo abandonado con más de 15 años de abandono (cuadrados 3, 4 y 5), campo abandonado entre 10 y 15 años (cuadrados 6 a 12) y cultivo (cereal-barbecho y ahora almendros, cuadrado 13), (figura 1).

Las muestras de capa arable se tomaron en el centro de cada una de las parcelas hasta una profundidad de 20-25 cm, que es aquella en la que se apreció el mayor contenido en raíces. Cada muestra se tomó de tres puntos distintos siguiendo un diseño en L, para incluir posibles variaciones por gradientes de ladera y evitar el efecto local (Delgado, 1998).

### 3.2. Análisis físico y químico de las muestras de capa arable.

Se ha medido la estabilidad de agregados siguiendo el método de Farres y Couseu (1985), mediante el cual se puede conocer la respuesta de los agregados en los primeros momentos de la lluvia. El método consiste en contabilizar el número de gotas necesario para romper un agregado de 4 a 5 mm de tamaño humedecidos por capilaridad, hasta que este pase por el tamiz de 3 mm. Sólo se reconocieron agregados de hasta 5 mm de tamaño, pues los de mayor dimensión se consideran poco erosionables (Luk, 1979; Ekwue, 1991). Las gotas empleadas tienen un tamaño medio de 0.9 cm de diámetro calculado por el método de la harina

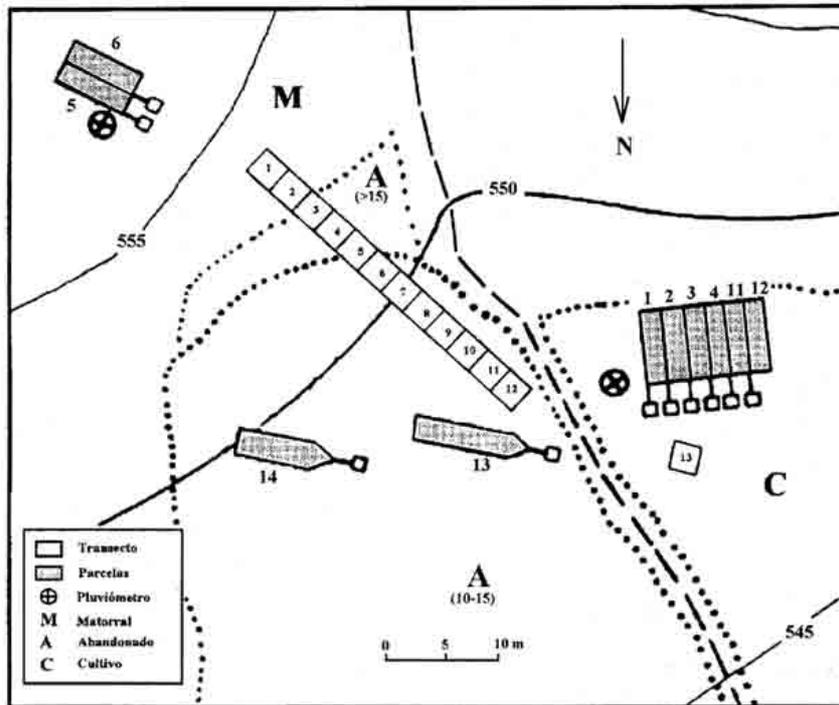


Figura 1. Esquema de parte del Campo Experimental de «El Ardal» con la situación del transecto muestreado.  
Diagram of the «El Ardal» experimental field with the catena situation.

(Asseline y Valentin, 1978), y un peso medio de 0.1468 g. Se empleó agua destilada para evitar las posibles interferencias de las sales en la respuesta de los agregados (Smith *et al.*, 1992, Desir, 1998). Las gotas se dejaron caer desde una altura de 1 m pasando a través de un tubo de 10 cm de diámetro con una frecuencia de 98 gotas por minuto, a partir de 3 minutos se considera al agregado completamente estable. El test se repitió un mínimo de 20 veces. La escala de estabilidad según el número de gotas necesarias para la desintegración del agregado se recoge en la tabla 1.

El análisis granulométrico de las muestras se ha realizado tras la eliminación de la materia orgánica con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% y una adecuada dispersión de la tierra fina, utilizando para ello hexametáfosfato sódico al 5% y combinando la extracción con la pipeta de Robinson y la tamización. Se han determinado así los porcentajes de arcilla (< 2 mm), limo fino (2-20 mm) y limo grueso (20-50 mm) y las diversas fracciones de arena (50-100, 100-250, 250-500, 500-1000 y 1000-2000 mm). Con esta división de fracciones se puede estudiar las relaciones entre las propiedades hídricas y cada uno de los segmentos de la curva granulométrica.

