Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, (Nº 2.), pp. 185-196

APLICACIÓN DE VIBRACIONES ULTRASONICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL EN SUELOS DE LA CUENCA DEL DUERO (SORIA)

F. GARRIDO COLMENERO; Mª I. HERNANDO y J. HERNANDO

Dpto. de Edafología. Facultad de Farmacia. Univ. Complutense. 28040-Madrid

Abstract: A procedure to determine the stability of the soil aggregates has been developed. The aggregates in aqueous suspension were subjected to controled levels of ultrasonic energy to simulate their breaking down by raindrop impact. From the increase in clay particle fraction in the treated suspensions, several structural stability indexes have been proposed. Rendsic leptosols are the most stable soils.

Key words: Structural stability, soil conservation, ultrasounds, Duero Basin.

Resumen: Se ha desarrollado un procedimiento para determinar la estabilidad de los agregados del suelo. Los agregados en suspensiones acuosas fueron sometidas a niveles controlados de energía ultrasónica para simular la rotura de los agregados por el impacto de las gotas de lluvia. A partir del incremento de la fracción arcilla en las suspensiones tratadas, se proponen varios índices de estabilidad estructural. Los Leptosoles réndsicos son los suelos más estables.

Palabras clave: Estabilidad estructural, conservación del suelo, ultrasonidos, Cuenca del Duero.

INTRODUCCIÓN

La estabilidad estructural es el resultado de la fuerza de unión entre las partículas elementales de los agregados del suelo. Su estudio y cuantificación resultan ser de gran importancia para la estimación de la erosionabilidad del suelo. Aquéllos que posean estructuras más resistentes, serán los que mayor capacidad de infiltración tengan y ralentizarán el proceso de formación de costras superficiales que generan fenómenos de escorrentía. Bajo este punto de vista, la estabilidad estructural se entiende como la resistencia de la estructura a modificarse, cuando se le aplica una fuerza, estableciéndose una relación entre la intensidad de dicha fuerza y el efecto producido en el suelo.

Es de indudable valor la tipificación y validación de un método o combinación de ellos que permita la cuantificación objetiva de la estabilidad estructural. La aplicación de ultrasonidos puede jugar un destacado papel en la elaboración de esta metodología de análisis de estabilidad estructural habiendo sido usada en multitud de ocasiones (Edwards *et al.*, 1964 y 1967 a y b; North, 1976 y 1979; Imeson *et al.*, 1984; Oades *et al.*, 1991; Stern *et al.*, 1991; Levy *et al.*, 1993), con diferentes adaptaciones y con resultados positivos.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un

método de análisis mediante la aplicación de vibraciones ultrasónicas, para la obtención de un índice de estabilidad estructural de los agregados estructurales, y en función del mismo, ordenar las unidades de suelos estudiadas según su erosionabilidad.

MATERIAL

Se tomaron muestras de los horizontes superficiales de suelos correspondientes a las unidades más caracterìsticas de la vertiente Norte de la Cuenca del Duero en el extremo O de la provincia de Soria. Las unidades de suelo se seleccionaron según el tipo de material de partida y vegetación existentes en el área estudiada. Las unidades de suelos fueron definidas según FAO (1991) (Garrido, 1996).

METODOS ANALÍTICOS

El análisis de campo y la toma de muestras de suelo se realizaron según las normas de la FAO (1977). Las determinaciones químicas se realizaron según ISRIC (1993). El carbonato cálcico activo se realizó según (AFNOR, 1982). La capacidad de cambio y los cationes de cambio se determinaron por absorción atómica y fotometría de llama (Tabla 1).

La cuantificación de la estabilidad de los agregados estructurales, se basa en medir la resistencia que ofrecen a ser destruidos mediante un tratamiento con vibraciones ultrasónicas. Se empleó un equipo emisor de ondas ultrasónicas modelo Branson Sonifier B-12 con una micropunta de diámetro 3,2 mm. Previo a la experimentación y durante ella, de forma periódica, se realizó un control de sintonización de frecuencia para la optimización del funcionamiento de la fuente de alimentación siguiendo las indicaciones del fabricante.

Con el fin de determinar la energía aplicada (julios/ml), la potencia de salida se calibró siguiendo las indicaciones de North (op. cit.), modificando la profundidad del extremo de la sonda en la suspensión que pasó de 11 a 15 mm (Moen *et al.*, 1984). De esta forma, se estandarizó la potencia de salida en 10,2 W cuya transformación en unidades de energía se realiza según la expresión 1.

$$(1)\quad E(\mathrm{Jul\ ml^{-1}})\frac{Pt}{V}$$

siendo P la potencia real estimada según el método de North (op. cit.) en watios, t el tiempo en segundos y V el volumen de la suspensión en mililitros.

Durante el tratamiento, los vasos de precipitados se introducen en un baño con un flujo constante de agua, evitando un calentamiento superior a 5 °C sobre la temperatura ambiente.

