

IV Reunión de Geomorfología
Grandal d'Anglade, A. y Pagés Valcarlos, J., Eds.
1996, Sociedad Española de Geomorfología
O Castro (A Coruña)

EROSIONABILIDAD DEL SUELO A LO LARGO DEL GRADIENTE CLIMÁTICO COLL DE RATES- BENIDORM, ALICANTE

Cerdà, A.^{1,2,3}, Calvo, A.¹, Lavee, H.² e Imeson, A.C.³

¹Departament de Geografia. Universitat de València. 22060, 46080-València, Spain

²Department of Geography. Bar-Ilan University 52900, Ramat-Gan, Israel

³F.G.B.L. Universiteit van Amsterdam, Nieuwe Prinsengracht, 130 1018 VZ, Amsterdam, The Netherlands

RESUMEN

Se estudia la influencia del clima sobre la erosionabilidad de los suelos mediante la cuantificación de la estabilidad de los agregados por medio del test de Emerson, por impactos de gotas (CND y TDI) y por ultrasonidos (UD) a lo largo del gradiente climático Coll de Rates-Benidorm. En todos los suelos estudiados la estabilidad de los agregados es muy elevada, lo que hace difícil encontrar diferencias apreciables entre zonas de estudio. Las distintas historias de uso del suelo (incendios, pastoreo, explotación de la biomasa, etc.) ha dado lugar a la inexistencia de la influencia del clima sobre la erosionabilidad de los suelos.

Palabras clave: clima, erosionabilidad, estabilidad de agregados, gradiente, test

ABSTRACT

The influence of climate on soil erodibility is studied by means of aggregate stability measurements with the Emerson, drop impacts (CND y TDI) and ultrasound (UD) tests along the Coll de Rates-Benidorm climatological gradient. The soils have a very high aggregate stability, and this is the reason why there are not clear differences between study zones. The different past land uses (forest fire, grazing, wood exploitation, etc.) have induced the non existence of the influence of climate on soil erodibility.

Key words: climate, erodibility, aggregate stability, gradient, test

INTRODUCCIÓN

CLIMA Y PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS

El clima es uno de los principales factores de los procesos geomorfológicos al estar las tasas de meteorización y erosión, y con ello el desarrollo de la vegetación y los suelos, determinados por la disponibilidad de agua y por la temperatura. El clima es el factor más importantes en el desarrollo del suelo, la

cubierta vegetal, la flora, la fauna, etc. (MARGALEF, 1986), lo que desde un punto de vista geomorfológico se ve reflejado en las denominadas regiones morfogenéticas, concepto desarrollado por los geomorfólogos en los años 40 y 50 (LEOPOLD *et al.*, 1964). El análisis de las relaciones entre el clima y los procesos de erosión fluvial han confirmado el control ejercido por el clima sobre los procesos y las formas resultantes (FOURNIER, 1960; LANGBEIN y SCHUMM, 1968; DENDY y BOLTON, 1976; DOUGLAS, 1977). La definición de zonas morfogenéticas implica que las tasas de actuación de los procesos depende del clima, y que diferentes procesos son dominantes en distintas zonas climáticas.

EROSIONABILIDAD DEL SUELO

La erosionabilidad -como característica del suelo- es una medida de la susceptibilidad al arranque y transporte por los agentes de la erosión. La erosionabilidad del suelo es un efecto integrado de los procesos que regulan la absorción de la lluvia y la resistencia de las partículas del suelo al arranque y posterior transporte. Estos procesos están influidos por las propiedades del suelo tales como tamaño de partículas, estabilidad de agregados, materia orgánica, y por el tipo de arcillas o por características edáficas que afectan la estructura del suelo, la dispersión y la transmisión de agua (LAL, 1994). Hay pocos métodos válidos para la medición de la erosionabilidad del suelo porque la mayoría reflejan una multitud de factores que no son intrínsecamente la erosionabilidad. Las mediciones de la erosionabilidad deben realizarse bajo condiciones conocidas para evitar cambios en la intensidad y volumen de la lluvia, lo que es conocido como erosionabilidad. La medición de la estabilidad de los agregados permite cuantificar la erosionabilidad de los suelos al ser una característica sintética del ecosistema suelo y evitar la influencia directa de otros factores -como la pedregosidad, la hojarasca o la vegetación- durante la medición. La adecuación de la estabilidad de agregados como indicador de la erosionabilidad de los suelos ha propiciado el desarrollo de distintos test evaluadores de la resistencia de los agregados (MCCALLA, 1944; LOW, 1954; 1955; EDWARDS y BREMMER, 1964; 1967; GENRICH y BREMMER, 1972; NORTH, 1976; BERGSMA y VALENZUELA, 1981; EGASHIRA *et al.*, 1983; IMESON y VIS, 1984; CERDÀ, 1994).