La densidad aparente se ha calculado mediante el método del cilindro, tomando una muestra inalterada en cada uno de los puntos de muestreo del transecto. El cilindro utilizado tiene unas dimensiones de 102 mm de diámetro por 102 mm de altura, que da un volumen de 833.47 cm<sup>3</sup>.

En el análisis químico del suelo se ha realizado el cálculo del carbono orgánico siguiendo el método de Anne, modificado por Duchaufour (1970), así como la capacidad de intercambio catiónico de los

Tabla 1. Escala de estabilidad de agregados  
Aggregated stability range

>249 gotas	Muy estable
196-249 gotas	Estable
98-196 gotas	Estabilidad mediocre
29-98 gotas	Inestable
< 29 gotas	Muy inestable

suelos (Chapman, 1969) y los elementos asimilables (Na, K, Mg y Ca). La determinación de sodio y potasio se ha hecho por fotometría de llama y la de magnesio y calcio por absorción atómica. El cálculo de dichos elementos tiene interés por cuanto que valora la fertilidad del suelo en potasio, magnesio, calcio y sodio. Se determinó también el contenido de carbonato cálcico equivalente, pues se trata de un constituyente de primera magnitud en los suelos de la zona de estudio y se pensó que quizá tuviera un papel «mecánico» frente a la dinámica hídrica. Para su cálculo se ha utilizado el método gasovolumétrico del calcímetro de Bernard.

#### 4. Resultados y discusión

##### 4.1 Análisis de las propiedades físicas y químicas de los suelos y estabilidad de agregados

###### 4.1.1 Granulometría

La granulometría es una de las características más estables del suelo y permite inferir otras propiedades y características directamente relacionadas con el uso y comportamiento del suelo como: la capacidad de retención de agua, el riesgo de formación de costra superficial, el riesgo de erosión hídrica o eólica, la capacidad para almacenar nutrientes, etc. (Porta *et al.*, 1994). El análisis granulométrico (tabla 2) indica una proporción muy

similar entre arcilla, limo y arena, aunque con un ligero predominio de la fracción limo, lo que le confiere una textura entre franca y franco-limoso, con escasas diferencias a lo largo de todo el transecto muestreado. La proporción de arcilla y de arena gruesa es más elevada en el matorral que en los campos abandonado y de cultivo, mientras que esta situación se invierte en el caso de la arena fina y el limo, que son mayores en el terreno abandonado y en el cultivado, especialmente en el campo abandonado más tiempo, colindante con el matorral. Aceptando un reparto granulométrico similar en todo el transecto antes de la roturación, las proporciones actuales pueden indicar una exportación desde el matorral hacia el campo abandonado inmediato que puede estar actuando de área de recepción de las fracciones limo y arena, especialmente limo grueso (20-50 mm) y arena fina (50-100 mm) (tabla 2), a la sazón, las fracciones menos resistentes a los procesos de desprendimiento y transporte (Morgan, 1997).

La densidad aparente es menor en el matorral (tabla 2) y se va haciendo mayor con el descenso hacia el cultivo, con promedios de 0.92 en el matorral, 1.13 en el campo abandonado más años, 1.17 en el campo abandonado restante y 1.2 en el cultivo. Con estos resultados, las densidades más bajas se dan en las muestras con mayor proporción de arcilla, lo que también está relacionado con el mayor contenido de materia orgánica (tabla 3).

Tabla 2. Granulometría y densidad aparente.  
*Apparent density and granulometry.*

Muestra	<2 mm	2-20	20-50	50-100	100-250	250-500	500-1000	1000-2000	DA
1	36.0	26.5	6.9	10.2	7.5	4.1	5.2	3.5	0.91
2	28.1	22.8	18.0	9.0	6.7	4.2	6.6	4.6	0.93
3	30.8	21.5	15.5	12.7	6.9	3.9	5	3.9	1.17
4	24.6	28.5	14.0	12.6	7.3	4.3	5.7	2.9	1.04
5	30.9	21.6	14.5	11.5	7.2	4.8	6.2	3.3	1.19
6	27.9	18.1	20.2	11.8	7.5	4.5	6	3.9	1.17
7	27.7	22.5	16.1	11.5	7.9	4.6	5.5	4.2	1.17
8	23.1	26.8	16.0	10.4	8.3	5.1	6.5	3.8	1.19
9	27.2	22.1	15.9	10.3	7.9	4.8	6.5	5.3	1.13
10	31.6	17.6	16.2	11.7	7.4	4.7	6.7	4.1	1.21
11	27.3	26.6	10.9	11.2	7.0	4.8	7.7	4.5	1.13
12	27.0	21.9	16.5	11.7	7.4	4.7	6.6	4.2	1.20
13	29.6	22.0	16.3	13.2	6.4	3.4	5	4.1	1.20