El procedimiento de experimentación (figura 1) comienza pesando 12 submuestras por cada horizonte superficial analizado, secas al aire, de 10 g con error menor de 0,01 g. Cada submuestra es introducida en su respectivo vaso de precipitados de 100 ml y diámetro interno de 45 mm. Diez minutos antes del tratamiento ultrasónico, se les añade 50 ml de agua destilada de forma que cuando se produce el tratamiento, la muestra esté suficientemente humectada y se obtenga un grado de humedad más homogéneo entre las distintas submuestras de suelo. Esta relación suelo:agua (1:5) ha sido ya empleada en trabajos anteriores con resultados positivos (Watson *et al.*, 1974; Broersma *et al.*, 1980; Hinds *et al.*, 1980). A cada una de las submuestras se le aplica el tratamiento por períodos de tiempo tal y como se indica en la Tabla 2.

No fue necesaria la agitación de la suspensión durante la aplicación de ultrasonidos debido al volumen de la misma y al tamaño del vaso de precipitados empleado.

Tras la aplicación de ultrasonidos, las suspensiones fueron tamizadas por un tamiz de luz de malla de 0.2 mm y los respectivos tamizados fueron recogidos en probetas de un litro para la posterior extracción y cuantificación de la arcilla por el método de la pipeta.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de los horizontes estudiados

				pH		CaCO3 %		Materia orgánica			Complejo de cambio (cmolc/k					
SUELO	Arena %	Limo %	Arcilla %	H2O	ClK	Equivalente	Activo	% C	%N	C/N	Ca	Mg	Na	K	S	T
FG1 Calcisol háplico	36.9	43.7	19.4	7.6		70.8	8.0	2.0	0.2	12.2	48.2	1.0	0.3	0.8	50.3	16.1
FG2 Luvisol cálcico	32.4	13.2	54.5	7.6		26.6	2.2	1.3	0.1	9.8	48.9	1.2	0.1	1.3	51.4	28.5
FG3 Leptosol réndsico	42.2	28.3	29.5	7.6		44.0	5.5	2.2	0.2	10.2	58.7	2.4	0.2	1.5	62.8	23.4
FG4 Regosol calcárico	34.9	37.6	27.5	7.5		55.5	8.4	5.7	0.3	18.3	52.9	2.2	0.2	1.4	56.7	27.2
FG5 Arenosol calcárico	72.2	12.8	15.0	7.6		37.0	2.0	1.8	0.1	13.1	34.6	1.4	0.1	0.6	36.7	13.8
FG6 Phaeozem háplico	89.5	5.5	5.0	6.5	4.9	0.2	0.0	2.0	0.1	14.4	4.3	0.6	1.7	0.5	7.1	11.6
FG7 Leptosol réndsico	31.1	19.9	48.9	7.6		20.7	6.7	8.3	0.3	24.4	49.2	2.8	0.6	2.2	54.8	34.7
FG8 Fluvisol calcárico	44.1	19.2	36.7	8.0		13.9	2.7	4.9	0.3	16.7	46.8	1.3	1.1	1.7	50.9	27.7
FG9 Phaeozem calcárico	39.0	12.8	48.2	7.1		3.4	0.9	4.5	0.2	20.2	52.8	1.7	0.2	1.7	56.4	36.3
FG10 Leptosol réndsico	27.3	22.6	50.1	7.2		13.3	0.0	18.0	1.1	17.2	72.2	6.4	3.7	2.8	84.9	70.3
FG11 Leptosol réndsico	28.0	23.2	48.8	7.6		23.3	7.2	4.4	0.4	11.2	45.0	1.8	1.3	1.8	49.9	39.5
FG12 Arenosol háplico	90.5	4.9	4.6	6.0	4.7	1.2	0.0	0.5	0.0	25.5	4.1	0.7	0.1	1.0	5.9	3.9
FG13 Leptosol eútrico	45.2	15.6	39.2	7.7		41.4	3.9	5.2	0.4	11.8	58.5	1.9	0.2	1.1	61.7	29.7
FG14 Regosol eútrico	88.3	6.8	4.9	7.0		1.7	0.4	1.0	0.1	19.0	8.8	0.6	0.1	0.5	9.9	8.4
FG15 Regosol calcárico	58.1	26.0	15.9	7.7		41.7	14.1	2.7	0.3	10.6	62.4	1.9	0.2	0.9	65.5	17.7
FG16 Leptosol réndsico	30.9	15.9	53.1	7.3		13.2	5.8	3.5	0.3	13.8	56.4	2.1	0.1	1.3	59.9	35.3
FG17 Fluvisol calcárico	40.2	23.1	36.7	7.5		11.6	7.4	5.0	0.4	13.5	45.2	2.0	0.2	1.8	49.2	24.3
FG18 Regosol calcárico	61.4	12.7	25.9	7.6		18.4	4.8	1.3	0.1	16.5	43.1	1.4	0.3	1.7	46.5	19.7
FG19 Arenosol háplico	90.7	6.2	3.1	5.9	5.1	1.3	0.0	1.3	0.1	14.2	5.3	1.2	0.2	0.7	7.3	8.2
FG20 Arenosol háplico	91.5	4.4	4.1	6.5	5.5	1.7	0.5	1.7	0.1	16.6	8.0	1.2	0.1	0.7	10.0	8.8

Tabla 2. Duración del tratamiento con ultrasonidos en cada submuestra.

