

DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE SUELOS DEL ALTOARAGÓN POR TAMIZADO EN HÚMEDO Y LLUVIA SIMULADA

C. MARTÍ, D. BADÍA y M.A. BUESA

Área de Producción Vegetal. Escuela Universitaria Politécnica de Huesca (Universidad de Zaragoza). Carretera Cuarte s/n. 22071 Huesca.

Abstract: Soil aggregate stability is a main factor controlling soil physical properties. This study was conducted to determine soil aggregate stability comparing two analytical methods (wet sieving and laboratory rainfall simulator) using the destructive energy of water. The soils used in this study are Regosols, Cambisols, Phaeozems, Calcisols, Kastanozems and Gypsisols from Huesca province. 72 horizons sampled from these soils were used. A significant difference ($p < 0,01$) was observed between the methods tested. Aggregate stability derived from the two procedures was significantly correlated ($p < 0,01$) with soil organic matter content.

Key words: Aggregate stability, wet sieving, laboratory rainfall simulator, Huesca.

Resumen: La estabilidad estructural de los suelos es una propiedad física que condiciona diversos parámetros. En el presente estudio se determinó la estabilidad estructural de los agregados del suelo comparando dos métodos analíticos (tamizado en húmedo y lluvia simulada) basados en la capacidad destructiva del agua. Se analizaron 72 horizontes muestreados en suelos clasificados como Regosoles, Cambisoles, Phaeozems, Calcisoles, Kastanozems y Gypsisoles. Se hallaron diferencias significativas ($p < 0,01$) entre los dos métodos analíticos utilizados, pudiéndose relacionar con la energía con la que se aplicó el agua. Para ambos métodos, la estabilidad estructural se correlacionó positivamente ($p < 0,01$) con el contenido de materia orgánica de los suelos.

Palabras clave: Estabilidad estructural, tamizado en húmedo, simulador de lluvia, Huesca.

INTRODUCCIÓN

Una de las propiedades edáficas que permite diferenciar un suelo del material geológico es la estructura (Porta *et al.*, 1999). Esta propiedad física expresa la distribución espacial y la organización de las partículas del suelo (Hillel, 1980) y condiciona parámetros edáficos tan importantes como la circulación del agua y el aire (De Ploey y Poesen, 1985; Bryan *et al.*, 1989). Una cualidad edáfica derivada de la estructura es la estabilidad estructural de los agregados, que puede defi-

nirse como el resultado de la fuerza de unión entre las partículas elementales de los agregados del suelo siendo de gran importancia en la protección contra la pérdida de suelo por erosión (Cerdà, 1998).

Los objetivos de este estudio son: comparar dos métodos analíticos de determinación de la estabilidad estructural, basados en la capacidad destructiva del agua y evaluar la influencia de algunas características edáficas de diversos suelos de la provincia de Huesca, sobre esta propiedad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los suelos estudiados se localizan en la provincia de Huesca, al NE de la Península Ibérica. Para el presente estudio se escogie-

ron 4 zonas (denominadas A, B, C y D, respectivamente) en las que se seleccionaron 22 perfiles (Fig.1).