Tabla 3. Análisis de algunas propiedades químicas y elementos asimilables  
*Analysis of the chemical properties and assimilated elements.*

Muestra	M.O. %	N %	C/N	CO <sub>3</sub> Ca %	T cmol (+)/Kg	Na g/Kg	K g/Kg	Mg g/Kg	Ca g/Kg
1	4.95	0.248	9.54	58.03	22.69	0.22	0.68	0.50	4.15
2	6.32	0.353	10.51	55.64	28.19	0.18	0.70	0.25	3.53
3	2.30	0.175	7.70	64.98	18.83	0.11	0.47	0.25	2.31
4	3.80	0.253	8.84	62.30	20.12	0.08	0.53	0.50	2.52
5	1.82	0.171	6.23	65.56	17.90	0.07	0.41	0.50	3.80
6	3.03	0.230	7.65	67.53	18.80	0.21	0.38	0.50	2.94
7	2.40	0.206	6.95	59.08	19.07	0.21	0.33	0.50	2.60
8	2.21	0.216	5.92	59.14	18.72	0.18	0.26	0.50	3.32
9	3.01	0.249	7.29	63.61	19.42	0.18	0.41	0.50	2.96
10	1.97	0.179	6.70	67.43	15.79	0.18	0.33	0.25	3.37
11	1.99	0.182	6.44	64.64	15.91	0.20	0.42	0.50	2.93
12	2.19	0.175	7.47	64.87	15.09	0.21	0.48	0.25	2.56
13	2.02	0.187	6.25	53.24	20.82	0.26	0.47	0.25	2.49

#### 4.1.2 Análisis de algunas propiedades químicas de los suelos

Los resultados obtenidos en el análisis químico de los suelos (tabla 3) indican importantes diferencias en cuanto al contenido de carbonato cálcico entre las muestras tomadas en el matorral (55-58%) y en el campo abandonado en el que se produce un aumento (59-68%), sin duda motivado por la presencia de fragmentos de costra caliza procedentes de la roturación. El mayor contenido de carbonato cálcico puede favorecer la mineralización de la materia orgánica del suelo reflejado, en la mayor presencia de esta en el matorral (5-6%), frente al 2-

4% en el campo abandonado. Estas diferencias, son también patentes en la relación C/N, la cual indica el grado de humificación de los componentes orgánicos del suelo y evidencia la pérdida del grado de humificación de los suelos antropizados.

#### 4.1.3 Estabilidad de agregados

La estabilidad de los agregados en las muestras 1 y 2, con suelos poco o nada alterados y con vegetación natural (matorral), es un 50% más elevada que en el resto del transecto con suelo alterado por la acción antrópica (tabla 4). La mayor presencia de arcilla (que proporciona mayor cohesión a los agre-

Tabla 4. Estabilidad de agregados.  
*Aggregated stability.*

Parcela	Número de gotas	Estabilidad
1	49 gotas	Inestable
2	49 gotas	Inestable
3	24 gotas	Muy inestable
4	27 gotas	Muy inestable
5	15 gotas	Muy inestable
6	15 gotas	Muy inestable
7	26 gotas	Muy inestable
8	11 gotas	Muy inestable
9	23 gotas	Muy inestable
10	10 gotas	Muy inestable
11	13 gotas	Muy inestable
12	20 gotas	Muy inestable
13	11 gotas	Muy inestable

gados) puede explicar la estabilidad de la muestra 1, pero no en la muestra 2, con una proporción de arcilla similar al resto de muestras, que incluso es inferior a algunas de ellas (tabla 2). Quizá esa mayor estabilidad esté más relacionada con la densidad aparente del suelo, claramente inferior en las muestras 1 y 2, y, sobre todo, con el contenido en materia orgánica, que en estas muestras dobla al obtenido en el resto. En cualquier caso, todas las muestras se encuentran en la parte más baja de la escala de estabilidad, lo que les confiere un elevado grado de erosionabilidad, al menos en cuanto a estabilidad se refiere, ya que la erosionabilidad depende también de la textura, de la resistencia al esfuerzo cortante, de la capacidad de infiltración y de los contenidos minerales y orgánicos (Morgan, 1997).