AGREGACIÓN

Los agregados del suelo constituyen una interfase entre la componente biótica y abiótica del medio edáfico. Así, los agregados se pueden formar a partir de procesos físicos y químicos (ciclos de hielo-deshielo, humectación-desecación, efecto de las sales, etc.), aunque parece demostrado que es la componente biótica la que desarrolla los agregados más estables. Además de la unión mecánica generada por las raíces y las hifas de los hongos, la mayoría de los microorganismos existentes en el suelo generan sustancias a partir de restos orgánicos que actúan como cementantes, favoreciendo la formación de los agregados. En él, se resumen aspectos como la actividad de la micro o mesofauna, la cubierta vegetal y el grado de antropización del suelo (CERDÀ *et al.*, 1994; en prensa), etc. Además, la estabilidad de los agregados está directamente relacionada con la capacidad del suelo para absorber y almacenar agua (IMESON, 1984, CERDÀ, 1993a). En climas semiáridos como el estudiado, la disponibilidad de agua es el factor determinante

en el desarrollo de la vida, por lo que el clima -a través de la biota- debe controlar la erosionabilidad de los suelos.

GRADIENTES CLIMÁTICOS Y CAMBIOS EN EL CLIMA

Las relaciones entre las condiciones climáticas y los procesos ecológicos son básicos para entender los pasados y los futuros cambios ambientales. Tales relaciones son de especial interés para los geomorfólogos, aunque la información disponible es limitada para validar la influencia del clima (o cambio climático) sobre los procesos geomórficos. Esto obliga a hacer generalizaciones muy vagas. Información como la aquí aportada permitirá calibrar y validar modelos que predigan el impacto geomórfico del cambio climático.

Con el fin de analizar las relaciones entre el clima y los procesos geomórficos se analiza la erosionabilidad de los suelos a lo largo de gradientes climáticos. Esto permite comparar zonas bajo distintas condiciones climáticas en un territorio reducido. Esta metodología se está aplicando en distintas zonas alpinas donde debido a la conformación geológica existen abruptos transectos altitudinales que dan lugar a gradientes climáticos. Estudios basados en esta aproximación se han realizado en Israel (LAVÉE *et al.*, 1991; CERDÀ y LAVÉE, 1995; en prensa), en Creta (BOIX *et al.*, 1995c; BOIX *et al.*, 1995d), en el sudeste peninsular (CALVO *et al.*, 1994; BOIX *et al.*, 1994; BOIX *et al.*, 1995; SORIANO *et al.*, 1995a; 1995b; IMESON *et al.*, en prensa) y en el sur de Bolivia (CERDÀ, 1995).

OBJETIVOS

En este trabajo se investigan las relaciones entre la erosionabilidad del suelo y el clima. Para ello se estudia la estabilidad de los agregados como parámetro de la erosionabilidad del suelo y la precipitación media anual como indicador de las diferencias climáticas entre zonas. Se seleccionó un gradiente climático entre Benidorm y Coll de Rates en el norte de la provincia de Alicante, donde la precipitación media anual oscila entre unos 300 mm a 40 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m) en Benidorm y 900 mm a 620 m s.n.m. en Coll de Rates, en una distancia de tan sólo 20 km. (Fig. 1).

ÁREA DE ESTUDIO

Del gradiente climático Benidorm-Coll de Rates forman parte las dos zonas mencionadas anteriormente además de Benissa como zona intermedia. El roquedo corresponde en todos los casos a margas y los suelos no han sido roturados.

Coll de Rates (RT) está situada en la parte más alta del transecto, en el núcleo de máximas precipitaciones del País Valenciano. Aunque no hay datos pluviométricos en la zona, los observatorios cercanos (Tormos, 918 mm; Pego, 816 mm; Tàrbena, 826 mm) -situados a cotas inferiores- indican que la precipitación media anual en la ladera sur estudiada debe ser de unos 900 mm (Pérez Cueva, 1994). La cubierta vegetal es un matorral muy degradado debido a la explotación tradicional (carboneo, pastoreo, etc.) y a los recurrentes incendios forestales en la actualidad. Las especies más abundantes son *Ulex parviflorus*, *Rosmarinus officinalis* y *Quercus coccifera*. El suelo es poco pedregoso en superficie (5 %) y tiene contenidos elevados de materia orgánica en superficie (6-10 %). Su profundidad

alcanza los 30-40 cm.