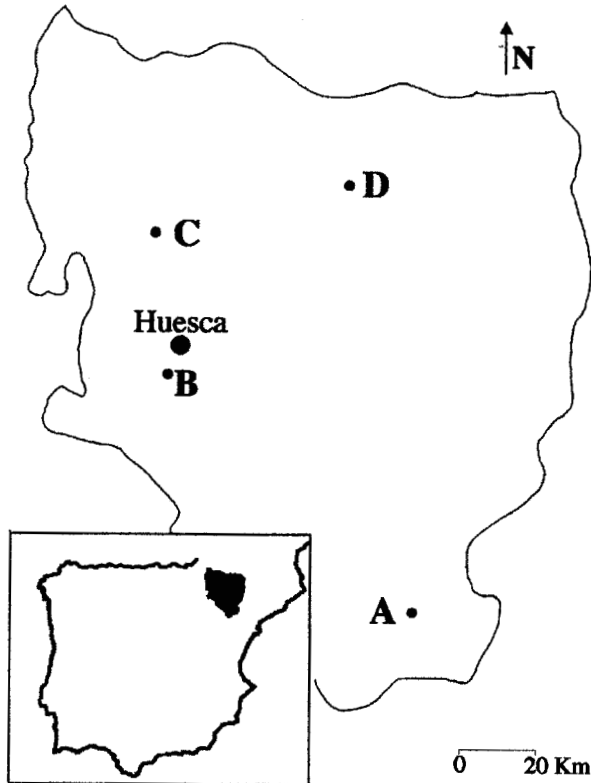


FIGURA 1. Localización de las cuatro zonas de estudio.

Los horizontes genéticos muestreados (72 en total) presentan una gama de propiedades físico-químicas derivadas de la influencia de los diferentes procesos edáficos presentes en cada zona. La morfología de los suelos estudiados varía sensiblemente con los cambios de litología, climatología y vegetación. La relación de los factores formadores de los mismos se muestra en la tabla 1.

La descripción morfológica de los perfiles se ha realizado según SINEDARES (CBDSA, 1983) y FAO (1988), detallándose en anteriores trabajos (Badía *et al.*, 1998; Simón *et al.*, 1998; Badía y Martí, 1999). Según la Base de Referencia Mundial para los Recursos de Suelos (FAO, 1998), 5 de los perfiles se han clasificado como Regosoles, 5 como Cambisoles, 4 como Phaeozems, 3 como Calcisoles 3 como Kastanozems y 2 como Gypsisoles.

TABLA 1. Factores formadores de las cuatro zonas estudiadas.

Factor/Loc.	A	B	C	D
Litología	Calizas, margas y yesos del Oligoceno, yesos y materiales de relleno del Holoceno	Margas con alternancia de areniscas. Glacis	Arcillas, areniscas y conglomerados morrénicos y	Flysch del Eoceno medio, depósitos glacio-lacustres del Holoceno
Tª / P mm	15,2 / 350	14,5 / 650	8,0 / 902	9,8 / 1261
Edafoclima	Térmico Aridico / Xérico	Térmico Xérico	Mésico Údico	Mésico / Frígido Údico
Vegetación potencial	Maquia de coscoja y escambrón	Carrascal continental	Pinar musgoso con hayas	Pinar musgoso, prados y pastos
Vegetación Actual	Romerales, espartales y maquia degradada	Cutivos de cereal	Pinar musgoso con hayas	Pinar musgoso, prados y pastos
Nº perfiles	4	2	14	4
Nº horizontes	15	8	42	7

Para el presente estudio se han seleccionado agregados de 1-2 mm, en muestras no almacenadas más de 3 semanas, tamizados en seco evitando al máximo su compresión para prevenir variaciones en sus propiedades físicas (Murer y Kandeler, 1993). Se han aplicado dos métodos para la evaluación de la estabilidad estructural: El tamizado en húmedo (Kemper y Koch, 1966; Kandeler, 1996) y el test del simulador de lluvia de laboratorio (García, 1992).

El método de tamizado en húmedo (% SAS) se aplicó por sextuplicado a cada una de las muestras. El procedimiento consiste en someter una muestra de suelo (4 g) a un proceso de inmersión continuada (46 inmersiones min^{-1}) en 80 ml de agua destilada durante 5 minutos. Los agregados estables remanentes se secan a 105°C, para posteriormente sumergirlos en 50 ml de difosfato tetrasódico durante 2 horas. Después de este tratamiento se lavan, secan y pesan las partículas de arena, determinándose el porcentaje de agregados estables según la siguiente expresión matemática:

$$\% \text{ SAS} = [(M2-M3)/W - (M3-M1)] * 100$$

donde,

SAS = agregados estables (% , p/p)

M1 = tara del recipiente (g)

M2 = tara del recipiente más peso de los agregados estables y

de la arena (g)

M3 = tara del recipiente más masa de la arena (g)

W = peso de la muestra (g)