Nº de submuestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tiempo (s)	0	15	30	45	80	120	240	400	700	1000	1400	2000

Los valores de arcilla dispersada con ultrasonidos fueron relacionados con los valores de arcilla obtenidos del análisis granulométrico de cada muestra, determinándose la fracción de arcilla no dispersable (% AND) por medio de la siguiente expresión (Moen *et al.*, op. cit.):

$$(2) \quad \%AND = 100\left(1 - \frac{\%Arci}{\%Arct}\right)$$

donde *%Arci* es el porcentaje de arcilla obtenido en cada una de las submuestras tratadas y *%Arct* es el contenido en arcilla en el total del suelo. *%AND* hace referencia al contenido de arcilla que queda sin dispersar en cada submuestra e incluida en agregados que han permanecido estables al tratamiento a que ha sido sometida. Conforme el tratamiento se hace más severo, mayor es la cantidad de arcilla que se dispersa y, por tanto, %AND disminuye.

RESULTADOS Y DISCUSION

La estabilidad estructural ha sido cuantificada en función de la dinámica de liberación de partículas tamaño arcilla, respecto del total de las mismas y no en función del total del suelo.

Hay que destacar el hecho de que en la mayor parte de los suelos, la práctica totalidad de la arcilla, se encuentra incluida en agregados estructurales de diversos tamaños y de distinta resistencia a su destrucción. La rotura de agregados causada por el propio manejo de las muestras se ha considerado inapreciable y, en todo caso, homogéneo entre las distintas muestras analizadas. Todo este procedimiento pudiera haber sido suficiente para producir roturas de los agregados (Moen *et al.*, op. cit.), aunque por los resultados obtenidos se observa que no es un tratamiento suficientemente enérgico como para producirlas. Se puede decir que los horizontes estudiados, y en función de la cantidad de arcilla que presentan, muestran un alto grado de estructuración. Esto es así, porque la cantidad de arcilla extraida de las respectivas primeras tomas es muy escasa y, por tanto, adquieren valores altos -superiores al 94 %- de porcentaje de arcilla no dispersable (AND). Sólo el Phaeozem háplico (FG6) y el Arenosol háplico (FG12) dan los valores de 85 y 84 % de arcilla no dispersable claramente inferiores a los correspondientes en el resto de los horizontes. En estos dos suelos, el 15 % de la arcilla podrá ser más fácilmente arrastrada en procesos de erosión.

Así pues, teniendo en cuenta que la primera toma se caracteriza por no recibir ningún tratamiento energético, el porcentaje de arcilla extraida en dicha toma, se corresponde con aquella que se encuentra libre o formando agregados de tamaño inferior a 2 µm. Cabe recordar que la medida de la dispersión espontánea, en ausencia de cualquier fuerza externa, bien puede reflejar el comportamiento de la superficie del suelo durante la lluvia cuando dicha superficie se encuentra protegida por la cubierta vegetal (Rengasamy *et al.*, 1984; Stern *et al.*, op. cit).

Tras realizar un ajuste estadístico se estableció la relación funcional entre *%AND* y *t*, ajustándose las ecuaciones por el método de los mínimos cuadrados ordinarios. La relación inversa entre las dos variables viene expresada por la siguiente expresión semilogarítmica $\%AND = Ke^{bt}$, donde *% AND* es el porcentaje de arcilla no dispersable, *t* es el tiempo de tratamiento, y *K* y *b* son los parámetros de las ecuaciones. Los parámetros y la significatividad

estadística de las curvas se muestran en la Tabla 3 y Figura 2. El parámetro K (intercepción con el eje y) ha sido interpretado como una estabilidad inicial y el parámetro b (pendiente) como una tasa de disgregación (Russell *et al.*, 1947; Moen *et al.*, op. cit.)

Estas curvas deben ser interpretadas en términos de un modelo bimodal de disgregación del suelo basado en los trabajos de Edwards *et al.* (op. cit.). La zona de la curva denominada *plateau*, comienza cuando virtualmente todos los microagregados han sido dispersados en subcomplejos de tamaño arcilla. La energía - entendida como tiempo de tratamiento a una potencia determinada- que se corresponde con el comienzo de esta zona de cada curva característica es el índice de estabilidad estructural total (EEt), empleado para definir la estabilidad de los agregados del suelo. Este índice se expresa en segundos de tratamiento a una potencia real estimada constante y refiriéndose a 50 ml de suspensión suelo:agua 1:5. Su valor es calculado por medio de la primera derivada de la ecuación de la curva característica de cada suelo.