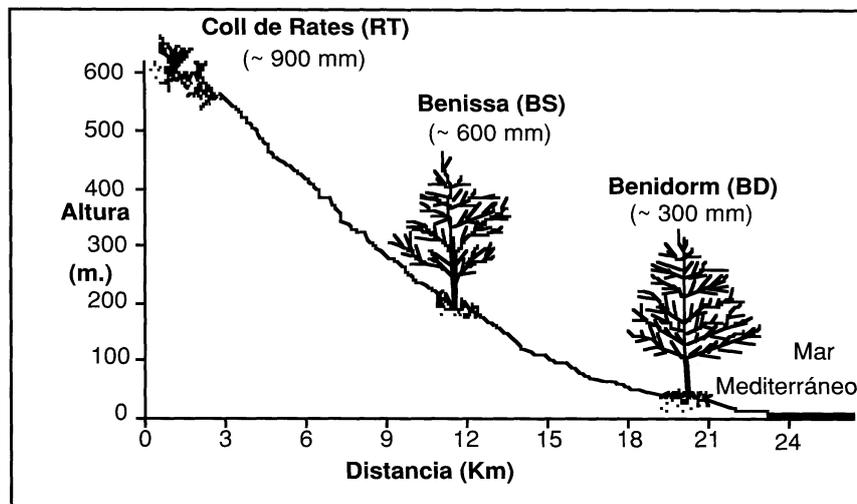


Figura 1. Croquis del gradiente climático Coll de Rates-Benidorm y precipitaciones medias estimadas

Benissa (BS) está situada en una zona intermedia al este del transecto Coll de Rates-Benidorm (Fig. 1), a una altura de 200 m s.n.m. La precipitación media anual en el observatorio de Benissa -a 3 km de la zona de estudio- es de 592 mm (~600 mm). La zona de estudio se encuentra en un pequeño bosque de pinos rodeado de cultivos en la zona denominada *Tossalet del Pinar*. Además de *Pinus halepensis*, existe una importante cubierta de matorral y herbáceas (*Rosmarinus officinalis*, *Fumana ericoides*, *Anthyllis cystisoides*, *Brachypodium retusum*, etc.). El suelo presenta una profundidad de unos 30 cm y los horizontes están poco diferenciados. El contenido en materia orgánica es del 4-6 %.

Benidorm (BD) está situada junto a la ciudad del mismo nombre a una altura de 40 m s.n.m. De los observatorios pluviométricos situados en ambientes semejantes respecto al gradiente climático se desprende que la precipitación media anual en la zona de Benidorm debe ser de unos 300 mm. Alicante ciudad dispone de dos observatorios: Ciudad Jardín (325 mm) y El Altet (275 mm). Un poco más al norte, pero también junto a la costa se encuentra Altea, donde la precipitación media anual es de 386 mm (PÉREZ CUEVA, 1994). La ladera seleccionada está al norte de la ciudad de Benidorm, en un bosque de *Pinus halepensis* donde también existe una importante cubierta de matorral y herbáceas (*Rosmarinus officinalis*, *Ulex parviflorus*, *Thymus Vulgaris*, *Brachypodium retusum*, etc.). El suelo presenta una profundidad de unos 25 cm y los horizontes están poco diferenciados. El contenido en materia orgánica es del 2-4 %.

La existencia de un gradiente climático no sólo se confirma por la dispar precipitación media anual en cada una de las zonas: ~300, ~600 y ~900 mm en Benidorm, Benissa y Coll de Rates respectivamente. Además, la temperatura media anual varía entre 18 °C en Benidorm, 16 °C en Benissa y unos 14 °C en Coll de Rates, lo que incrementa la aridez de las zonas menos lluviosas al aumentar las

tasas de evapotranspiración. Otros trabajos confirman las anteriores afirmaciones (SORIANO *et al.*, 1995b) en un paisaje montañoso en el cual los datos meteorológicos son escasos. Los datos hasta ahora presentados muestran una influencia clara del clima sobre algunos parámetros de la calidad del suelo. De la zona más árida a la más húmeda se produce un aumento de la profundidad y del contenido de materia orgánica. Además la composición florística es muy distinta. Las series de vegetación a las que corresponden son *Chamaeropo-Rhamnetum lycioides*, *Quercu cocciferae-Pistacietum lentisci* y *Rubio longifoliae-Quercetum* respectivamente para Benidorm, Benissa y Coll de Rates (COSTA, 1986). La vegetación actual está muy influenciada por el uso antrópico del medio. Los incendios forestales recientes han reducido la cubierta vegetal y alterado la composición florística en Coll de Rates, mientras que en Benidorm y Benissa la predominante cubierta de pinar no es la vegetación potencial y está relacionada con la masificación de esta especie en la Península Ibérica.

MÉTODOS

En todas las zonas de estudio se seleccionaron suelos localizados en las partes altas de las laderas sur con el fin de que los depósitos coluviales no influyesen en la calidad y estructura de los suelos. Además de la descripción según (F.A.O.-U.N.E.S.C.O., 1988), en todos los casos se seleccionaron por tamizado manual agregados entre 4 y 4,8 mm, eliminándose la pedregosidad. Se tomaron muestras del horizonte superficial (0-5 cm) y a dos profundidades (10-15 cm y 20-25 cm), aunque desde el punto de vista de la erosionabilidad son los primeros centímetros del suelo los más importantes. El test de Emerson consiste en anotar el estado del agregado sumergido en agua destilada a distintos intervalos de tiempo (EMERSON, 1967). En el test modificado utilizándose realiza la evaluación del estado del agregado inmediatamente después de sumergirlo y a los 5 minutos, 2 horas y 24 horas (Cerdà, 1994). Otras dos pruebas de laboratorio: test por goteo y por ultrasonidos también han sido aplicados a todas las muestras. El procedimiento para estos últimos ha sido el siguiente:

-Estabilidad ante **impactos de gotas** (IMESON y VIS, 1984):

a) Test **CND** (*Counting the Number of Drop-impacts*). Se contabiliza el número de impactos de gotas (de 1 g y desde una altura de 1 m) necesarias para la rotura o dispersión de un agregado (contabilizadas hasta 200 impactos). Este experimento se repite al menos veinte veces, lo que permite caracterizar cada muestra con una curva de estabilidad para distintos niveles de energía. El test se repite para agregados secos y húmedos (pF1), con el fin de conocer su comportamiento en ambos estados, al inicio y durante la lluvia respectivamente. Con este test se pretende reproducir el proceso natural de destrucción de los agregados por los impactos de las gotas, y con él se evalúa la resistencia de los agregados ante lluvias de distinta intensidad y duración.

b) El test **TDI** (*Ten Drop Impacts*) consiste en someter a un agregado al impacto de 10 gotas, y contabilizar la proporción de la muestra dispersada-agregada.

-**Test por ultrasonidos (UD, Ultrasonic Dispersion)** (CERDÀ, 1993b; 1994). Con él se mide la resistencia de los agregados ante la radiación por ultrasonidos (EDWARDS y BREMMER, 1967; GENRICH y BREMMER, 1972; NORTH, 1976). El

método consiste en someter a 10 agregados, previamente humectados a pF1, a distintas intensidades de radiación (de 30 a 115 vatios). La prueba se realiza sumergiendo la sonda de los ultrasonidos a 10 mm de profundidad en una columna de agua de 40 mm de profundidad (40 ml de volumen), y en la que los agregados se encuentran en el fondo del recipiente. Posteriormente se contabilizan los agregados no dispersados y la proporción de la muestra dispersada-agregada.

RESULTADOS

En el test de Emerson -aplicado para todas las muestras- nunca se encontraron agregados dispersados durante las mediciones, e incluso después de 24 horas la turbidez del agua era insignificante. A continuación se procedió con los restantes tests para conocer las diferencias entre las zonas de estudio, los horizontes y la influencia de la humedad previa.

Test CND (*Counting the Number of Drop-impacts*)

Los resultados del test CND se presentan en la figura 2 para cada uno de los horizontes muestreados en cada zona de estudio y en seco o húmedo (pF1). En seco no se distinguen diferencias claras entre los distintos horizontes y las diferencias entre zonas son insignificantes (Tabla 1). En Coll de Rates, la estabilidad de los agregados aumenta progresivamente en profundidad. En Benissa, el horizonte intermedio es el más estable, mientras que en Benidorm la estabilidad de los agregados decrece en profundidad. Este esquema es válido tanto para las mediciones realizadas en húmedo como en seco. En todos los casos los suelos son más estables en húmedo que en seco, llegándose a necesitar hasta casi el doble de impactos de gota para producir la rotura de los agregados en húmedo.