El método del simulador de lluvia de laboratorio (% EA) se realizó por triplicado. Dicho método se basa en suministrar un volumen determinado de agua en forma de gotas ("lluvia artificial") sobre una muestra de suelo (4 g). Se ha utilizado un recipiente estriado de PVC de 14 cm de altura, abierto en su parte superior y con un diámetro interior de 7,2 cm. Las gotas se generan con agua destilada a partir de 11 boquillas de pipetas automáticas. El peso de cada una de las gotas ha sido, aproximadamente, de 0,1 g. Las gotas se dejan caer desde una altura de 100 cm sobre los agregados dispuestos homogé-

neamente sobre un tamiz de 0,25 mm de luz, humectados previamente por pulverización. La cantidad de agua suministrada ha sido de 150 ml con una intensidad de $13,8 \text{ J m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ (Benito *et al.*, 1986; García, 1992). Tras suministrar volumen de agua anteriormente mencionado, se lavan los agregados estables remanentes con agua destilada y se secan a 105°C hasta alcanzar un peso estable. Una vez pesados se humedecen nuevamente dejando transcurrir 2 horas. Posteriormente se pasa la muestra por el tamiz. Las partículas de arena mayores a 0,25 mm se secan a 105°C y se pesan. Una vez realizada la última pesada se puede conocer el porcentaje de agregados estables (% EA) realizando los siguientes cálculos:

$$\% \text{ EA} = [(A-B) / (W - B+T)] * 100$$

siendo

EA = agregados estables (% p/p)

T = tara del recipiente (g)

A = tara del recipiente más el peso de los agregados estables y la arena (g)

B = Tara del recipiente más la masa de arena (g)

W = peso de la muestra (g)

Para evitar la deshidratación del yeso, las muestras que lo contenían se secaron a una temperatura de 50°C hasta peso constante.

Los horizontes de cada uno de los suelos se analizaron según la metodología oficial (MAPA, 1994). Las características físico-químicas generales de los horizontes genéticos

TABLA 2. Características generales de los horizontes estudiados. Valores medios por horizonte genético, desviación estándar (s.d.) y coeficiente de variación (c.v.) en porcentaje.

Hor.		pH H ₂ O	CO ₃ ²⁻ (%)	SO ₄ ²⁻ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Ca	Mg	K	Da	Dr	Aren	Arc.
							(cmol _c kg ⁻¹)			(Mg m ⁻³)		(%)	(%)
A	media	7,5	10,8	0	3,5	0,25	12,6	1,86	0,39	1,20	2,53	31,6	25,9
	s.d.	0,6	13,9		2,5	0,1	7,0	3,26	0,23	0,2	0,10	11,4	7,7
	c.v.	7,4	128		70,0	58,1	55,3	175	59,30	16,2	4,80	36,0	29,5
Ay	media	7,9	21,8	36,9	3,5	0,19	18,4	0,18	0,34	1,13	2,56	-	-
	s.d.	0,1	0,4	16,4	1,4	0,1	0,8	0,2	0,20	0,1	0,10		
	c.v.	1,4	1,6	44,6	38,9	25,5	4,2	100	58,20	8,8	5,80		
Bw	media	7,7	3,1	0	1,2	0,12	8,9	0,15	0,46	1,51	2,6	29,3	29,6
	s.d.	0,3	8,4		0,4	0,04	1,7	0,02	0,15	1,2	0,10	15,5	10,0
	c.v.	3,8	270		34,7	32,3	19,4	14,8	32,80	8,1	3,50	52,9	33,9
By	media	7,9	15,4	45,9	0,8	0,09	17,1	1,22	0,07	1,08	2,54	-	-
	s.d.	0,1	20,5	18,8	0,2	0,05	0,3	1,3	0,03	0,1	0,20		
	c.v.	0,8	133	41,0	19,9	52,3	1,8	106	46,20	7,5	6,20		
Bk	media	7,9	39,1	0	1,3	0,11	7,5	1,90	0,19	1,25	2,65	36,5	19,1
	s.d.	0,3	12,0		0,5	0,03	3,7	0,8	0,12	0,4	0,02	11,6	7,3
	c.v.	3,6	30,8		38,7	24,1	49,4	44,7	67,00	28,0	0,80	31,9	38,2
C	media	7,8	20,8	0	0,8	0,11	16,5	10,1	0,29	1,47	2,62	28,5	24,2
	s.d.	0,4	14,8		0,5	0,02	7,6	24,4	0,34	0,09	0,08	13,0	7,2
	c.v.	5,7	71,3		62,6	17,9	46,1	240	115,0	5,8	3,20	45,5	29,6
Cy	media	8,0	6,2	44,1	0,5	0,07	16,7	4,5	0,06	-	2,70	-	-
	s.d.	0,04	2,3	16,4	0,3	0,02	1,1	0,6	0,02		0,10		
	c.v.	0,4	36,6		37,1	58,7	25,0	6,4	13,80		2,80		
Ck	media	8,3	31,4	0	0,9	0,05	19,2	41,5	0,65	1,39	2,63	41,4	17,8
	s.d.	0,2	25,4		0,7	0,1	5,2	34,4	0,54	0,2	1,00	26,2	10,8
	c.v.	3,0	80,8		78,8		27,3	83,1	83,10	14,8	3,60	63,2	60,6

