

## RELACIÓN ENTRE LA TENDENCIA AL ENCOSTRAMIENTO SUPERFICIAL Y EL PORCENTAJE DE AGREGADOS ESTABLES EN SUELOS DE LA COMUNIDAD DE MADRID

F. PEREGRINA ALONSO<sup>1</sup>, T. TEREFE WONDAFRASH<sup>1</sup>, J. SANTANO ARIAS<sup>1</sup>, F. SAN JOSE MARTINEZ<sup>2</sup>, M.A. MARTÍN MARTIN<sup>2</sup>, R. ESPEJO SERRANO<sup>1</sup>

1: Dpto. Edafología; 2: Dpto. Matemática Aplicada. ETSI Agrónomos; Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid.

**Abstract.** The relationship between the tendency to crust development and the content in water stable aggregate (Kemper and Rosenau method) is studied in 35 soil samples from different lithological areas of the Comunidad de Madrid. The two crusting indices used, the FAO – PNUMA index and another one modified from the former, have very low relationship to the percentage of water stable aggregates when we consider all the 35 samples together but some tendencies and differences appear when we group the soils according to their parent materials.

**Key words:** Crusting index; aggregate stability, lithology; silt; organic matter.

**Resumen.** Se hace un estudio sobre 35 suelos de la Comunidad de Madrid representativos de diferentes dominios litológicos en el que se relaciona la tendencia al encostramiento superficial con el contenido en agregados estables al agua (método de Kemper y Rosenau). Los dos índices de encostramiento utilizados, el de FAO-PNUMA y otro modificado del anterior, dan globalmente muy baja relación con el porcentaje de agregados estables al agua. No obstante, cuando se agrupan los suelos por rocas madres afines se detectan diferencias.

**Palabras Clave:** Encostramiento; estabilidad agregados; litología; limo; materia orgánica.

### INTRODUCCION

En los ambientes mediterráneos áridos y semiáridos, la formación de costras en la superficie del suelo, es uno de sus principales mecanismos de degradación, y es el resultado de la separación, arrastre y sedimentación de las partículas finas del mismo, con consecuencias muy negativas para su erosionabilidad, al potenciar en gran medida a la escorrentía superficial (Morgan,

1997). El proceso está muy relacionado con la textura, siendo las partículas tamaño limo y arena fina las que más fácilmente se separan de la matriz del suelo (Poesen, 1992). En ensayos sobre suelos arcillosos para medir la erosión por salpicadura, Torri y Sfalanga (1986), ponen de manifiesto que los sedimentos recogidos están enriquecidos en agregados de 0,063 - 0,5 mm.

El desarrollo de la costra está muy relacionado con la estabilidad de los agregados

y por tanto con los factores de los que esta depende, básicamente, el contenido en arcilla, materia orgánica, oxihidróxidos libres, y composición iónica del complejo de cambio (Kay y Angers, 2000).

Se han establecido diversos índices para evaluar el riesgo de degradación física de los suelos por desarrollo de costra superficial. Por lo general todos ellos consideran al limo como un componente desfavorable y a la arcilla y la materia orgánica como favorables, por la capacidad de estos últimos para generar agregados. De entre ellos, hemos seleccionado el de FAO-PNUMA, 1980:

$$IE = (1,5Lf + 0,75Lg)/(Ac + 10MO)$$

Donde Lf es el porcentaje de partículas de tamaño limo ISSS (2 – 20 mm), Lg es el porcentaje de partículas de tamaño limo grueso (se considera como limo grueso a las partículas de tamaño comprendido entre 20 y 50  $\mu$ m, es decir al Limos USDA -limo ISSS, Ac es el porcentaje de partículas tamaño arcilla, y MO el porcentaje de materia orgánica. Cuanto mayor es el valor del índice, mayor es el riesgo de desarrollo de costra superficial.

En la fórmula, destaca el papel determinante del contenido en materia orgánica; según Ekwe (1990), el desprendimiento de partículas de la matriz del suelo por la acción del impacto de las gotas de lluvia disminuye exponencialmente al aumentar el contenido en materia orgánica entre el 0 y el 12%.

En este trabajo, se estudia, en una población de suelos representativa de las diferentes litologías de la comunidad de Madrid, la relación entre el índice de encostramiento de FAO-PNUMA (IE1), y una adaptación del mismo (IE2), y el porcentaje de agregados estables al agua de Kemper y Rosenau (1986).