4.2 *Relaciones entre estabilidad y propiedades físicas y químicas del suelo.*

La influencia de la proporción de arcilla y limo en la estabilidad de agregados del transecto mues-

treado es positiva. Indica que los agregados más estables son aquellos que tienen mayor proporción de arcilla aunque el nivel de significación, en este caso, es muy bajo con coeficientes de correlación de 0.25 y 0.16, respectivamente. Sin embargo, el contenido de arena sí presenta una aceptable correlación negativa con la estabilidad (figura 2), que le hace mejor predictor, e indica que a medida que aumenta la fracción arena, en detrimento de las proporciones de limo y arcilla, los agregados que se forman son más fácilmente disgregables por el impacto de las gotas de lluvia.

La densidad aparente se muestra mucho mejor predictor de la estabilidad de los agregados, en una relación inversamente proporcional, en la que el aumento de densidad aparente expresa un descenso acusado de la estabilidad de los agregados (figura 3). La explicación de este resultado parece indicar que los suelos más porosos son más estables que los suelos más compactos, respuesta que no está en contradicción con el hecho de que los suelos de menor densidad aparente son aquellos que presentan mayor

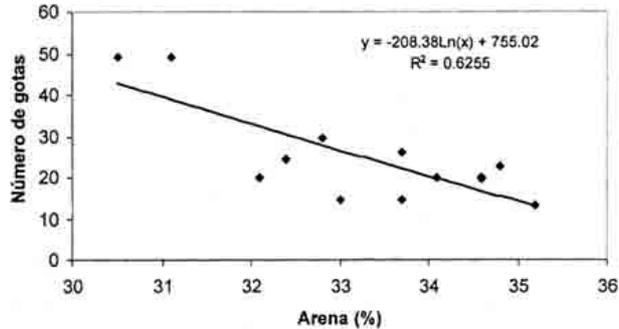


Figura 2. Relación entre el porcentaje de arena y la estabilidad de los agregados. *Relationship between the sand percentage and the aggregated stability.*

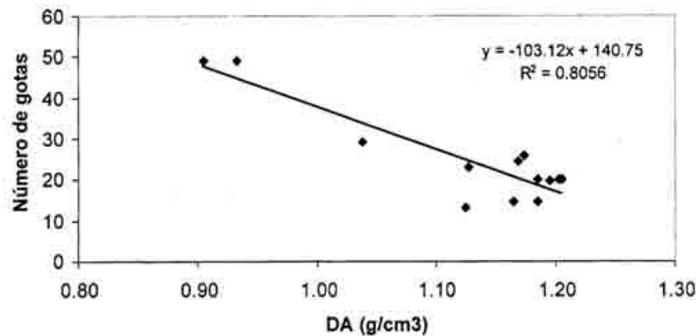


Figura 3. Relación entre la densidad aparente y la estabilidad de los agregados. *Relationship between the aparent density and the aggregated stability.*

proporción de arcilla (tabla 2). La explicación hay que buscarla de nuevo en el mayor contenido de materia orgánica.

El contenido de materia orgánica disminuye considerablemente la densidad aparente, aumenta la porosidad, aireación, infiltración y percolación del agua, y disminuye la escorrentía y el riesgo de erosión (Van Beers, 1980). Aparte de su función en el comportamiento físico de los suelos, contribuye a la formación de los agregados proporcionándoles mayor cohesión y aumentando su estabilidad más que ningún otro factor (Evans, 1980; Tisdell and Oades, 1982; Chaney and Swift, 1984; Marshall and Holmes, 1988; Benito Rueda y Díaz Fierros, 1989; Moyano *et al.* 1989). Es conocido que el humus por sus características coloidales tiene una gran capacidad de absorción de agua que excede, incluso, a la de la arcilla (Koorevaar *et al.* 1983). En

el transecto estudiado se ha encontrado una buena correlación entre el contenido de materia orgánica y la estabilidad de los agregados (figura 4).

Esta relación es aún más evidente si se toma como predictor la relación C/N (figura 5), alcanzándose en este caso mejor coeficiente de correlación. Como ya se ha comentado, la relación C/N indica el grado de humificación del suelo y el proceso de humificación implica cambios en la composición química de la materia orgánica que hace aumentar su resistencia a la biodegradación debido a la estabilidad de los componentes húmicos (Tate, 1987), favoreciendo aún más la estabilidad de los agregados.