se muestran en la tabla 2. Los contenidos de materia orgánica, carbonatos y bases de cambio, son los parámetros edáficos que presentan mayor heterogeneidad. Dicha heterogeneidad viene motivada por la diferenciación en el clima y la litología existente entre las zonas de estudio.

El análisis estadístico de los resultados se ha elaborado con el programa StatView 4.5 (Abacus Concepts Inc., Berkeley, CA). Para evaluar las diferencias entre los dos métodos analíticos se ha realizado el test de la t-pareada [% SAS * % EA], con una significación de $p < 0,001$. Para determinar las diferencias entre el valor de estabilidad estructural de los diferentes horizontes genéticos, se ha realizado para cada método analítico, un análisis factorial [horizonte genético * estructura * zona de estudio] con una significación de $p < 0,05$. Los horizontes con

acumulaciones secundarias de carbonato o yeso se han considerado como un mismo grupo. También se han obtenido regresiones entre los dos métodos analíticos empleados y correlaciones de éstos con parámetros físico-químicos de los horizontes (test de correlación de Spearman).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 3 muestra los resultados medios de los índices de estabilidad estructural obtenidos para cada horizonte en cada una de las zonas de estudio. Se observa que los valores del conjunto de muestras estudiadas presentan un elevado rango de variación. Las determinaciones obtenidas por el método de tamizado en húmedo (% SAS), oscilan entre el 1,7 y el 90,0 %, mientras que los relativos a la lluvia simulada (% EA) varían entre el 11,0 y el 69,5 %.

TABLA 3. Valores medios de la estabilidad estructural de los agregados de cada uno de los horizontes genéticos. Valores medios por zonas. Entre paréntesis, valores mínimos y máximos.

Metodo	Zona	A	Bw	B(k,y)	C	C(k,y)
SAS (%)	A	77,41 (61,3 - 87,2)	-	49,28 (22,34 - 88,0)	65,84 (-)	73,30 (63,0 - 85,1)
	B	23,72 (13,2 - 37,7)	-	15,5 (-)	16,68 (7,6 - 33,2)	-
	C	82,04 (71,3 - 84,7)	69,28 (67,3 - 71,3)	22,57 (-)	-	-
	D	67,02 (12,0 - 90,0)	30,30 (1,7 - 83,8)	44,45 (-)	34,11 (9,1 - 78,9)	25,91 (20,5 - 31,3)
EA (%)	A	56,28 (49,2 - 65,1)	-	41,82 (20,3 - 69,5)	45,44 (-)	49,89 (40,4 - 63,5)
	B	35,64 (23,1 - 47,0)	-	26,55 (-)	21,03 (11,0 - 29,4)	-
	C	54,80 (51,3 - 54,4)	51,41 (51,3 - 51,5)	19,24 (-)	-	-
	D	49,60 (27,6 - 67,9)	35,66 (12,2 - 61,0)	42,20 (-)	39,92 (25,9 - 63,3)	29,17 (14,9 - 43,4)