## MATERIAL Y METODOS

Para el estudio, se muestrearon los 10 cm superficiales de 35 suelos de la Comunidad de Madrid. Se seleccionaron de forma que estuvieran representadas las diferentes litologías de la comunidad. Los muestreos se realizaron en la primavera de 2002, siempre en zonas no cultivadas en al menos los últimos 5 - 6 años, y en posiciones con pendiente superficial inferior al 5%. También se tuvo en cuenta en la selección de los puntos de muestreo, el mapa de riesgo de encostramiento a escala 1:200.000 de Bienes *et al.* (1994), que establece 5 clases de riesgos: Clase I:  $IE1 < 1,15$ ; Clase II:  $1,16 < IE1 < 1,25$ ; Clase III:  $1,26 < IE1 < 1,55$ ; Clase IV:  $1,56 < IE1 < 1,65$ ; Clase V:  $IE1 > 1,66$ .

En cada punto de muestreo se tomaron, en idénticas condiciones, dos submuestras; en una se determinó la textura, según Kilmer y Alexander, (1949), el contenido en materia orgánica, según Walkley y Black, (1934), el pH, y la conductividad eléctrica en suspensiones suelo/agua de razón 1:2,5. A partir de estos datos se determinaron dos índices de encostramiento, uno IE1, de FAO-PNUMA, y otro,  $IE2 = (1,5Limos\ USDA + Arena\ fina\ USDA)/(Ac + 10MO)$ , modificación del anterior, en el que se le da análoga importancia a las denominadas subfracciones limo fino y limo grueso, que conjuntamente constituyen el limo USDA, y en el que se considera además a la fracción arena fina como factor de riesgo, según lo señalado por Poesen (1992). La otra submuestra se empleó para la determinación del porcentaje de agregados mayores de 250  $\mu$ m, estables al agua, a partir de 4 g de agregados más arena gruesa comprendidos en el intervalo de tamaños 1 - 2 mm, según la metodología de Kemper y Rosenau (1986).

**Tabla 1:** Datos analíticos de las 35 muestras superficiales de suelo (0 – 10 cm) de la Comunidad de Madrid. \*: Suelos, en los que se observó en campo la presencia de costra superficial.

Roca madre	IE1	IE2	Agregados est. (%)
Granitos-gneises-arcosas 15, 18, 19, 20, 24, 25, 26, 27, 30, 31, 32	0,60 0,46 – 0,88	1,258 0,83 – 1,61	81,55 71,4 - 92
Calizas 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 16	0,91 0,66 – 1,07	1,62 1,25 – 1,86	69,9 65,2 – 76,3
Margas – calizas 11, 17, 22	0,88 0,56 – 1,08	1,90 1,18 – 2,44	50,96 45,68 – 57,10
Margas yesíferas 10, 13, 21, 23	1,335 0,94 – 1,99	2,417 1,81-3,03	58,29 51,6 – 65,89
Sedimentos fluv 5, 6, 12, 14	1,3 0,98 – 1,96	2,54 1,90 – 3,92	59,6 49,65 – 70,52
Otros 28, 29, 33, 34, 35	1,15 0,77 – 1,82	2,282 1,36 – 3,21	66,57 50,48 – 80,68

## RESULTADOS Y DISCUSION

La tabla 1 recoge los datos analíticos referentes a los 10 cm más superficiales de los 35 suelos seleccionados. En la columna 2, “suelo”, las filas con asterisco se refieren a aquellos en los que se detectó en campo presencia de costra superficial; al lado de cada suelo, figura la clase correspondiente del mapa de Bienes *et al.* (1994) del punto muestreado.

A grandes rasgos, y en lo que al índice IE1 respecta, según los criterios de Bienes *et al.* (adaptados de los de FAO-PNUMA), destacamos que el 92 % de los suelos de la comunidad de Madrid pertenecerían a la clase I ( $IE1 < 1,15$ ), lo que no refleja para nada lo que dice la cartografía, ni evidencia la realidad. Esta diferencia podría explicarse por el hecho de que para este trabajo, las muestras se tomaron de los 10 cm más superficiales del horizonte A; en dicho espesor el contenido en materia orgánica es superior al del conjunto del horizonte, y en la fórmula del IE1, la materia orgánica juega un papel preponderante.

El índice IE2, da una mayor dispersión de valores (1,01 - 3,92, frente a los 0,50 - 1,92 del IE1) y una información más ajustada a la realidad, principalmente en el caso de los suelos con altos contenidos en limos y en los que las sales pueden favorecer la floculación de las partículas de arcilla a partículas tamaño limo, como en el caso de los suelos desarrollados sobre sedimentos y coluvios margo-yesíferos.