La capacidad de intercambio catiónico (T), tiene también una influencia directa en la estabilidad de agregados (figura 6), con un coeficiente de correlación elevado. Los cationes intercambiables

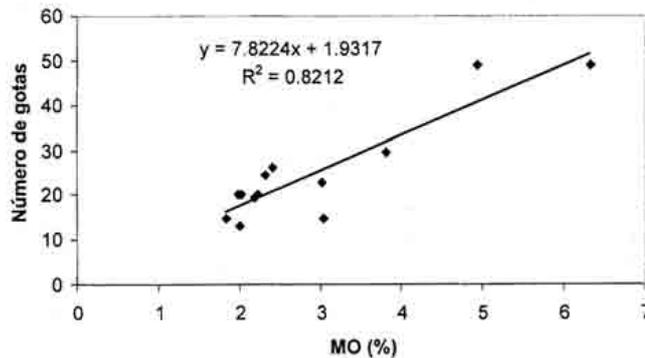


Figura 4. Relación entre el contenido de materia orgánica y la estabilidad de los agregados  
*Relationship between the organic matter content and the aggregated stability.*

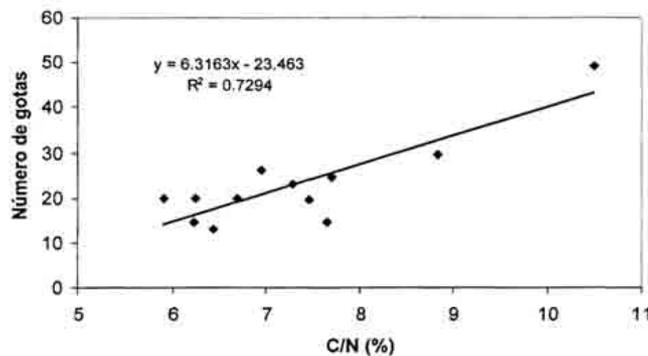


Figura 5. Relación entre la relación C/N y la estabilidad de los agregados.  
*Relationship between the C/N relationship and the aggregated stability.*

proceden en su mayoría de la meteorización del material original aunque no se puede descartar su procedencia a partir de aportes externos superficiales y subterráneos así como de la mineralización de la materia orgánica. Por tanto, en cierta forma, el mayor número de cationes intercambiables indica una mayor capacidad de intercambio catiónico, lo que indica una función coloidal (arcilla y humus) activa e indirectamente una posible mayor estabilidad de los agregados.

La relación entre los elementos intercambiables sodio, potasio, calcio y magnesio y el comportamiento frente a la estabilidad de los agregados es distinto en cada caso. Según Miner y Summer (1988) el aumento de sodio intercambiable en un suelo (por ejemplo a consecuencia de la incorporación de fertilizantes para los cultivos), a partir de un determinado porcentaje, se traduce en un deterioro muy marcado de la estructura del suelo, deterioro que está relacionado directamente

con la disminución en la estabilidad de los agregados. En los suelos estudiados los niveles de sodio no supera en ningún caso 1 cmol (+)/Kg, por lo que puede considerárseles como suelos sin exceso de sodio (Cobertera, 1993), de modo que la estabilidad de los agregados no va a estar condicionada por este elemento.

Sin embargo, se ha podido constatar una relación positiva entre el potasio y la estabilidad de agregados (figura 7). La presencia de potasio de cambio en las muestras de la capa arable analizadas puede deberse a la presencia en las rocas carbonatadas de diversos minerales portadores de este elemento como son las micas, las cuales liberan con facilidad el potasio que se encuentra en posiciones intercambiables (Delgado, 1998) y además aunque la fracción ligera de la arena fina no ha sido estudiada en el presente trabajo, se sabe que este tipo de suelos desarrollados a partir de rocas carbonatadas presentan feldespatos potásicos en dicha frac-

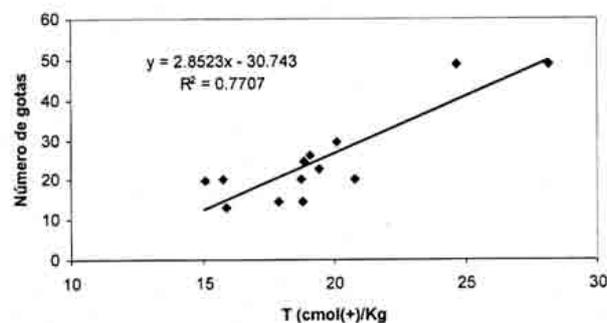


Figura 6. Capacidad de intercambio catiónico (T) y la estabilidad de los agregados. *Relationship between the cationic interchange (T) and the aggregated stability.*