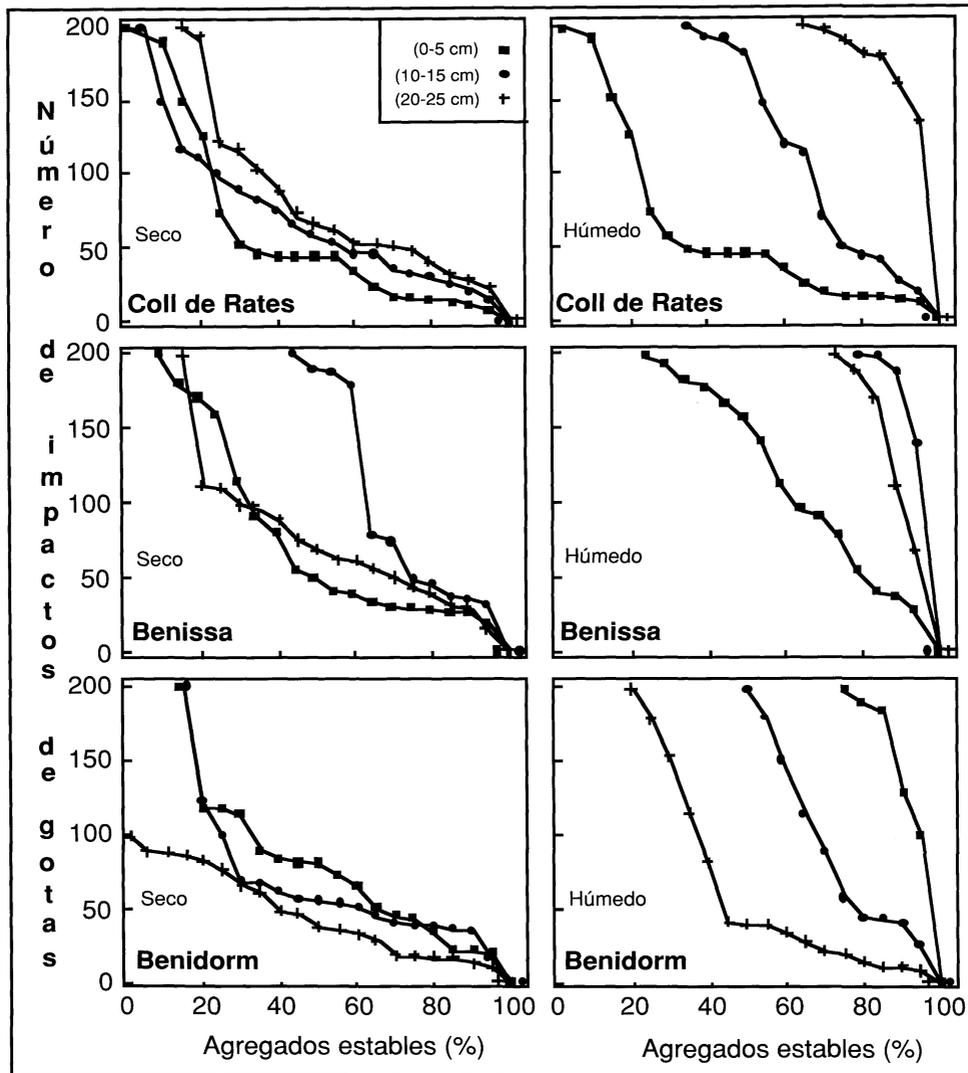


Figura 2. Número de impactos de gotas necesario para romper un determinado porcentaje de agregados

Por zonas, y en término medio -tanto en seco como en húmedo- Benissa es la zona más estable. Coll de Rates y Benidorm por este orden, presentan suelos menos estables. Las diferencias son reducidas, especialmente si se tiene en cuenta que sólo la muestra BS2 tiene un comportamiento distinto al resto de muestras. El horizonte superficial -el más importante para entender los procesos de erosión de los suelos- es menos estable en Benissa y en Coll de Rates que en Benidorm. Esta relación se encuentra tanto en seco como en húmedo.

Zona	Coll de Rates		Benissa		Benidorm	
Muestra	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo
0-5 cm	68	126	90	139	93	190
10-15 cm	78	140	145	196	84	148
20-25 cm	96	192	92	187	62	119
Media	80,6	152,6	109	174	96,7	152,3

Tabla 1. Número de impacto de gotas medio en cada horizonte y zona de estudio tanto en seco como en húmedo. Test CND

Zona	Coll de Rates		Benissa		Benidorm	
Muestra	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo
0-5 cm	70	84	93	93	75	93
10-15 cm	93	94	61	83	89	98
20-25 cm	89	95	69	91	81	82
Media	84	91	74,3	89	81,7	91

Tabla 2. Porcentaje de muestra estable (en forma de agregados) después del impacto de 10 gotas de 1 g precipitadas desde 1 metro de altura. Test TDI

Test TDI (*Ten Drop-impacts*)

El test TDI informa del comportamiento de los suelos ante chaparrones de reducida magnitud y alta frecuencia debido al reducido número de gotas que se precipitan sobre el agregado. En la tabla 2 se puede comprobar que gran parte de la muestra sufre insignificantes pérdidas tras los diez impactos de gota. En húmedo, tan sólo se erosiona el 10 % de la muestra, mientras que en seco se alcanza el 20 %.

En valores medios entre zonas de estudio no hay grandes diferencias cuando el experimento se realiza en húmedo. En general todos los suelos y todos los horizontes son muy estables. En seco, paradójicamente, el suelo más inestable es Benissa, al contrario de lo visto en el test CND. Las diferencias encontradas en término medio pueden ser debidas a la muestra BD2, la cual presenta una elevada estabilidad en el test CND y muy baja en el test TDI.

En cuanto al horizonte superficial, Benissa mantiene la elevada estabilidad (93 % de agregados estables en seco y húmedo), mientras que Coll de Rates es el suelo más inestable (70 % en seco y 84 % en húmedo) y Benidorm (75 y 93 % respectivamente) tiene un comportamiento muy estable en húmedo.

Hay obviamente una relación positiva entre los test CND y TDI (Fig. 2). Esta relación es poco significativa debido a la existencia de una muestra (BD2) que responde de forma contrastada ante cada uno de los dos test aplicados.