Para este IE2, se proponen las clases: CI:  $IE2 < 1,50$ ; CII:  $1,51 < IE2 < 1,75$ ; CIII:  $1,76 < IE2 < 2,00$ ; CIV:  $2,01 < IE2 < 2,25$ ; CV:  $IE2 > 2,25$ .

Globalmente, no se detectan relaciones lineales significativas entre los índices IE1 e IE2 y el porcentaje de agregados estables al agua. ( $R = -0,48$  en el primer caso y  $R = -0,47$  en el segundo). No obstante, cuando analizamos los datos agrupando los suelos por tipos de rocas madre, se observan ciertas tendencias (Tabla 2).

Así, en el caso de los suelos desarrollados sobre granitos- arkosas - gneises, se obtienen los valores medios mínimos, tanto

**TABLA 2:** Valores medios y extremos de IE1, IE2, y porcentaje de agregados estables, en función del tipo de roca madre del suelo.

Muestra	Suelo	Roca madre	C.E. µS/cm	Aren f 50 - 200 µ	Limo		Arcilla <2µm	M.O.	I.E1/IE2	Arena g >250µm	Agreg.		Agreg. Estab.
					2 - 50 µm	2 - 20 µm					estab.	Inestab.	
					%					g/4g		%	
1	Xerorthent(I)	Calizas	193	19,7	22,3	16,2	18,0	1,87	0,78/1,45	2,13	1,28	0,59	68,50
2	Xerorthent(I)	Calizas	286	31,0	30,1	23,4	22,6	3,81	0,66/1,25	0,83	2,15	1,02	67,80
3	Rhodoxeralf(I)	Calizas	188	29,0	31,5	23,5	24,5	1,65	1,01/1,86	0,81	2,14	1,05	67,08
4	Haploxeralf(I)	Calizas	128	22,2	32,1	23,2	30,7	1,15	0,98/1,66	1,04	1,93	1,03	65,20
5	Xerofluvent(II)	Sedim.Fluviales	219	31,3	36,9	22,5	22,2	1,60	1,16/2,27	0,68	1,97	1,35	59,34
6	Xerofluvent(II)	Sedim.Fluviales	286	29,2	36,7	21,7	24,2	1,61	1,10/2,10	0,66	1,96	1,38	58,70
7	Xerorthent(III)	Calizas	261	19,7	39,3	23,3	13,2	3,05	1,07/1,80	1,09	2,00	0,81	71,17
8	Xerorthents(III)*	Calizas	190	25,9	42,7	23,6	17,4	3,27	0,99/1,80	1,23	1,97	0,70	73,78
9	Haploxeralf(III)	Calizas	179	21,8	34,2	26,1	34,0	1,63	0,90/1,45	0,58	2,38	1,04	69,60
10	Xerorthent(IV)*	Margas yesff	1.934	34,0	40,5	24,5	14,5	2,41	0,94/2,45	0,59	2,11	1,30	61,80
11	Xerorthent(V)*	Calizas/margas	164	27,0	41,5	24,5	15,5	2,11	1,01/2,44	2,02	1,13	0,85	57,10
12	Xerofluvents(V)	Sedim.Fluviales	210	35,0	42,0	23,5	11,5	1,35	1,96/3,92	0,37	2,56	1,07	70,52
13	Calcixeroll(V)*	Margas yesíferas	1.900	29,7	51,0	32,5	17,5	4,10	1,07/1,81	0,13	2,55	1,32	65,89
14	Xerofluvent(II)	Sedim. Fluviales	224	26,2	35,0	19,3	18,8	2,25	0,98/1,90	1,10	1,44	1,46	49,65
15	Haploxerept(II)	Arcosas	43	12,2	13,5	7,1	8,6	1,15	0,76/1,61	3,80	0,16	0,04	80,00
16	Haploxeralf(III)	Calizas	199	33,2	43,1	23,6	20,7	3,77	0,85/1,67	0,13	2,95	0,92	76,23
17	Haploxeralf(III)	Calizas y margas	169	28,2	42,3	21,3	28,2	1,56	1,08/2,09	0,05	1,98	1,97	50,12

TABLA 2. Valores medios y extremos de IE1, IE2, y porcentaje de agregados estables, en función del tipo de roca madre del suelo. (continuación)