Es destacable la diferencia existente en el valor máximo de agregados estables en cada uno de los métodos. Estos resultados pueden relacionarse con la forma en que se suministra la energía (por medio del agua) a las muestras, en cada uno de los tratamientos. El porcentaje máximo de agregados estables es menor (69,5%) cuando se utiliza el método del simulador de lluvia (% EA). Estos resultados indican una mayor energía destructiva del agua cuando se aplica en forma de gota coincidiendo con observaciones previas (Rose, 1960; Ternan *et al.*, 1996). Otro factor que también podría condicionar estos valores está relacionado con la humectación que se realiza antes de la aplicación de la lluvia simulada. Ésta puede producir interacciones entre los coloides del suelo causando fenómenos de hinchamiento y una importante ruptura de los agregados por estallido (García, 1992; Sort, 1997). Por el contrario,

en el método de tamizado húmedo (% SAS) los agregados del suelo se ven sometidos a una energía menor (Cerdà, 1998), lo que hace incrementar el porcentaje máximo de agregados estables (90%).

Según los criterios propuestos por Ramos y Nacci (1997), los valores de estabilidad estructural referentes al método de Kemper y Koch pueden dividirse en tres grupos: uno de elevada estabilidad (valores de SAS >75%), que incluiría 20 horizontes; otro de estabilidad media (con valores comprendidos entre 50 y 75%), con 19 horizontes y un tercer grupo de estabilidad baja (SAS <50%) con 33 horizontes. Sin embargo, observando los valores obtenidos con la lluvia artificial, solamente aparecen dos grupos, uno de estabilidad media que incluye 27 horizontes y otro de estabilidad baja con los 45 horizontes restantes (Fig. 2).

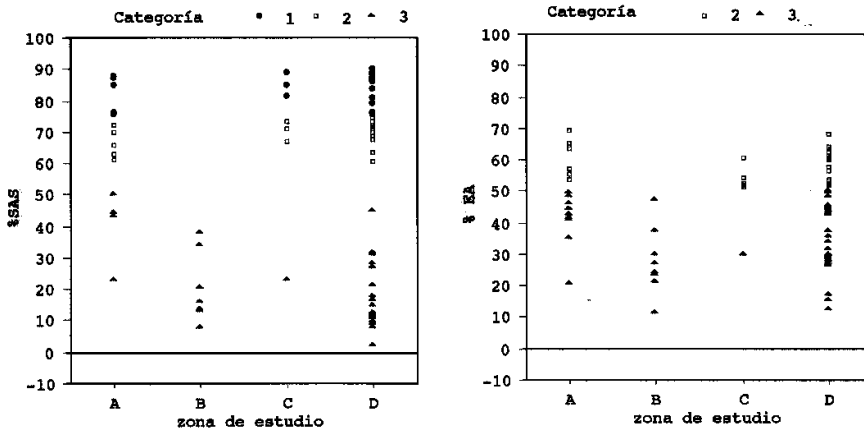


FIGURA 2. Clasificación de los valores de estabilidad estructural de las muestras estudiadas, según la zona de estudio y el método analítico empleado, SAS (izquierda) y EA (derecha). Categoría 1: índice de estabilidad >75%; categoría 2: índice de estabilidad 50-75%; categoría 3: índice de estabilidad <50%.

La desigualdad existente entre los dos tratamientos queda confirmada con el análisis estadístico (t-pareada), evidenciándose diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) entre ellos. Sin embargo, se observa

que existe una correlación altamente significativa ($r = 0,79$; $p < 0,001$), reflejando una proporcionalidad entre los resultados obtenidos (Fig. 3).

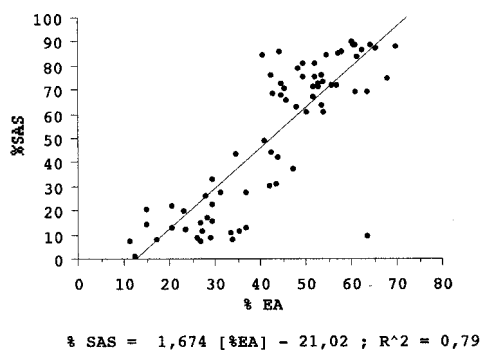


FIGURA 3. Correlación entre los valores porcentuales de estabilidad estructural obtenidos al aplicar los métodos de tamizado en húmedo (SAS) y de lluvia simulada (EA).