El valor de t^* para el cual la pendiente toma un valor determinado se corresponde con el

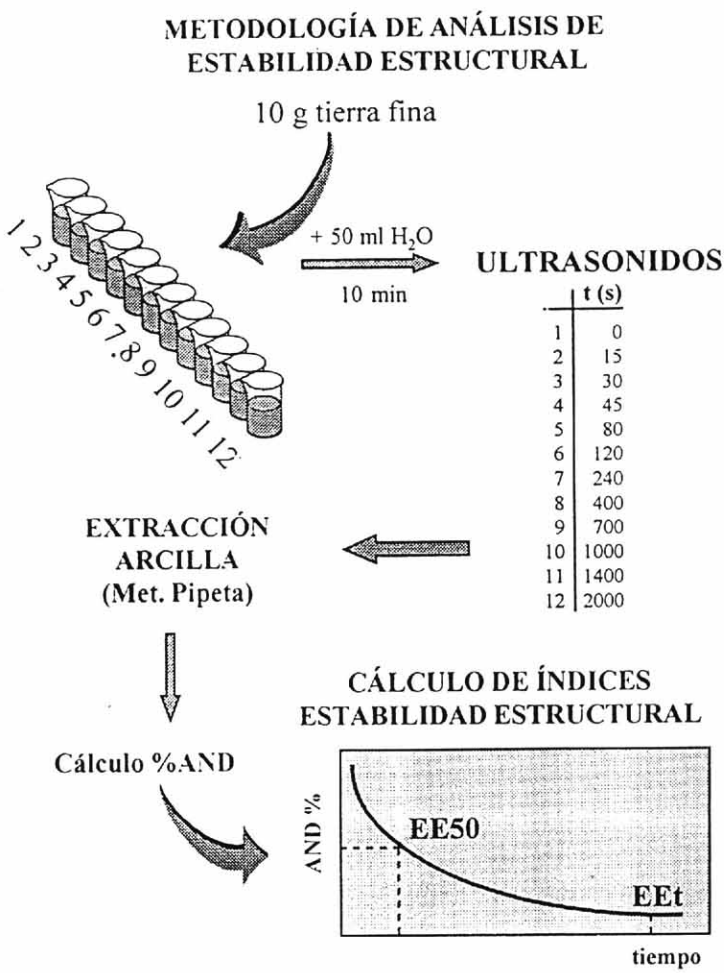

Figura 1. Esquema del procedimiento analítico de la estabilidad estructural.