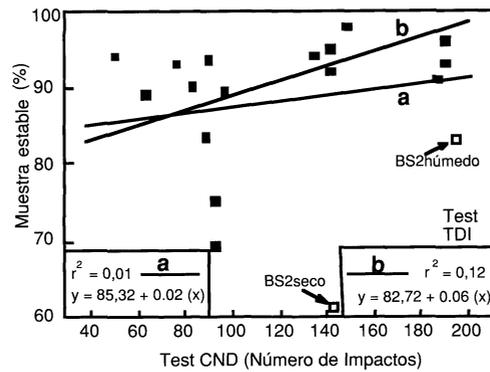


Figura 3. Relación entre el número de impactos de gotas medio (Test CND) y porcentaje de muestra estable después de diez impactos de gotas (Test TDI). Teniendo en cuenta la muestra BS2 (a) y sin ella (b)

Test UD (*Ultrasonic Dispersion*)

El test por ultrasonidos se aplicó sólo a la muestra del horizonte superficial, la más directamente relacionada con la erosionabilidad del suelo. Los experimentos demuestran que en casi todas las intensidades de energía aplicada es Benidorm el más estable. A Benidorm le sigue Benissa y finalmente Coll de Rates que se muestra mucho más inestable (Fig. 4).

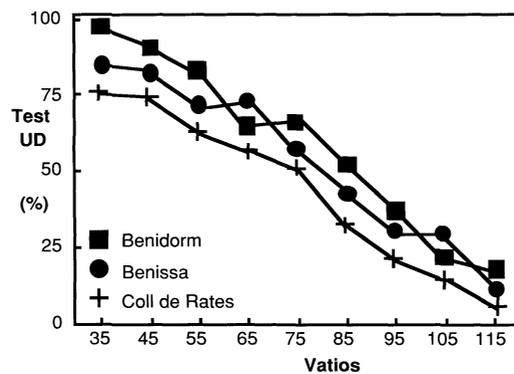


Figura 4. Porcentaje de muestra estable después de la aplicación durante 10 segundos de una determinada energía (wattios) por medio de la sonda de ultrasonidos

DISCUSIÓN

La no dispersión de los agregados ante el agua -como demostró el test de Emerson- indica que para que los agregados de las zonas estudiadas se rompan es necesaria la presencia del impacto de las gotas, de la escorrentía superficial, u otras fuerzas que superen la cohesión entre partículas. En otros ambientes del sudeste peninsular existen suelos en los que los agregados se dispersan rápidamente al

entrar en contacto con el agua destilada (CERDÀ, 1993c), lo que demuestra la elevada estabilidad de los agregados del gradiente climático Coll de Rates-Benidorm. Este comportamiento de los agregados informa de la elevada estabilidad y con ello la reducida erosionabilidad de estos suelos (IMESON *et al.*, en prensa). Los test TDI, CND y UD confirman la elevada estabilidad de los agregados frente a otros casos estudiados en zonas cercanas y sobre margas (CERDÀ, 1993a; 1993c; en prensa; GERITS, 1991; IMESON y VERSTRATEN, 1985; 1988; 1989), y los resultados los hacen comparables con los suelos desarrollados sobre calizas y arcillas del Keuper (CERDÀ, 1993a). La baja erosionabilidad de los suelos estudiados da lugar a que las diferencias entre ellos sean reducidas, y por ello poco claras.

En teoría, la erosionabilidad de los suelos debería decrecer desde la zona más húmeda a la más árida debido a la influencia positiva del clima más húmedo (mayor cubierta vegetal y contenido en materia orgánica) en la formación de agregados (ZHANG, 1994). En otras zonas del planeta, y en gradientes climáticos semejantes se ha confirmado este comportamiento: en el Desierto de Judea en Israel (LAVEE *et al.*, 1991), en la comarca de la Marina, Alicante (CALVO *et al.*, 1994) y en las estribaciones este de los Andes en el sur de Bolivia (CERDÀ, 1994). Respecto a la estabilidad de los agregados algunos transectos muestran comportamiento contradictorios, como ocurre en el de la Marina en Alicante (BOIX *et al.*, 1994).

En el transecto estudiado, la existencia de incendios forestales ha provocado que la zona más húmeda -Coll de Rates- presente horizontes superficiales más frágiles debido al fuego (ÚBEDA *et al.*, 1990; CERDÀ, 1993b). Ello hace que los horizontes más estables se encuentren en profundidad. En la zona más árida, Benidorm, la formación de costras superficiales favorecen horizontes mucho más resistentes, dando lugar a agregados más estable en superficie. En otros trabajos en un gradiente semejante sobre calizas se comprobó que la zona de Benidorm presenta tasas de erosionabilidad menores debido a la formación de agregados por la acción de las lombrices (BOIX *et al.*, 1994).

