



EFECTO DE LA ADICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA FLUIDA EN LA ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS DEL SUELO (MONEGROS, DEPRESIÓN DEL EBRO).

Effect of fluid organic matter addition on soil aggregate stability (Monegros, Ebro Depression).

G. Desir ⁽¹⁾ y J. Sirvent ⁽²⁾

(1) Departamento de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 12. 50009 Zaragoza. e-mail: gdesir@posta.unizar.es

(2) Diputación General de Aragón. Departamento de Industria, Consumo y Desarrollo. Edificio Pignatelli. Paseo María Agustín. 50004 Zaragoza.

Resumen: El uso estiércoles ha sido tradicionalmente utilizado en la agricultura, para optimizar y mejorar el rendimiento de suelos agrícolas ya anteriormente degradados y sobreexplotados. Este trabajo es un intento de establecer la utilidad y viabilidad de esta técnica en la mejora de la estabilidad del suelo. Se han estudiado la estabilidad de los agregados en dos tipos de suelos, arcillosos y yesíferos, y su comportamiento frente a la erosión mediante diferentes ensayos. Se trata, por un lado, de suelos naturales, y por otro, de suelos preparados con una carga equivalente a 21 m³/Ha de purín. Los resultados demuestran que, en función del contenido previo en materia orgánica del suelo, esta práctica tradicional puede generar graves consecuencias al disminuir la agregabilidad del suelo, aumentando la erodibilidad del mismo.

Palabras clave: estabilidad agregados, materia orgánica, estiercoles fluidos, erodibilidad.

Abstract: The use of manure has been a traditional management in agriculture, in the way to optimise and improve the efficiency of agricultural soils already degraded and overfarmed. This paper tries to establish the utility and feasibility of this technique in the improvement of soil stability. Aggregate stability of two soils, one on clays and the other over gypsum, and its response to erosion processes has been studied with several essays. Soils are on one hand, natural soils and, on the other, soil with manure in a proportional charge of 21 m³/Ha. Results show that, in terms of initial soil organic matter content, this traditional practice could give place to serious damages as a consequence of diminishing aggregate stability and increasing its erodibility.

Key words: aggregate stability, organic matter content, fluid manure, erodibility.



Desir, G. y Sirvent, J. (2001). Efecto de la adición de materia orgánica fluida en la estabilidad de los agregados del suelo (Monegros, Depresión del Ebro). *Rev. C. & G.*, 16 (1-4), 21-32.

1. Introducción

La región de los Monegros es una de las más áridas de la cuenca del Ebro. Sus suelos, pobres en

materia orgánica, su rigurosa climatología y la práctica de una agricultura intensiva, conllevan a una sobreexplotación de los mismos en busca de un rendimiento mayor. Tradicionalmente, y debido a

las características antes señaladas, se ha venido practicando una agricultura de alternancia anual de cultivo y barbecho, con el fin que el suelo pueda recuperarse parcialmente y así, aumentar el rendimiento en el año de siembra.

Sin embargo, actualmente, y dada la mecanización del campo se ha abandonado esta práctica, optando por una explotación anual, en la cual el periodo de descanso es suplido por la adición de abonos y fertilizantes, tanto sintéticos como naturales. A todo esto debe añadirse el gran desarrollo experimentado por la actividad ganadera, como consecuencia de una mayor demanda de estos productos, que ha supuesto también un aumento de los residuos generados por las explotaciones pecuarias. Estos residuos, especialmente los estiércoles fluidos, representan un grave problema debido a su toxicidad, difícil manejo y costoso almacenamiento.

Por todo ello, y como consecuencia de la práctica tradicional del uso de estiércoles como fertilizantes, además de la posible disminución del problema de almacenamiento que implica su utilización de un modo más generalizado, se ha estudiado el efecto de la adición de estiércoles fluidos de cerdo sobre la estabilidad de los suelos. El porcentaje de agregados y su distribución por tamaños son los parámetros más importantes que controlan la estabilidad de la estructura y su nivel de resistencia a los factores externos (Jaiyeoba y Ologe, 1990).