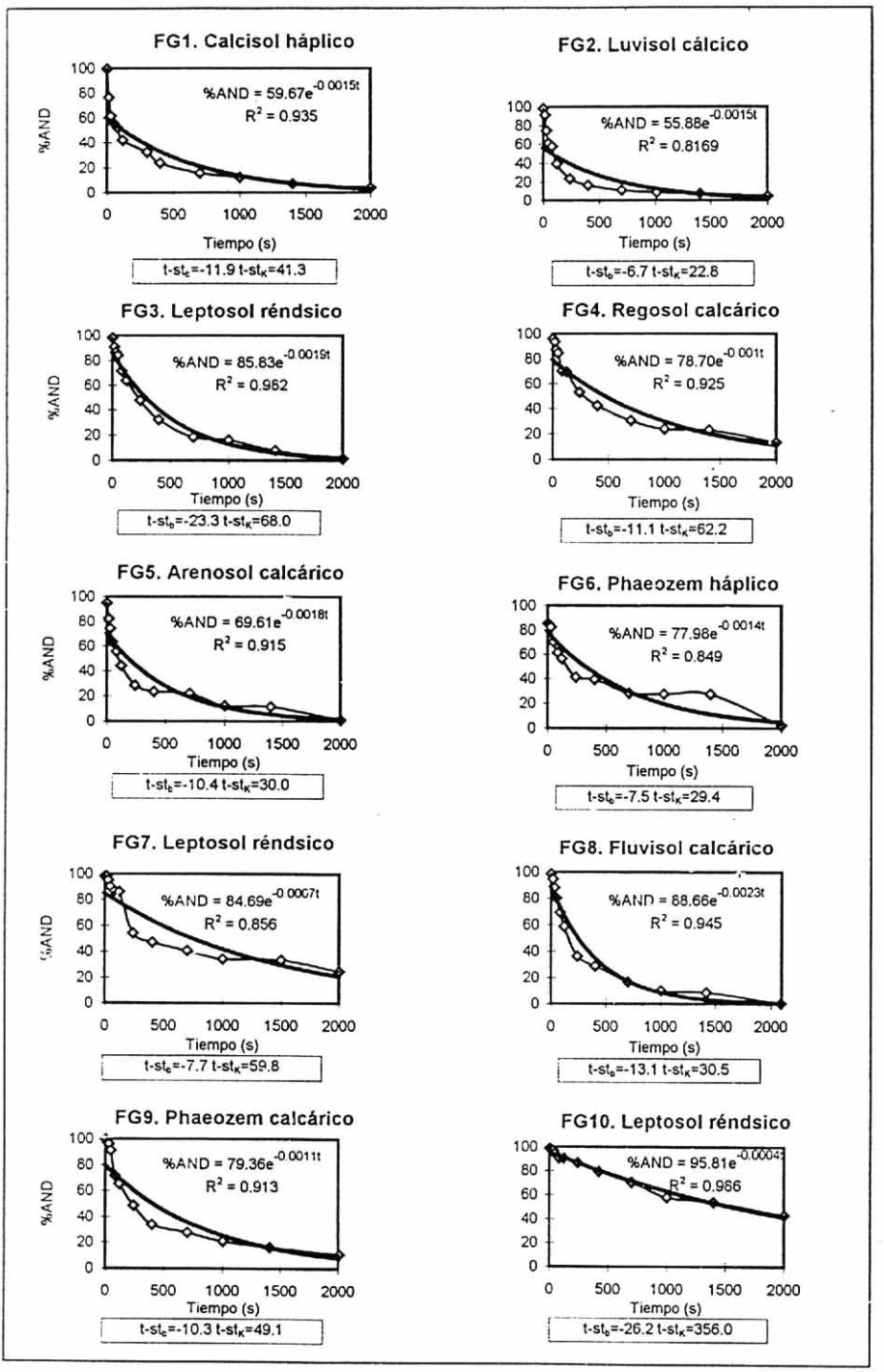

Figura 2. Curvas características de disgregación

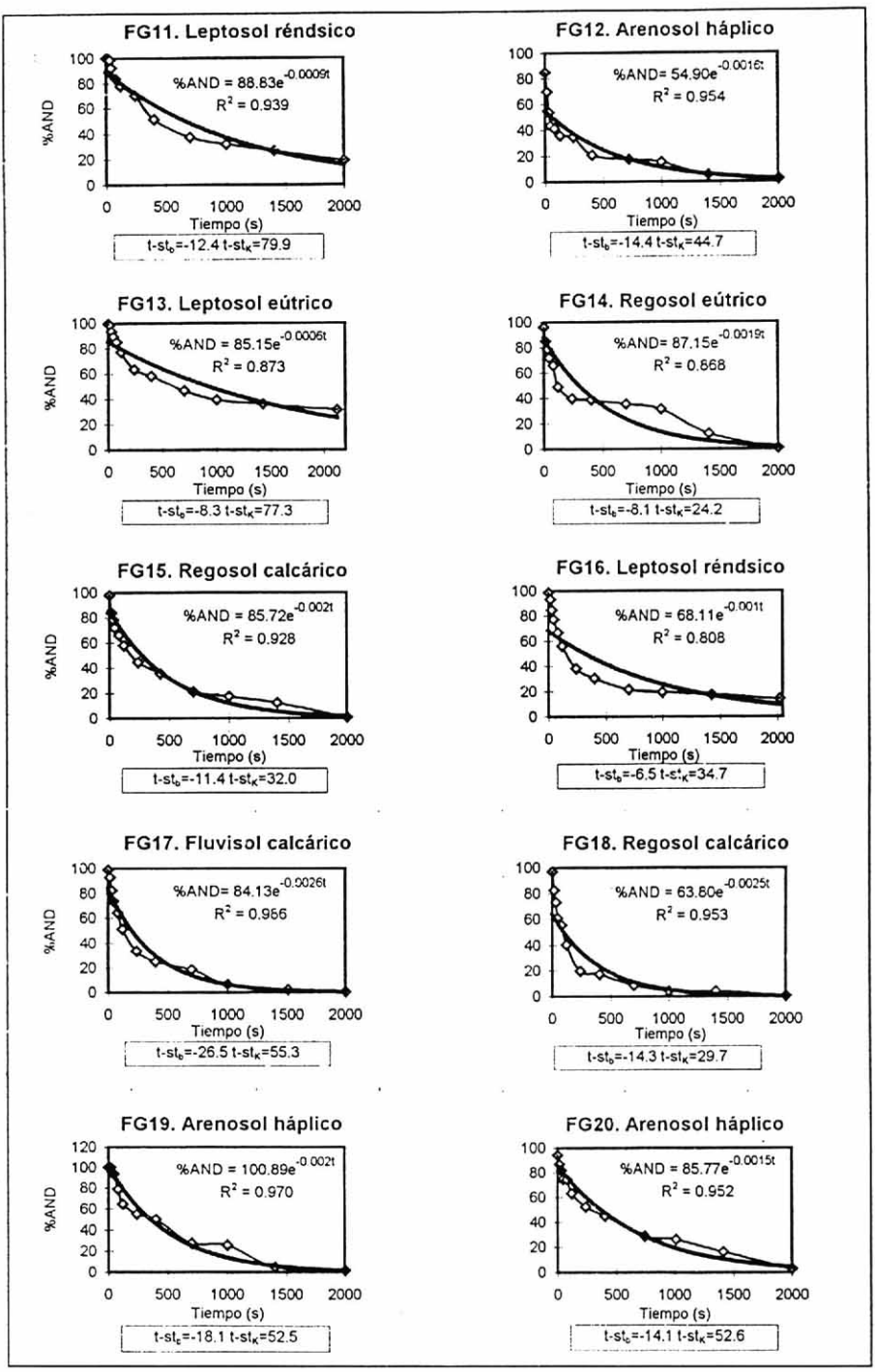

Figura 2 (Cont). Curvas características de disgregación

Tabla 3. Curvas características de disgregación (n = 12 observaciones).

Suelo	b	t-student	K	t-student	R^2
FG1	-0.0015	-11.99	59.674	41.28	0.935
FG2	-0.0015	-6.68	55.885	22.85	0.817
FG3	-0.0019	-23.27	85.832	68.04	0.982
FG4	-0.0010	-11.14	78.704	62.24	0.925
FG5	-0.0018	-10.37	69.616	29.98	0.915
FG6	-0.0014	-7.52	77.984	29.43	0.850
FG7	-0.0007	-7.72	84.690	59.80	0.856
FG8	-0.0023	-13.07	88.668	30.53	0.945
FG9	-0.0011	-10.28	79.368	49.10	0.913
FG10	-0.0004	-26.23	95.813	356.04	0.986
FG11	-0.0009	-12.37	88.837	79.92	0.939
FG12	-0.0016	-14.36	54.905	44.68	0.954
FG13	-0.0006	-8.31	85.157	77.28	0.873
FG14	-0.0019	-8.11	87.156	24.23	0.868
FG15	-0.0020	-11.37	85.721	31.99	0.928
FG16	-0.0010	-6.48	68.115	34.65	0.808
FG17	-0.0026	-26.49	84.133	55.29	0.986
FG18	-0.0025	-14.26	63.803	29.65	0.953
FG19	-0.0020	-18.11	100.886	52.46	0.970
FG20	-0.0015	-14.05	85.773	52.60	0.952

valor del índice de estabilidad estructural total. Este valor predeterminado de pendiente se estableció en -10^{-4} y depende de la dinámica de disgregación de los suelos estudiados. North (op. cit.) adoptó el criterio de hacer corresponder la medida de estabilidad estructural con los puntos de las curvas características a partir de los cuales, las pendientes se hacían menores de -10^{-2}. Sin embargo, en este trabajo se observó que el orden