El resultado final es la inexistencia de una tendencia clara a lo largo del gradiente climático (incluso una tendencia contraria en algunos test a la esperada), posiblemente debido al uso antrópico del medio: expansión de *Pinus halepensis*, incendios forestales, explotación del matorral como combustible, carboneo, pastoreo, etc. Estos usos tradicionales del suelo han debido alterar la erosionabilidad de los suelos, lo que hace que en la situación actual el factor determinante de las diferencias entre las distintas zonas no sea el clima. En Creta, BOIX *et al.*, (1995) encontraron un comportamiento similar debido al sobrepastoreo de las zonas más húmedas, y por ello con un mayor potencial de producción de biomasa. También en zonas del gradiente climático del Desierto de Judea en Israel, el sobrepastoreo en algunas zonas ha favorecido mayores tasas de erosión en zonas intermedias (CERDÀ y LAVEE, 1995; en prensa).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto ERMES II (ENV-CT95-0181).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERGSMA, E. y VALENZUELA, C.R. (1981): Drop testing aggregate stability of some soils near Merida, Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6, 309-318.
- BOIX, C., CALVO, A., SORIANO, M.D. y TIEMESSEN, I. (1994): Variabilidad espacio temporal de la agregación de suelos en laderas mediterráneas. En J. Arnáez, J.M. García Ruiz y A. Gómez Villar, (Eds.): *Geomorfología en España*, 289-302.
- BOIX, C., CALVO, A., CERDÀ, A., IMESON, A.C., SORIANO, M.D. y TIEMESSEN, I.R. (1995a): Vulnerability of Mediterranean ecosystems to climatic change, study of soil degradation under different climatological conditions in an altitudinal transect in the south east of Spain. En Zwerver, S., van Rompaey, R.S.A.R., Kok, M.T.J. and Berk, M.M. (Eds.): *Climate Change Research. Evaluation and Policy Implications*, 763-766.
- BOIX, C., CALVO, A., IMESON, A.C. y SORIANO, M.D. (1995b): Climatic and altitudinal effects on soil aggregation in slopes of Mediterranean environment. *Physics and Chemistry of the Earth*, 20 (3-4) 287-292
- BOIX, C., SORIANO, M.D., CALVO, A., IMESON, A.C., SCHOORL, J.M. y TIEMESSEN, I.R. (1995c): Estudio de la agregación de los suelos y su respuesta a la lluvia simulada en un gradiente altitudinal en Creta (Grecia). *Cuaternario y Geomorfología*, 9, 27-38.
- BOIX, C., CALVO, A., IMESON, A.C., SCHOORL, J.M., SORIANO, M.D. y TIEMESSEN, I.R. (1995d): Properties and erosional response of soils in a degraded ecosystem in Crete (Greece). *Environmental Monitoring and Assessment*, 37, 79-92.
- CALVO, A., SORIANO, M.D., BOIX, C. y TIEMESSEN, I.R. (1994): Suelos y procesos geomórficos en un gradiente climático altitudinal (Alicante). En J. Arnáez, García-Ruiz, J.M. y Gómez Villar, A. (Eds.): *Geomorfología de España*, 29-39.
- CERDÀ, A. (1993a): *La infiltración en los suelos del País Valenciano. Factores y variaciones espacio-temporales*. Tesis Doctoral Inédita, Universitat de València, 357 p + apéndices.
- CERDÀ, A. (1993b): Incendios forestales y estabilidad de agregados. *Cuadernos de Geografía*, 53, 1-16.
- CERDÀ, A. (1993c): Estabilidad de agregados en suelos degradados. *Nuevos procesos territoriales*, 187-192.
- CERDÀ, A. (1994): Aplicación del test de la gota y de la dispersión por ultrasonidos para la determinación de la estabilidad de los agregados en suelos sobre calizas afectados por fuego. *Cuaternario y Geomorfología*, 8 (1-2) 69-85.
- CERDÀ, A. (1995): Efectos del manejo sobre la estabilidad de los agregados del suelo en el Valle del Río Camacho, Sur de Bolivia. Informe del proyecto: *Estrategias de los agricultores y sistemas de producción agropecuaria en ambientes frágiles de áreas de montaña en Latinoamérica*, 60 p.
- CERDÀ, A. (en prensa): Soil aggregate stability in three mediterranean environments. *Soil Technology*, 80.
- CERDÀ, A. y LAVEE, H. (1995): Escorrentía y erosión en los suelos del Desierto de Judea. *Geographicalia*, 32, 17-36.
- CERDÀ, A. y LAVEE, H. (en prensa): Dinámica hidrológica y erosiva de los suelos a lo largo de un gradiente climático en el Desierto de Judea. *Pirineos*.
- CERDÀ, A., GARCÍA-ALVAREZ, A. CAMMERAAT, L.H. y IMESON, A.C. (1994): Agregación del suelo en una catena afectada por el abandono del cultivo en la cuenca del Guadalentín (Murcia). I. Estabilidad y distribución de los agregados del suelo. En García Ruiz, J.M. y Lasanta, T. (Eds): *Consecuencias Geomorfológicas del abandono de tierras*, 9-19.
- CERDÀ, A., GARCÍA-ALVAREZ, A. CAMMERAAT, L.H. y IMESON, A.C. (en prensa): Agregación del suelo en una catena afectada por el abandono del cultivo en la cuenca del