2. Area de estudio

Las zonas objeto de este estudio pertenecen al sector central de la Depresión del Ebro, constituido por materiales arcillosos de origen continental que orlan los depósitos evaporíticos pertenecientes a la secuencia terminal de sedimentación de la Cuenca, ambos de edad miocena. El relieve del área evaporítica central se encuentra estructurado en una sucesión de pequeños cerros alomados, circundados por amplios valles de fondo plano, cuyos suelos han sido tradicionalmente utilizados para cultivos. Los materiales arcillosos pertenecientes a la depresión presomontana de Sariñena, aparecen estructurados en un amplio sistema de glaciares escalonados que partiendo de la plataforma carbonatada de Alcubierre enlazan con los niveles de terraza del río Flumén.

Climáticamente, el área se centra dentro del ámbito semiárido, con un clima mediterráneo continental, donde las temperaturas extremas y las escasas precipitaciones nos marcan la elevada aridez de esta zona. Las precipitaciones, escasas e irregulares, con valores medios anuales en torno a 350 mm se centran en dos máximos, uno en primavera y otro en verano. La temperatura media se encuentra alrededor de 15 °C.

Los suelos presentes en el área de estudio presentan bajos contenidos en materia orgánica, en muchos casos, son suelos salinos y de escasa potencia y desarrollo y, carentes de horizontes diagnósticos bien diferenciados. Los más extendidos en el sector central desarrollados sobre los sedimentos yesíferos son de tipo leptosol, pobres en materia orgánica, pulverulentos, con gran cantidad de sales que sustentan una vegetación rala que se concentran en los relieves alomados. En los valles de fondo plano (vales) se desarrollan suelos con un mayor contenido en materia orgánica y más aptos para la agricultura, son suelos predominantemente de tipo gypsisol. Por otro lado, los suelos desarrollados sobre las arcillas y areniscas de la depresión presomontana son de tipo cambisol en los glaciares y terrazas y, regosol, en las laderas desnudas donde los procesos de erosión son importantes.

La climatología, de carácter semiárido, junto con la presencia de suelos poco fértiles dan lugar a un entorno de elevada fragilidad, donde las actuaciones antrópicas pueden dar lugar a procesos de degradación irreversibles.

3. Metodología

Los suelos objeto de este estudio se seleccionaron por su amplia extensión dentro de la Depresión del Ebro y su alta erodibilidad (López Cadenas et al., 1987; Sirvent et al., 1997; Desir et al., 1995; Gutiérrez et al., 1995). Dado que el objetivo principal de este trabajo era estudiar el efecto de la adición de materia orgánica en la estabilidad del suelo, se optó por reproducir en los suelos tratados, una de las técnicas agrícolas tradicionales más extendidas, la adición de estiércoles fluidos para obtener una mejora de la productividad de los campos de cultivo y, comparar la respuesta de las muestras, «inalteradas» y tratadas, frente a los test de estabilidad.

Los puntos de muestreo seleccionados (Figura 1) se encuentran en los municipios de Lanaja (Huesca), los cambisoles y regosoles desarrollados sobre materiales arcillosos y, de La Puebla de Alfindén (Zaragoza), los leptosoles, respectivamente. De cada uno de ellos se tomaron cinco muestras correspondientes a los 10 cm más superficiales. Por cada muestra se tomó un duplicado, con el que posteriormente se creó el suelo tratado con purín. Con el fin de partir de condiciones iguales, el tratamiento dado a ambos suelos fue el mismo a excepción de la adición del estiércol en los suelos tratados.