A partir de los valores de estabilidad de cada horizonte genético se ha realizado un análisis bifactorial para determinar su respuesta en cada uno de los métodos analíticos empleados (Tabla 4). En el método de tamizado en húmedo (% SAS), las muestras más estables corresponden a los horizontes organominerales (Ah, Ap y Ay). Los muestras menos estables son los horizontes de alteración mineral (Bw) y los horizontes C. Los horizontes con acumulación de carbonato cálcico secundario o yeso (Bk, By, Ck, Cy) presentan valores intermedios.

Los datos obtenidos por el método del simulador de lluvia (% EA), ponen de manifiesto que los horizontes A tienen una estabilidad estructural significativamente superior

TABLA 4. Resultados obtenidos del análisis bifactorial para la estabilidad estructural. Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD 0,05) para cada uno de los métodos analíticos utilizados.

% SAS			% EA		
Factor	valor de F	valor de P	Factor	valor de F	valor de P
Horizonte	7,455	0,0083	Horizonte	5,456	0,0228
Zona estudio	9,603	0,0002	Zona estudio	5,709	0,0053
Hor. * Zona	0,868	0,5080	Hor. * Zona	0,184	0,9676

INFLUENCIA DEL HORIZONTE

% SAS			% EA		
Horizonte	n	Media	Horizonte	n	Media
A	31	66,1 a	A	31	49,8 a
Bw	15	35,5 c	Bw	15	37,8 b
B (k, y)	8	41,1 bc	B (k, y)	8	38,4 b
C	11	30,7 c	C	11	33,6 b
C (k, y)	7	58,9 ab	C (k, y)	7	44,0 ab

INFLUENCIA DE LA ZONA DE ESTUDIO

% SAS			% EA		
Zona	n	Media	Zona	n	Media
A	15	65,9 a	A	15	48,6 a
B	8	19,2 c	B	8	27,2 b
C	7	69,9 a	C	7	50,2 a
D	42	48,5 b	D	42	42,8 a

a los horizontes Bw, Bk, By y C. Los horizontes de descomposición del material original en los que se evidencian procesos de acumulación secundaria de carbonatos o yesos (Ck, Cy) presentan valores intermedios.

También se advierte que la zona de estudio B es la que presenta los suelos con menor estabilidad. La explicación de este hecho puede relacionarse con el manejo de éstos, ya que se trata de suelos agrícolas cultivados tradicionalmente con cereal de invierno.

A pesar de que los dos métodos de determinación de la estabilidad estructural utilizados emplean diferentes capacidades destructi-

vas del agua se observa que los horizontes ricos en materia orgánica tienen una estabilidad estructural superior al resto. Se ha observado la existencia de una relación entre estas dos variables mediante un ajuste logarítmico (Fig. 4). Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de la materia orgánica como agente estabilizador de la estructura e indica el efecto de este componente edáfico en la formación, sobre todo, de los macroagregados (Gerzabek, *et al.*, 1995). Relaciones similares han sido observadas con anterioridad por otros autores (Ternan *et al.*, 1996; Cerdà, 1998; Barragán *et al.*, 1999; Bonifacio *et al.*, 1999).