- Guadalentín (Murcia). II. Fluctuación estacional y dinámica microbiana. *Pirineos*.
- COSTA, M. (1986): *La vegetación en el País Valenciano*. Universitat de València. Servicio de Publicaciones.
- DENDY, F.E. y BOLTON, G.C. (1976). Sediment yield-runoff drainage area relationship in the United States. *Journal of Soil and Water Conservation*, 31, 264-266.
- DOUGLAS, I. (1977). *Humid Landforms*. Australian National University Press, Canberra, 288 pp.
- EDWARDS, A.P. y BREMMER, J.M. (1967): Microaggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 18, 64-73.
- EDWARDS, A.P. y BREMNER, J.M. (1964): Use of sonic vibration for separation of soil particles. *Canad. J. Soil Sci.* 44, 366.
- EGASHIRA, K., KAETZU, Y. y TAKUMA, K. (1983): Aggregate stability as an index of erodibility of Ando soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 29 (4) 473-481.
- EMERSON, W.W. (1967): A classification of soil aggregates based on their coherence in water. *Aust. J. Soil. Res.*, 5, 47-57.
- F.A.O.-U.N.E.S.C.O. (1988): *Soil Map of the World*. 1:5.000.000. I. Revised Legend. Roma.
- FOURNIER, F. (1960): *Climat et Erosion*. Paris, Presses Universitaires de France, 204 pp.
- GENRICH, D.A. y BREMMER, J.M. (1972a): Effect of probe condition on ultrasonic dispersion of soil by probe-type ultrasonic vibrations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36, 975-76.
- GERITS, J.J.P. (1991): *Physico-chemical thresholds for sediment detachment, transport and deposition*. Universiteit van Amsterdam, Amsterdam, 186 pp.
- IMESON, A.C. (1984): An eco-geomorphological approach to the soil degradation and erosion problem. En Fantechi, R. y Margaris, N.S. (Eds.): *Desertification in Europe*, 110-125.
- IMESON, A.C. y VIS, M., 1984. Assessing soil aggregate stability by water-drop impact and ultrasonic dispersion. *Geoderma*, 34, 185-200.
- IMESON, A.C. y VERSTRATEN, J.M. (1985): The erodibility of highly calcareous soil material from southern Spain. *Geoderma*, 34, 185-200.
- IMESON, A.C. y VERSTRATEN, J.M. (1988): Rills on badland slopes: a physico-chemical controlled phenomenon. *Catena supplement* 12, 139-50.
- IMESON, A.C. y VERSTRATEN, J.M. (1989): The microaggregation and erodibility of some semi-arid and mediterranean soils. *Catena supplement* 14, 11-24.
- IMESON, A.C., LAVEE, H., CALVO, A. and CERDÀ, A. (en prensa): The erosional response of calcareous soils along a climatological gradient in southeast Spain. *Geomorphology*.
- LAL R. 1994. *Soil erosion research methods*. Soil and Water Conservation Society (Ankeny), 3th edition St. Lucie press, Delray Beach, 340 pp.
- LANGBEIN, W.B. y SCHUMM, S.A. (1958). Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Transactions of the Amer. Geophys. Union*, 51, 292.
- LAVEE, H., IMESON, A.C., PARIENTE, S. y BENYAMINI, Y. (1991): The response of soils to simulated rainfall along a climatological gradient in an arid and semiarid region. *Catena Supplement*, 19, 19-37.
- LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G. y MILLER, J.P. (1964): *Fluvial Processes in Geomorphology*. San Francisco, 522 pp.
- LOW, A.J. (1954): The study of soil structure in the field and the laboratory. *Journal of Soil Science*, 5 (1) 19-54.
- LOW, A.J. (1955): Improvements in the structural state of soils under leys. *Journal of Soil Science*, 6 (2) 179-99.
- MARGALEF, R. (1986): *La Ecología*. Barcelona, Omega.
- MCCALLA, T.M. (1944): Water drop method of determining stability of soil structure. *Soil Science*, 58, 117-121
- NORTH, P.F. (1976): Towards an absolute measurement of soil structural stability using ultrasound. *Journal of Soil Science*, 27, 451-9.

- PÉREZ CUEVA, A. J. (1994). *Atlas climático de la Comunidad Valenciana*. Generalitat Valenciana, València, 205 pp. .
- SORIANO, M.D., CALVO, A., BOIX, C. CERDÀ, A., y IMESON, A.C. (1995a): Human impact in soils and land use in the degradation of Mediterranean ecosystems. Proceedings of the International Conference on Erosion and Degradation in the Mediterranean, 573-580.
- SORIANO, M.D., CALVO, A., BOIX, C., y IMESON, A.C. (1995b): Effect of climate on some soil properties and related thresholds controlling the erosional response of soils in a limestone area. *Physics and Chemistry of the Earth*, 20 (3-4) 281-286.
- UBEDA, X., SALA, M. y IMESON, A. (1990): Variaciones en la estabilidad y consistencia de un suelo forestal antes y después de ser sometido a un incendio. *1ª Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel, 677-685.
- ZHANG, H. (1994). Organic matter incorporation affects mechanical properties of soil aggregates. *Soil and Tillage Research*, 31, 263-275.