La técnica de recreación del suelo utilizada se basó en la prácticas agrícolas empleadas en situaciones reales como son el arado, que supone una disgregación mecánica y rotura de las capas superficiales del suelo, y del riego a manta, en la cual se produce la saturación de los niveles más superficial del suelo. En el laboratorio, las muestras fueron secadas al aire y tamizadas por 2 mm para posteriormente recrear la generación de un suelo. El hecho de tamizar las muestras por 2 mm se llevó a cabo para separar los cantos y bloques presentes. Dado que la agregación se produce mejor para con-

tenidos de humedad próximos a la capacidad de campo (Gabriels y De Boodt, 1975), se adicionó a una cantidad conocida de material agua destilada y se removió hasta conseguir una pasta homogénea con un contenido en agua próximo a la saturación. Este material se colocó en 20 bandejas de 45 x 25 x 41 cm. hasta obtener un espesor de aproximadamente 7 cm. Los suelos presentes en el área de estudio presentan una potencia media de 2-5 cm en los syrosemes y de 10-15 cm los yermosoles, por lo cual se consideró apropiado el espesor seleccionado para las réplicas. Tras ello, se dejó reposar durante dos meses para permitir una buena estructuración del nuevo suelo creado.

Paralelamente se repitió la operación, en las muestras duplicadas, añadiendo, en lugar de agua, una solución de agua destilada con una cantidad de purín equivalente a 21 m³/Ha. Este contenido se consideró adecuado pues se recomienda una adición entre 20 y 30 m³/Ha de purín fluido para el cultivo de cereal de invierno (Bayona, 1992). Posteriormente, y al igual que los anteriores se dejaron reposar durante un periodo de 2 meses, de modo que tuviera lugar la agregación y estructuración de los suelos.

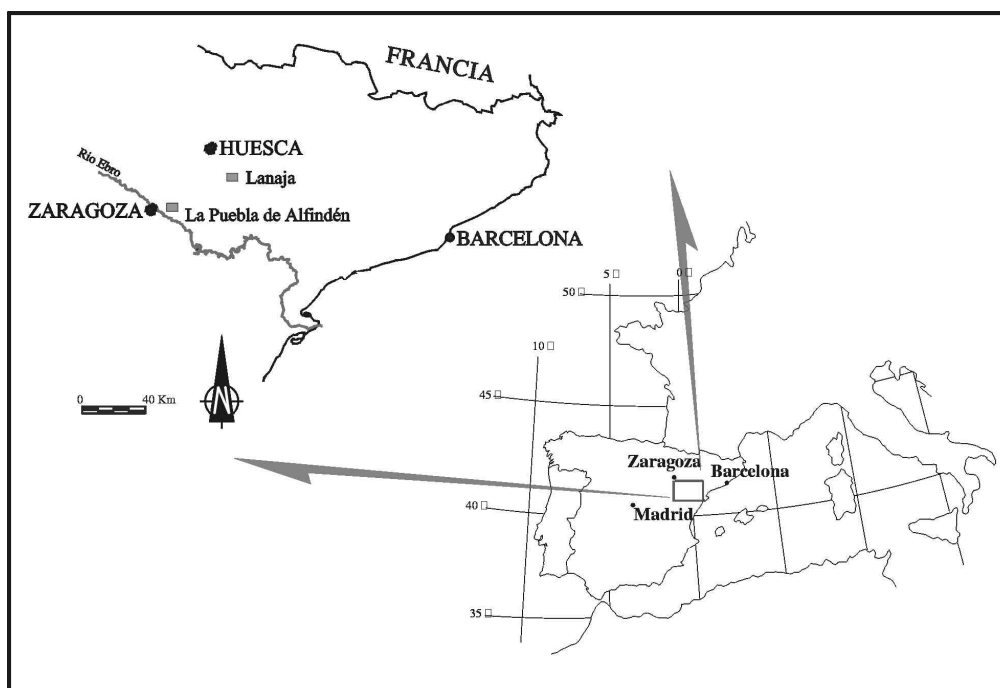


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.
Figure 1. Study area geographic location.