Muestra	Suelo	Roca madre	C.E. µS/cm	Aren f 50 - 200 µ	Limo 1 2 - 50 µm	Limo 2 2 - 20 µm	Arcilla <2µm	M.O.	IE1/IE2		Arena g >250µm	Agreg. g/4g		Agreg. Estab. %
									1	2		estab.	Inestab.	
18	Haploxerept(I)	Arcosas	45	11,5	16,3	9,8	9,20	1,30	0,88/1,61	3,05	0,82	0,13	86,31	
19	Xerorthent(V)	Granitos	160	12,0	15,0	7,8	4,0	2,37	0,47/1,24	3,67	0,25	0,08	75,75	
20	Haploxeraf(III)	Granitos-arcosas	100	10,5	19,5	11,5	22,0	1,62	0,59/1,04	2,32	1,20	0,48	71,40	
21	Xerorthents(IV)*	yesos y margas	780	28,0	38,5	26,0	19,0	1,70	1,34/2,38	0,86	1,62	1,52	51,60	
22	Haploxeraf(I)	Calizas y margas	196	28,1	22,5	16,3	32,4	1,97	0,56/1,18	0,76	1,48	1,76	45,68	
23	Xerorthent(V)*	yesos y margas	1.728	29,0	51,5	42,0	7,5	2,76	1,99/3,03	0,64	1,81	1,55	53,87	
24	Xerorthent(I)	Gneises	142	22,0	28,7	17,1	8,3	4,27	0,67/1,27	2,19	1,50	0,31	82,87	
25	Xerorthent(III+I)	Gneises	157	18,0	22,1	13,3	7,8	3,50	0,46/1,19	2,92	0,86	0,22	79,60	
26	Xerorthent(I)	Gneises	333	15,1	18,7	10,1	6,2	3,63	0,51/1,01	3,01	0,80	0,19	80,80	
27	Xerorthent(III)	Gneises	91	15,5	25,3	17,8	6,2	5,80	0,50/0,83	3,45	0,23	0,02	92,00	
28	Xerorthent(I+III)	Colluv. esquistos	171	21,0	36,8	21,0	7,2	4,87	0,77/1,36	2,24	1,42	0,34	80,68	
29	Xerorthent(I+III)	Colluv. esquistos	341	27,0	39,8	23,8	6,2	3,82	1,06/1,95	1,64	1,48	0,88	62,71	
30	Xerorthent(II)	Granitos	32	12,3	10,2	4,0	6,1	1,13	0,49/1,58	2,08	1,63	0,31	84,02	
31	Xerorthent(III)	Granit- esquist	41	20,1	41,2	20,7	12,5	1,30	1,82/3,21	1,50	1,46	1,04	58,40	
32	Xerorthent(I)	Gneises	341	23,4	21,5	12,3	17,3	3,30	0,50/1,10	1,98	1,69	0,33	83,66	
33	Xerofluvent(V)	Terraza baja	111	33,0	42,2	29,3	21,2	3,20	1,12/1,81	0,51	2,88	0,61	82,52	
34	Xerorthent(V)	Esquistos	39	22,7	21,1	9,4	9,4	1,27	1,03/2,46	2,66	1,08	0,26	80,60	
35	Xerorthent(IV)	Pizarras	117	38,2	45,5	22,8	12,3	3,15	1,17/2,43	0,91	1,53	1,56	50,48	