de los suelos en función de sus valores de EEt cambia según la pendiente se hace menor, hasta un valor de la misma, a partir del cual el orden se hace constante, salvo variaciones poco significativas. Este valor de pendiente para el cual el orden de estabilidad estructural es constante es el escogido para la obtención de la estabilidad estructural total. De esta forma, igualando la pendiente de cada curva al umbral definido (-10^{-4}), permite calcular el valor de t^*.

$$(3)\quad -10^{-4} = \frac{d\%AND}{dt} = K\,b\,e^{bt^*}$$

y operando, se obtiene,

$$(4)\quad t^* = \frac{L\left(\frac{-10^{-4}}{Kb}\right)}{b}$$

Este valor de t^*, expresado en segundos, se corresponde con el índice de estabilidad estructural total del suelo. Su transformación en unidades de energía es directa según la expresión (1).

Paralelamente, se determinó otro índice de estabilidad que aporta una información que matiza al anterior. Este índice, denominado EE50, se corresponde con el tiempo (t^{**}) de tratamiento ultrasónico a una potencia de salida dada, necesario para que se produzca el 50 % de

disgregación estructural. Se obtiene de las ecuaciones de las curvas cuando el valor de AND se hace igual a 50 %.

$$(5)\ \%AND = 50\,\% = K\,e^{b\,t^{**}}$$

despejando t^{**}, se obtiene el valor del índice.

$$(6)\ t^{**} = \frac{L\,50 - LK}{b} = EE50$$

Siguiendo estos criterios, el orden de los suelos en función de los valores obtenidos de estabilidad estructural total (EEt) es el que se recoge en la Tabla 4.