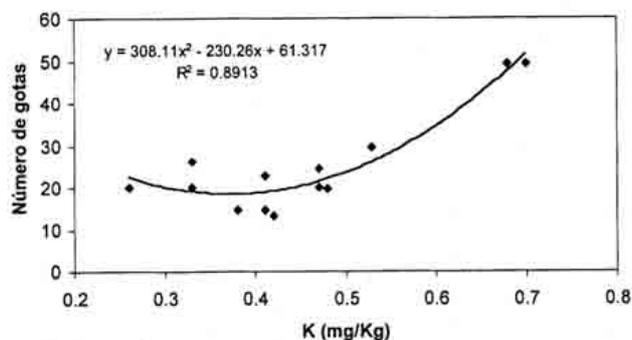


Figura 7. Relación entre el contenido en potasio (K) y la estabilidad de los agregados. *Relationship between the potassium content (K) and the aggregated stability.*

ción, que constituye una reserva muy importante de potasio para los suelos. Por otra parte, en la fracción arcilla, también aparecen minerales portadores de potasio como la illita muy abundante en estos suelos (Alfás *et al.*, 1997).

Por otra parte, el alto contenido de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  del suelo conduce a una alta erosionabilidad y parece ser el factor más importante entre los que afectan a la susceptibilidad de los suelos a la ero-

sión en el Sureste de España (Barahona *et al.* 1990) y en Marruecos (Merzouk y Blake, 1991), lo que puede ser interpretado como un aumento en la inestabilidad de los agregados. En los suelos analizados (figura 8), se puede ver como el aumento de carbonato cálcico coincide con una disminución en la estabilidad de los agregados, a pesar del coeficiente de correlación relativamente bajo.

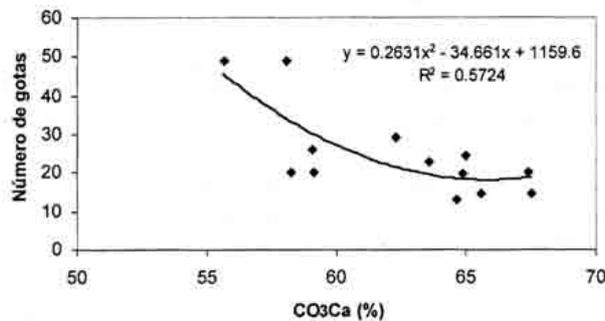


Figura 8. Relación entre el contenido en carbonato cálcico y la estabilidad de los agregados.  
*Relationship between the calcium carbonate content and the aggregated stability.*

## 5. Conclusiones

Se constata que la roturación de la tierra, puesta en cultivo y posterior abandono puede haber ocasionado cambios en algunas propiedades físicas y químicas del suelo tanto en las parcelas de campo abandonado como en las de cultivo.

En estas parcelas se ha observado una alteración en las proporciones de las distintas fracciones granulométricas, con un aumento en la proporción de arena fina y limo en detrimento de la fracción arcilla y arena gruesa, más abundantes en el matorral. Al mismo tiempo, la rotura de la costra caliza subyacente produjo un aumento de la pedregosidad tanto superficial como interna que ha llevado aparejado un aumento del contenido de carbonato cálcico. Además del incremento del carbonato cálcico, ha habido un descenso considerable del contenido en materia orgánica, de la relación C/N y de la capacidad de intercambio catiónico (T).

Se ha puesto de manifiesto que en estos suelos, debido al grado de antropización, manifestado en la aparente alteración de las proporciones granulométricas

y, sobre todo, en la disminución del contenido de materia orgánica, se ha producido un aumento de la densidad aparente y un descenso en la estabilidad de los agregados.

En este sentido, se han encontrado correlaciones significativas entre el porcentaje de arena ( $R^2 = 0.63$ ), la densidad aparente ( $R^2 = 0.81$ ) y el carbonato cálcico ( $R^2 = 0.60$ ), cuyo aumento parece ocasionar un descenso de estabilidad. Frente a la materia orgánica ( $R^2 = 0.72$ ), la relación C/N ( $R^2 = 0.81$ ), la capacidad de intercambio catiónico ( $R^2 = 0.81$ ) y el contenido de potasio intercambiable ( $R^2 = 0.87$ ), que parecen favorecer considerablemente la estabilidad.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco de los Proyectos de Investigación MEDALUS (*Mediterranean Desertification and Land Use*), contrato N° ENV4-CT95-0119 (DG-XII-DTEE), financiado por la Unión Europea (1991-1999); del

AGF95-0635, financiado por la CICYT en el marco del Plan Nacional de I+D (1995-1998) y RESEL-LUCDEME (Dirección General de Conservación de la Naturaleza). Los autores también expresan su agradecimiento a los anónimos revisores del trabajo pues sus observaciones y correcciones lo han mejorado.