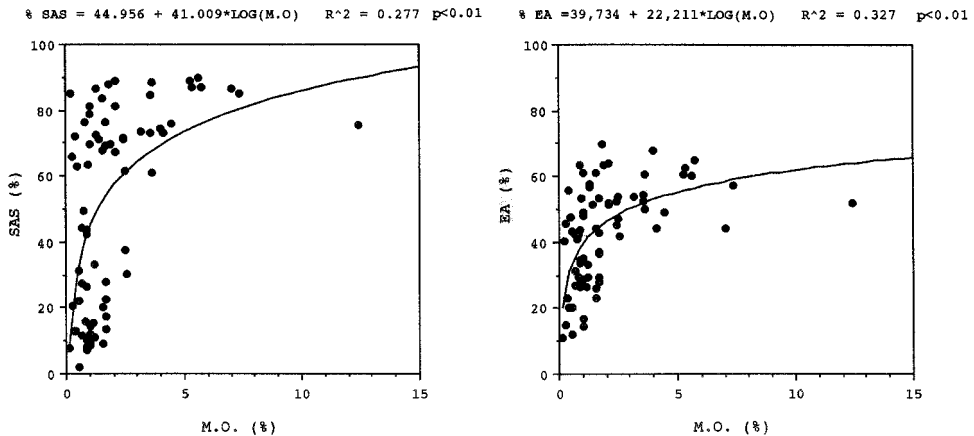


FIGURA 4. Relaciones logarítmicas entre el porcentaje de materia orgánica en los suelos estudiados ($n=72$) y el porcentaje de estabilidad estructural de los agregados por tamizado en húmedo (SAS) y lluvia simulada (EA).

En el método de tamizado en húmedo, el análisis factorial también evidencia la influencia de las acumulaciones secundarias de carbonatos y yeso en el grado de estabilidad estructural de los horizontes. Respecto los carbonatos, Le Bissonnais (1996) los consideró como uno de los factores más importantes en la formación de los agregados. Efectos análogos han sido observados en suelos forestales de naturaleza caliza en Navarra (Enrique *et al.*, 1999). La acción de estas acumulaciones residiría en el incremen-

to de rigidez de los materiales edáficos del horizonte en el que se localizan, causado sobre todo por la disminución de la cantidad de poros finos (Houman, 1999).

La presencia de yeso secundario en los horizontes también incrementa los valores de estabilidad. En este caso debe resaltarse la importancia de la morfología de las acumulaciones secundarias, y no tanto la cantidad en la que el yeso está presente en el horizonte. Cuando éste se presenta formando cristales lenticulares simples o compuestos con yeso

radial y en empalizada o bien como secciones polilenticulares, presenta tamaños entre 2 mm y 40 micras, de tal manera que se comportan como agregados endurecidos muy difíciles de destruir (Escudero, 1997). Sin embargo, el efecto cementante no es tan evidente cuando las acumulaciones son en forma de yeso microcristalino (constituido por cristales de tamaño cercano a 20 micras) que se reconoce en campo por su aspecto pulverulento y tacto farináceo.

CONCLUSIONES

Los dos métodos de estabilidad estructural de los agregados utilizados, aún manteniendo su proporcionalidad, presentan diferencias en el orden de magnitud de los valores obtenidos.

El tratamiento de tamizado en húmedo (% SAS) se ha revelado como el método que permite discriminar mejor el comportamiento de los suelos frente a las fuerzas destructivas del agua.

En este estudio se pone de manifiesto que el contenido de materia orgánica de los horizontes explica gran parte de la estabilidad estructural de los agregados del suelo. También se ha observado la influencia la acumulación de carbonatos y/o yesos secundarios en el incremento de este parámetro edáfico.