En la Tabla 5, se ordenan los suelos en función de los valores de EE50 que se corresponden con aquellos niveles de energía necesarios para extraer el 50 % de la arcilla total del suelo. Por otra parte, las áreas comprendidas bajo las curvas de disgregación de cada suelo, pueden ser interpretadas como un índice de dispersión de la arcilla (Stern et al.[1], op. cit.). Este índice podría expresar una velocidad de dispersión de forma que cuanto menor sea su valor, más fácilmente se habrá dispersado la mayor parte de la arcilla de las muestras. Basándose en los valores de EEt y EE50 se pueden obtener otros dos índices de dispersión. Esta operación se realiza integrando las respectivas formas funcionales de cada suelo entre 0 y dichos valores, obteniéndose el índice de dispersión total (IDt) y el índice de dispersión media (ID50) respectivamente.

$$(7)\ IDt = \int_0^{t^*} \%AND(t;K,b)\,dt = \int_0^{t^*} Ke^{bt}dE$$

en donde IDt es el índice de dispersión total, t* es el valor de estabilidad estructural total en

[1] En el caso de los aurores citados. *Dispersability Clay Index.*

Tabla 4. Valores de índices de estabilidad estructural total

Perfil	Tipo de suelo	EE (s)[1]	EEt (J/ml)[2]
1° FG10	Leptosol réndsico	14.297	2.917
2° FG13	Leptosol cútrico	10.756	2.194
3° FG 7	Leptosol réndsico	9.095	1.855
4° FG11	Leptosol réndsico	7.662	1.563
5° FG4	Regosol calcárico	6.815	1.390
6° FG16	Leptosol réndsico	6.663	1.359
7° FG9	Phaeozem calcárico	5.972	1.218
8° FG6	Phaeozem háplico	5.030	1.026
9° FG20	Arenosol háplico	4.847	989
10° FG1	Calcisol háplico	4.582	935
11° FG2	Luvisol cálcico	4.579	934
12° FG12	Arenosol háplico	4.229	863
13° FG14	Regosol cútrico	3.963	808
14° FG5	Arenosol calcárico	3.901	796
15° FG3	Leptosol réndsico	3.896	795
16° FG19	Arenosol háplico	3.825	780
17° FG15	Regosol calcárico	3.768	769
18° FG8	Fluvisol calcárico	3.270	667
19° FG18	Regosol calcárico	2.958	603
20° FG17	Fluvisol calcárico	2.954	603

1. Valor de estabilidad estructural en segundos.
2. Valor de estabilidad estructural en julios por ml de suspensión.

segundos de tratamiento, *%AND* y *t* son las variables de las curvas y, K y b, los parámetros de las mismas. De esta forma, operando.

$$(8)\ IDt = k\left[\frac{e^{bt}}{b}\right]_0^{t^*} = K\left[\frac{e^{bt^*}}{b} - \frac{1}{b}\right]$$

La obtención del índice de dispersión referido al valor de EE50, se realizaría de forma semejante, integrando entre los límites 0 y *EE50*. En la tabla 6 se muestra el orden que adquieren los suelos en función de ambos índices de dispersión.

CONCLUSIONES

Una vez revisadas diferentes metodologías de análisis de la estabilidad estructural de suelos, se optó por el proceder analítico desarrollado en este trabajo, basado en el empleo de ondas ultrasónicas, que ha sido aplicado en suelos que caracterizan el tramo medio de la vertiente norte de la cuenca del Duero. Esta metodologia ha permitido diferenciar los suelos en función de su estabilidad estructural.

Los índices propuestos -índices de estabilidad estructural total y media e índices de dispersión de arcilla total y media- son igualmente válidos para la determinación cualitativa de la estabilidad estructural de los suelos anteriormente citados.

Los suelos que caracterizan el área de estudio son Leptosoles réndsicos; suelos que cuando se desarrollan sobre material cretácico carbonatado, alcanzan la máxima estabilidad estructural.

Tabla 5. Valores de índices de estabilidad estructural media.

Perfil	Tipo de suelo	EE50(s)[1]	EE50(J/ml)[2]
1° FG10	Leptosol réndsico	1.551	316
2° FG13	Leptosol cútrico	924	188
3° FG 7	Leptosol réndsico	750	153
4° FG1!	Leptosol réndsico	662	135
5° FG4	Regosol calcárico	465	95
6° FG9	Phaeozem calcárico	405	83
7° FG20	Arenosol háplico	366	75
8° FG19	Arenosol háplico	353	72
9° FG6	Phaeozem háplico	319	65
10° FG16	Leptosol réndsico	316	64
11° FG14	Regosol cútrico	297	61
12° FG3	Leptosol réndsico	284	58
13° FG15	Regosol calcárico	273	56
14° FG8	Fluvisol calcárico	245	50
15° FG17	Fluvisol calcárico	200	41
16° FG5	Arenosol calcárico	180	37
17° FG1	Calcisol háplico	119	24
18° FG 18	Regosol calcárico	98	20
19° FG2	Luvisol cálcico	76	15
20° FG12	Arenosol háplico	58	12

1. Valor de EE50 en segundos.
2. Valor de EE50 en julios por ml de suspensión.

Tabla 6. Valores de índices de dispersión.