### Referencias bibliográficas

- Alcaraz, F. (1984). *Flora y vegetación del NE de Murcia*. Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 404 pp. Murcia.
- Alcaraz, F. & Garre, M. (1985). Vegetación de las montañas del sector murciano. *Lazaroa*, 7: 473-485.
- Alfás, L. J., López Bermúdez, F., Marín Sanleandro, P., Romero Díaz, M. A. & Martínez, J. (1997). Clay minerals and soil fertility loss on Petric Calcisol under a semiarid Mediterranean environment. *Soil Technology*, 10: 9-19.
- Asseline, J & Valentine, C. (1978). Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cashiers ORSTOM. Serie Hydrologie*, 15:321-349.
- Barahona, E., Quirantes, J., Guardiola, J. L. & Iriarte, A. (1990). Factors affecting the susceptibility of soils to interrill erosion in south-eastern Spain. In: J.L. Rubio & R.J. Rickson (Eds). *Estrategies to combat desertification in Mediterranean Europe*. Commission of European Communities Report EUR 11175 EN/ES: 216-227.
- Belmonte Serrato, F. & Romero Díaz, A. (1996). Aproximación a las características climáticas en el área de influencia del campo experimental de El Ardal (Murcia). La representatividad de las series climáticas disponibles. *Papeles de Geografía*, 23-24, 47-61.
- Belmonte Serrato, F. (1998). *Intercepción en bosque y matorral mediterráneo semiárido: Balance hídrico y distribución espacial de la lluvia neta*. Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 375 pp. (CD-Rom).
- Belmonte Serrato, F. & Romero Díaz, A. (1998). A simple technique for measuring rainfall interception by small shrub: interception flow collection box. *Hydrological Processes*, 12: 471-481.
- Benito Rueda, E. & Díaz Fierros, F. (1989). Estudio de los principales factores que intervienen en la estabilidad estructural de los suelos de Galicia. *An. Edaf. Agrobiol.*, 48: 229-253.
- Bryan, R. B. (1969). Considerations on soils erodibility indices of soil erodibility. *Geoderma*, 2: 5-26.
- Cerdá Bolinches, A. (1998). El clima y el hombre como factores de la estabilidad estructural del suelo. Un estudio a lo largo de gradientes climático-altitudinales. *Cuaternario y Geomorfología*, 12 (3-4), 3-14.
- Chapman, H. D. (1969). Cation exchange capacity. *Methods of Soil Analysis*. In C.A. Black (Ed.). *American Soc. Agronomy, Inc.*, 1: 891-900, Madison.
- Chaney, K. & Swift, R. S. (1984). The influence of organic matter on aggregate stability in some British soil. *J. Soil. Sci.*, 35: 223-230.
- Cobertera, E. (1993). *Edafología aplicada*. Ed. Cátedra, Madrid. 325 pp.
- Delgado, M. J. (1998). *Suelos y Vegetación en los afloramientos volcánicos neógenos de la zona litoral del Sureste Peninsular*. Servicio de Publicaciones. Universidad de Murcia, 410 pp. (CD-Rom).
- Desir, G. (1998). Estabilidad de los agregados y erosionabilidad en suelos yesíferos del centro de la depresión del Ebro. En: *Investigaciones recientes de la Geomorfología española*. A. Gómez y S. Franch (Eds.). Servei de Gestió i Evolució del Paisatge, Universidad de Barcelona y Geoforma Ediciones. Barcelona. 511-520.
- Duchaufour, Ph. (1970). *Précis de Pédologie*. Masson & Cie (Eds). París.
- Ekwue, E. I. (1991). Effects of peat content, rainfall duration and aggregate size on soil crust strength. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16: 485-498.
- Esteve, F. (1975). *Vegetación y flora de las regiones central y meridional de la provincia de Murcia*. Publicaciones C.E.B.A.S., 451 pp. Murcia.
- Evans, R. (1980). Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical viewpoint. In: M.J. Kirkby and R.P.C. (Eds.), *Soil erosion*. Wiley, Chichester, 109-128.
- Farres, P & Couseu, M. (1985). An improved method of aggregated stability measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*, 10, 321-329.
- FAO-UNESCO (1998). *Soil Map of the world*, vol. 1.
- Imeson, A. C. (1984). An eco-geomorphological approach to the soil degradation and erosion problem. In: Fantechi, R. & Margaris, N.S. (eds.). *Desertification in Europe*. D. Reidel publishing Co. Dodrecht, 110-125.
- Imeson, A. C. (1995). The physical, chemical and hydrological degradation of the soil. In: Fantechi, R.;