REFERENCIAS

- Badía, D., Martí, C. (1999). *Suelos del Pirineo Central: Fragen*. Edición a cargo de, I.N.I.A.; U.Z.; C.P.N.A.; I.E.A., Huesca. 190 pp.
- Badía, D., Escudero, L., Martí, C., Poch, R. M^a. (1998). *Soil genesis and classification on a semiarid hillslope of the central Ebro Valley (NE Spain)*. 16 Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Montpellier. Francia. Soporte informático.
- Barragán, M^a L., Jerez, D., Bescansa, P., Enrique, A. (1999). Study of stability of soils developed under beech forest in Mount Txangoa (Navarra, Spain). In: *Soils with Mediterranean Type of climate. 6th International Meeting. Extended abstracts*. Barcelona. 5-7.
- Benito, E.; Gómez, A., Díaz-Fierros, F. (1986). Descripción de un simulador de lluvia para estudios de erodibilidad del suelo y estabilidad de los agregados al agua. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 9-10, 1115-1126.
- Bonifacio, E., Santoni, S., Scalenghe, R., Zanini, E. (1999). Aggregate stability in different soil horizons in the mediterranean area. In: *Soils with Mediterranean Type of climate. 6th International Meeting. Extended abstracts*. Barcelona. 11-13.
- Bryan, R.B., Govers, G., Poesen, J. (1989). The concept of soil erodibility and some problems of assessment and application. *Catena*, 16, 393-412.
- C. B. D. S. A. (1983). Manual para la descripción codificada de suelos en el campo. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. Madrid. 37 pp.
- Cerdà, A. (1998). Soil aggregate stability under different Mediterranean vegetation types. *Catena* 32, 73-86.
- De Ploey, J., Poesen, J. (1985). Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion. In: *Geomorphology and soils*. K.S. Richards, R. R. Arnett, S. Ellis (Eds.). George Allen & Unwin, London, 99-120.
- Enrique, A., Sádaba F.J., Barragán, M.E., Bescansa, P. (1999). The stability of soils in Aralar (Navarra, Spain). In: *Soils with Mediterranean Type of climate. 6th International Meeting. Extended abstracts*. Barcelona. 31-33.
- Escudero, L. (1997). *Génesis y clasificación de los suelos de una toposecuencia en el*

- Bajo Cinca (Huesca)*. Trabajo Fin de Carrera. Escuela Universitaria Politécnica de Huesca. Universidad de Zaragoza.
- FAO (1988). *FAO-UNESCO: Soil map of the World. Revised Legend* World Soil Resources. Report, 60. Roma.
- FAO (1998). *FAO: World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Resources Reports. Report 84. Roma.
- García, F. (1992). *Estudio sobre la estabilidad de los agregados en suelos, aspectos químicos y microbiológicos*. Trabajo de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de Murcia.
- Gerzabek, M. H., Kirchmann, H., Pichlmayer, F. (1995). Response of soil aggregate stability to manure amendments in Ultuna long-term organic matter experiment. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 158 (3), 257-560.
- Hillel, D. (1980). Soil Structure and Aggregation. In: *Fundamentals of Soil Physics*. Academic Press, Inc. New York. 93-119.
- Houman, B. (1999). Effect of calcium carbonate accumulation on soil structure organisation and hydric behaviour of fersiallitic soils of Tunisia. In: *Soils with Mediterranean Type of climate. 6th International Meeting. Extended abstracts*. Barcelona. 49-51.
- Kandeler, E. (1996). Aggregate stability. In: *Methods in Soil biology*. F. Schinner, R. Öhlinger, E. Kandeler, R Margesin Eds. Springer-Verlag, Berlín. 390-395.
- Kemper, W.D., Koch, E.J. (1966). Aggregate stability and particule size distribution. In: *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph, 9.
- Le Bissonnais, Y. (1996). Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47, 425- 437.
- MAPA (1994). *Métodos oficiales de análisis*. Vol. III. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Dirección General de Política Alimentaria. Madrid.
- Murer, E., Kandeler, E. (1993). Aggregate stability and soil microbial processes in a soil with different cultivation. *Geoderma*, 56, 503-513.
- Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. 2ª Edición.
- Ramos, Mª C., Nacci, S. (1997). Estabilidad estructural de agregados superficiales en suelos del Anoia-Penedés (Barcelona) frente al humedecimiento y el impacto de las gotas de agua. *Edafología*, 3 (1), 3-12.
- Rose, C.W. (1960). Soil detachment caused by rainfall. *Soil Science*, 89, 28-35.
- Simón, C., Badía, D., Martí, C. (1998). *Caracterización físico-química y clasificación de los suelos del invernadero de la Escuela Universitaria Politécnica de Huesca*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Zaragoza.
- Sort, X. (1997). *Propietats estructurals d'un sòl restaurat amb fangs de depuradora*. Tesis doctoral. Facultat de Ciències. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Ternan, J. L., Williams, A. G., Elmes, A., Hartley, R. (1996). Aggregate stability in Central Spain and the role of land management. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 181-193.