Perfil y tipo de suelo	IDt (x 1000)	Perfil y tipo de suelo	ID50 (x 1000)
FG10. Leptosol réndsico	227,9	FG10. Leptosol réndsico	109,2
FG13. Leptosol cútrico	147,6	FG13. Leptosol cútrico	61,0
FG7. Leptosol réndsico	120,4	FG7. Leptosol réndsico	49,3
FG11. Leptosol réndsico	102,3	FG11. Leptosol réndsico	44,8
FG4. Regosol calcárico	80,6	FG4. Regosol calcárico	29,4
FG16. Leptosol réndsico	69,7	FG9. Phaeozem calcárico	25,8
FG9. Phaeozem calcárico	69,5	FG19. Arenosol háplico	25,6
FG20. Arenosol háplico	58,2	FG20. Arenosol háplico	24,3
FG6. Phaeozem háplico	56,1	FG6. Phaeozem háplico	20,1
FG19. Arenosol háplico	50,7	FG14. Regosol cútrico	19,9
FG14. Regosol cútrico	46,7	FG3. Leptosol réndsico	18,9
FG3. Leptosol réndsico	45,2	FG16. Leptosol réndsico	18,6
FG15. Regosol calcárico	43,4	FG15. Regosol calcárico	18,1
FG1. Calcisol háplico	40,3	FG8. Fluvisol calcárico	16,6
FG2. Luvisol cálcico	38,1	FG17. Fluvisol calcárico	13,1
FG8. Fluvisol calcárico	38,0	FG5. Arenosol calcárico	10,7
FG5. Arenosol calcárico	37,9	FG1. Calcisol háplico	6,5
FG12. Arenosol háplico	34,2	FG18. Regosol calcárico	5,5
FG17. Fluvisol calcárico	32,3	FG2. Luvisol cálcico	4,0
FG18. Regosol calcárico	25,5	FG12. Arenosol háplico	3,1

REFERENCIAS

AFNOR (1982): Détermination du calcaire actif. NF. X-31-106.

BROERSMA, K., LAVKULICH, L.M. (1980): Organic matter distribution with particle size in surface horizon of some sombric soils in Vacouver Island. *Can. J. Soil Sci.* 60:583-586.

EDWARDS, A.P. & BREMNER, J.M. (1964): Use of sonic vibration for separation of soil particles. *Can. J. Soil Sci.* **18**, 64-73.

____ (1967a): Dispersion of soil particles by sonic vibration. *J. Soil Sci.*, **18**, 47-63.

____ (1967b): Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.*, **18**, 64-73.

HINDS, A.A., LOWE, L.E. (1980): The use of an ultrasonic probe in soil dispersion and in the bulk isolation of organo-mineral complexes. *Can. J. Soil Sci.* 60:398-392.

FAO (1977): *Guías para la descripción de perfiles.* Roma. 60 pp.

FAO (1991): *Mapa mundial de suelos.* Leyenda revisada. UNESCO.ISRIC.

GARRIDO, F. (1996): *Estabilidad estructural y erosionabilidad de suelos del tramo medio del Duero (Soria).* Tesis Doctoral. Univ. Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia.

IMESON, A.C. & VIS, M. (1984): Assessing soil aggregate stability by water-drop impact and ultrasonic dispersion. *Geoderma*, **34**, 185-200.

ISRIC (1993): Procedures ofr soil analysis. 4ª ed. *International Soil Reference and Information Centre*. Wageningen.

LEVY, G.J., AGASSSI, M., SMITH, H.J.C., STERN, R. (1993): Microaggregate stability of kaolinitic and illitic soils determinedby ultrasonic energy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **57**, 803-808.

MOEN, D.E., RICHARDSON, J.L. (1984): Ultrasonic dispersion of soil aggregates stabilized by polyvinil alcohol and T403-glyoxal polymers. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **48**, 628-631.

NORTH, P.F. (1976): Towards an absollute measurement of soil structural stability using ultrasound. *J. Soil Sci.* **27**, 451-459.

____(1979): Rothamsted studies of soil structure VI. Assessment of the ultrasonic method of determinig soil structural stability in relation to soil management properties. *J. Soil Sci.* **30**, 463-472.

OADES, J.M. & WATERS, A.G. (1991): Aggregate hierachy in soils. *Aust. J. Soil Res.* **29**, 815-828.

RENGASAMY, P, GREENE, R.S.B., FORD, G.W., MEHANI, A.M. (1984): The role of clay fraction in the particle arragement and stability of soil aggregates. A review. *Clay Res.* **3**, 53-67.

RUSSELL, M.B., FENG, C.L. (1947): Characterization of the stability of soil aggregates. *Soil Sci.* 63:299-304.

STERN, R., EISENBERG, B.E., LAKER, M.C. (1991): Correlation between microaggregate stability and soil surface susceptibility to runoff and erosion. *S. Afr. Tydskr. Plant Soil*, **8**(3), 136-140.

WATSON, J.R., PARSONS, J.W. (1974): Studies of soil organo-mineral fractions. I. Isolation by ultrasonic dispersion. *J. Soil Sci.* 25:1-8.