- Peter, D.; Balabanis, P. & Rubio, J. L. (Eds.). *Proceedings of the European school of climatology and natural hazards course, held in El Campello, Pueblo Acanilado, Alicante, Spain, from 6 to 13 October 1993*. Office for Official Publications of the European Communities. Luxemburg. 153-169.
- Jaiyeoba, I. A. & Ologe, K.O. (1990). Soil erodibility measurements in Nigeria. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 34: 307-312.
- Koorevaar, P., Menelik, G., & Dieksen, C. (1983). *Elements of soil physics*. Elsevier Ed. Amsterdam. 227 pp.
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, A. & Martínez Fernández, J. (1991). Soil erosion in a semi-arid mediterranean environment. El Ardal Experimental Field (Murcia, Spain). In: *Soil Erosion Studies in Spain*, M. Sala; J.L. Rubio & J.M. García Ruíz, (Eds.), Geoforma Ediciones, Logroño, 137-152.
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, A., Martínez Fernández, J. & Martínez Fernández, J. (1996). The El Ardal field site: soil and vegetation cover. In: *Mediterranean Desertification and Land Use*, C. Jane Brandt & John B. Thornes (Eds.), John Wiley & Sons, Ltd. London, pp. 114-115.
- Low, A. J. (1954). The study of soil structure in the field and the laboratory. *Journal of Soil Science*, 5: 57-79.
- Luk, S.H. (1979). Effect of soil properties on erosion by wash and splash. *Earth Surface Processes and Landforms*, 4: 241-255.
- MacCalla, J. P. (1944). Water drop method for determining stability of soil structure. *Soil Science*, 85: 261-266.
- Marshall, T. J. & Holmes, J. W. (1988). *Soil Physics*. Cambridge University Press, 344 pp.
- Martínez Fernández, J., López Bermúdez, F., Romero Díaz, A. & Alonso Sarría, F. (1991). El matorral semiárido del Sureste de España. Aportación metodológica para su evaluación. *Studia Œcológica*, VIII: 97-105.
- Martínez Fernández, J., Martínez Fernández, J., López Bermúdez, F. & Belmonte Serrato, F. (1994). «Crecimiento y producción primaria de *Rosmarinus officinalis* en relación con algunos factores ambientales». *Ecología*, 8: 177-183.
- Martínez Fernández, J., López Bermúdez, F., Martínez Fernández, J. & Romero Díaz, A. (1995). «Land use and soil-vegetation relationships in a Mediterranean ecosystem: El Ardal, Murcia, Spain. *Catena*, 25: 153-167.
- Merzouk, A. & Blake, G. R. (1991). Indices for the estimation of interrill erodibility of Moroccan soils. *Catena*, 18: 537-550.
- Miner, W. P. & Summer, M. E. (1988). Dispersion processes affecting runoff and erosion in highly weathered soils. In: S. Rimwanich (Ed.), *Land conservation for future generations*. Bangkok, Department of land Development: 419-427.
- Morgan, R. P. C. (1997). *Erosión y conservación de suelo*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 343 pp.
- Moyano, A. Gallardo J. F. & Prieto, A. (1989). Evaluación del contenido de materia orgánica y su relación con los factores incidentes. *Opciones Mediterráneas*, 3, 179-182.
- Porta Casanellas, J., López-Acevedo Reguerín, M. & Roquero de Laburu, C. (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. 807 pp.
- Römkens, M. J. M., Prasad, S. N. & Whisler, F. D. (1990). Surface sealing and infiltration. In: Anderson, M.G. & Burt, T.P. (Eds.). *Process Studies in Hillslope Hydrology*. Wiley, Chichester. 127.172.
- Scoging, H. (1989). Runoff generation and sediment mobilisation by water. In: Thomas, D.S.G. (Ed.). *Arid zone Geomorphology*. Ed. Belhaven. 87-116.
- Singer, M. J., Blackard, J. & Janitzky, P. (1988). Dithionite iron and soil cation content as factors in soil erodibility. In: De Boodt, M. & Gabriels, D. (eds.). *Assesment of Erosion*. 259-267.
- Smith, G. G., Foley, J. L., & Loch, R. J. (1992). Effects of electrical conductivity of water used in wetting and in wet sieving on measured aggregate water stability. *Soil Technology*, 5: 177-184.
- Tate, R. L. (1987). *Soil Organic Matter. Biological and Ecological Effects*. John Wiley & Sons, New York. 291 pp..
- Tisdell, J. M. & Oades, J. M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 33: 141-163.
- Van Beers, W. F. J. (1980). Soils and soil properties. In: *Drainage Principles and Applications*, ILRI. Wageningen. 1: 33-73.
- Yoder, R. E. (1936). A direct method of aggregate analysis of soils and study of the physical nature of erosion losses. *American Journal of the Society of Agronomy*, 28: 337-351.