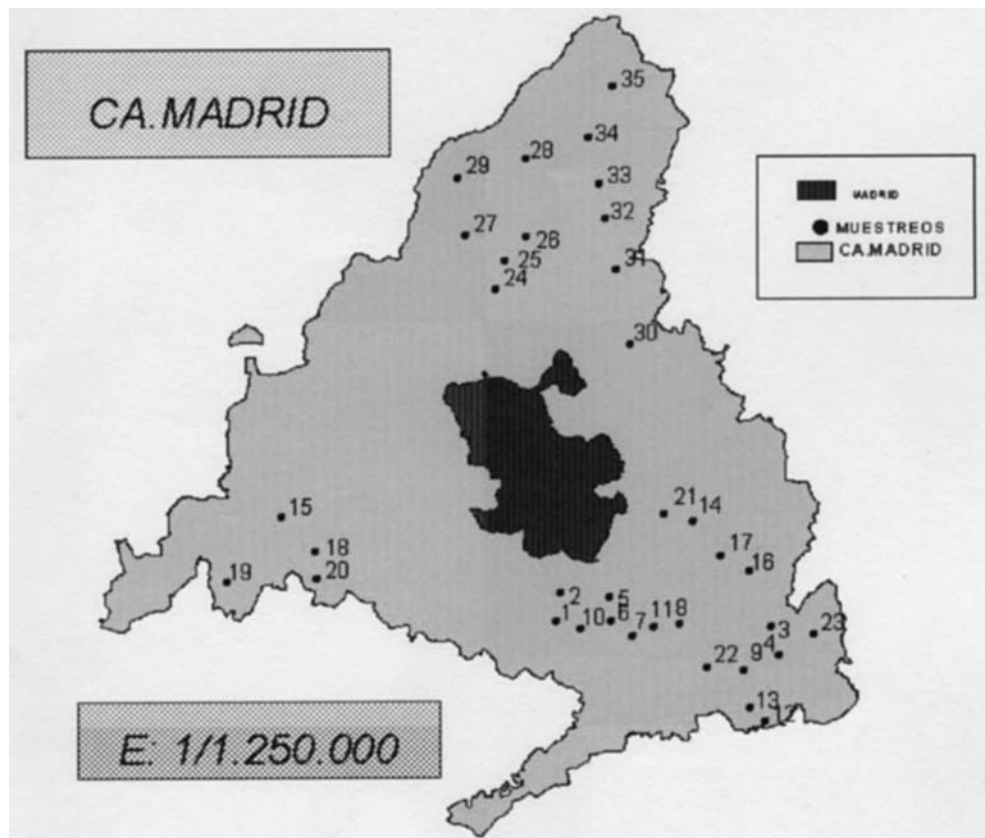


FIGURA 1: Situación de los puntos de muestreo.

para IE1 como para el IE2, lo que es una consecuencia de sus bajos contenidos en limo y arena fina y en algunos casos además de su alto contenido en materia orgánica; estos suelos son los que dan los valores más altos del porcentaje de agregados estables al agua. Desde el punto de vista de riesgo de desarrollo de costra superficial, y según los criterios del IE2, pertenecerían a las clases I y II.

Los suelos desarrollados sobre rocas calizas, muestreados por lo general en los páramos que culminan la serie de sedimentos terciarios y entre los que se encuentran las *terra-rossa* (calcic and petrocalcic Rhodoxeralfs, Soil Survey Staff, 1999), dan también unos valores bajos tanto en el índice IE1 como en el IE2 y unos porcentajes de agregados estables al agua altos, los más

favorables después de los suelos graníticos. En este caso, la saturación del complejo de cambio en Ca (datos no mostrados), es un factor favorable para el desarrollo de agregados estables (Kay and Angers, 2000). Pertenecerían a las clases I, II, y III. Por el contrario, los sedimentos margo - yesíferos dan suelos con valores medios altos de IE1 e IE2 y bajos en el porcentaje de agregados estables al agua; pertenecerían a las clases III, IV, V, con un alto porcentaje de puntos en la clase V.

En el caso de los suelos desarrollados sobre materiales margo - calizos, muy próximos desde el punto de vista geográfico a los margo - yesíferos, extraña que siendo los valores de IE1 e IE2 menores que los de estos últimos, arrojen porcentajes de agre-

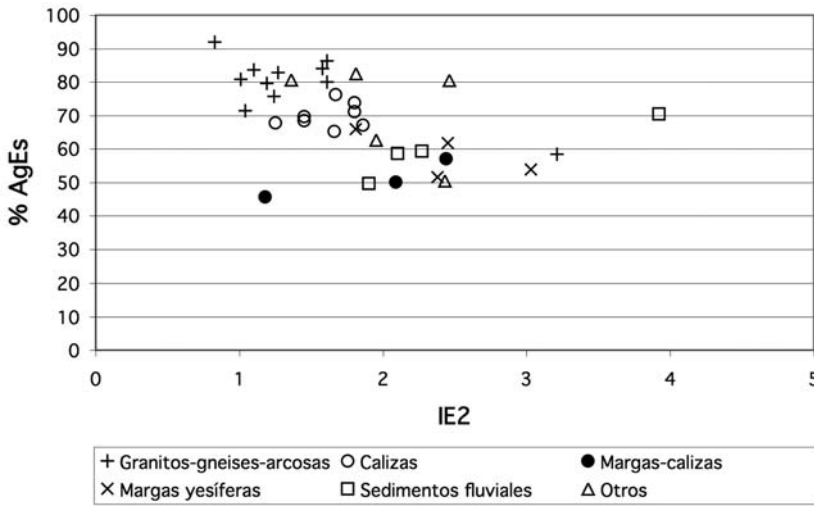


FIGURA 2: Relación entre el % de agregados estables al agua (%agEs), y el índice de encostramiento

gados estables al agua muy inferiores; este comportamiento podría explicarse por la acción cementante del yeso, que genera agregados en el caso de las margas yesíferas, situación que no se da en las margas calizas, como pone de manifiesto el dato de los valores de la conductividad eléctrica de las muestras. Las diferencias entre los valores de los índices de encostramiento de los suelos desarrollados sobre las margas y las margas yesíferas pueden explicarse en parte por que en estas últimas, el exceso de yeso ha podido provocar la floculación de parte de la arcilla que pasaría a engrosar las fracciones más gruesas; en la determinación de la textura no se procedió al lavado previo para eliminar el exceso de yeso. Así en las muestras de suelos con yeso, el contenido medio en arcilla es del 14,6%, mientras que en los margo - calizas es del 25,4%. Estos suelos, presentan una mayor dispersión en lo que a los criterios de clase del IE2, perteneciendo a las clases, I a V.

Los suelos desarrollados sobre sedimentos fluviales, fueron muestreados todos en el SE de la Comunidad de Madrid, donde predominan los materiales terciarios de carácter calizo, margo - calizo, y margo -

yesífero; dan valores muy altos, tanto para el IE1 como para el IE2, lo que podría explicarse por tener altos contenidos en limo y arena fina y muy bajos en materia orgánica (1,7 % de media), consecuencia esto último de su intenso aprovechamiento agrícola; por el contrario en ellos el valor del porcentaje de agregados estables al agua es medio, lo que podría explicarse por el múltiple carácter litológico de estos sedimentos, procedentes tanto de las áreas margo - yesíferas, como de las margo - calizas, como de las calizas de los páramos. Respecto al índice IE2, pertenecerían a las clases III, IV, y V.

Por último, destacamos, que más del 70 % de los suelos muestreados, son entisoles (Soil Survey Staff, 1999) y por lo tanto, muy jóvenes, y poco evolucionados, de ahí tal vez, la repercusión del factor roca madre sobre el valor de los parámetros estudiados.

**CONCLUSIONES**

Para los estudios sobre el riesgo de encostramiento y erosionabilidad de los suelos de la comunidad de Madrid, aplicado a los 10 cm más superficiales de los mismos, la utilización de un índice de encostra-

miento  $IE2 = (1,5Limo\ USDA + Arena\ fina\ USDA)/(Ac + 10MO)$ , modificado del de FAO-PNUMA, da resultados más ajustados a la realidad que los obtenidos aplicando el índice de FAO-PNUMA, que incrementa enormemente el número de suelos de la clase I, es decir sin riesgo de desarrollar costra superficial.

En los suelos de la Comunidad de Madrid, el encostramiento superficial, y por lo tanto su erosionabilidad está relacionada con el factor roca madre, condicionador de la textura principalmente en los suelos poco evolucionados.

## REFERENCIAS

- Bienes, R., Nieves, M., Rodriguez, C., Moscoso, J., and del Olmo, A. 1994. Soil overcrusting index map of the Madrid community. XV International Congress Science of Soil. Mexico. Tomo 5b 58-59.
- Ekwe E.I. 1990. Effect of organic matter on splash detachment and the processes involved. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15:175-181.
- FAO-PNUMA, 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO, Roma.
- Kay, B.D., and Angers, D.A., 2000. Soil structure. In M.E. Sumner (ed), *Handbook of soil science*. CRC Press, New York. A229-275.
- Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In A.Klute ed. *Methods of soil analysis*. Part 1, pp425-441. ASA, Madison, USA.
- Kilmer V.J., and Alexander, L.T. 1949. Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil Science* 68:15-24.
- Morgan, R.P.C., 1997. Erosión y conservación del suelo. Mundi Prens. Madrid.
- Poesen, J., 1992. Mechanisms of overland-flow generation and sediment production on loamy and sandy soils with and without rock fragments. En A. J. Pearson and AD Abrahams (eds), *Overland flow: hydraulics and erosion mechanics*. pp275-305.UCL Press, London,.
- Soil Survey Staff, 1999. Soil Taxonomy, a basic system for making and interpreting soil surveys. USDA Agric. Handbook 436. US Government Printing Office, Washington DC.
- Torri, D. and Sfalanga, M. 1986. Some problems on soil erosion modelling. En: A. Giorgini, and F. Zingales (eds), *Agricultural nonpoint source pollution: model selection and applications*. Pp 161-171 Amsterdam, Elsevier.
- Walkley, A., Black, A. 1934. An examination of the Degtjareff Method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37, 29-38.