Una vez transcurrido el tiempo considerado necesario para la formación, se procedió al disgregado manual de los veinte suelos y al muestreo de los mismos para la realización de las diferentes determinaciones. En primer lugar, se realizaron los análisis granulométricos mediante tamizado en seco para las fracciones mayores y de la pipeta de Robinson para las fracciones menores. En el caso de las arcillas se empleo agua destilada, mientras que para los yesos se escogió etanol, dada la alta solubilidad en agua de estos materiales. De los análisis granulométricos se obtuvieron los índices de arena fina + limo (Wiscmeier et al., 1971), y los porcentajes en peso de las diferentes fracciones.

Por otro lado, se determinaron sobre muestra directa los contenidos de materia orgánica mediante el método de Walkey y Black (1934), así como de carbonatos mediante el calcímetro de Bernard. También se determinaron sobre muestra de suelo el pH 1:2.5 y la conductividad eléctrica 1:5.

Para analizar la erodibilidad del suelo se emplearon dos metodologías. Por un lado, se empleó el nomograma de Wischmeier (1978) para el cálculo empírico de la K de los suelos neoformados. Y por otro se analizó la estabilidad de los agregados mediante el test de la gota o CDN (*Counting Drop Number*) (Imeson y Vis, 1984), el test de ultrasonidos y el test de Emerson (Cerdá et al., 1996), pues la estabilidad de los agregados se considera, tradicionalmente una medida directa de la erodibilidad del suelo (Lal, 1988; Cerdá et al., 1996). Finalmente, se analizó la relación existente entre los índices de estabilidad de agregados obtenidos y el Factor K (Wischmeier, 1978), teniendo en cuenta que el test de la gota o CDN simula la respuesta de un suelo durante los primeros momentos de la lluvia cuando el suelo todavía está seco, así como, su resistencia a la disgregación por el impacto de la gota y la respuesta del mismo a la humectación (Imeson y Jungerius, 1976). Mientras que, por otro lado, el valor de K obtenido puede considerarse un índice de susceptibilidad a erosionarse una partícula del suelo como efecto de la arroyada (Bryan et al., 1989) y una medida del valor medio de la misma a largo plazo (De Ploey y Poesen, 1985).

La determinación de la estabilidad de los agregados se realizó mediante tres tipos de ensayos. Por un lado, se aplicó el test CDN o *Counting Number*

of Drops (Imeson y Vis, 1984) que se basa en contabilizar el número de gotas necesario para romper un agregado de 4.8 - 4 mm hasta que pase por el tamiz de 2 mm. Basándose en los trabajos de MacCalla (1944) y de Low (1954) se emplearon gotas de agua destilada de 4.9 mm de diámetro y 0.049 g, de peso que se dejaron caer desde una altura de 1 m, a un ritmo de aproximadamente 1 gota por segundo alcanzando una energía cinética de 0.489 J. en el momento del impacto. A fin de estabilizar las condiciones de salida de la gota, se empleó una bureta de recarga continua para mantener constante la altura de la columna de agua. El test se repitió al menos 20 veces, contabilizándose un máximo de 200 impactos para suelos no degradados y de 100 para suelos degradados siguiendo la metodología descrita por Cerdá (1994). Los resultados del test vienen expresados en función de I_{50} , o el número de gotas o impactos necesarios para romper el 50% de los agregados de la muestra.

En segundo lugar, se realizó el test de Ultrasonidos (Imeson y Vis, 1984), consistente en sumergir 20 agregados de 4.8 - 4 mm en un baño de ultrasonidos con un tamiz de 2 mm en su interior. El índice calculado se corresponde con el tiempo necesario para que el 50% de los agregados atraviesen dicho tamiz. Para ello se utilizó un baño de ultrasonidos Selecta, de 150W de potencia constante, lleno de agua destilada. Debido al hinchamiento diferencial, sobre todo si partimos de condiciones bajas de humedad previa (Bergsma y Valenzuela, 1981; Morgan, 1986; Gerits et al., 1990) un factor muy importante a tener en cuenta es la destrucción de los agregados cuando son sumergidos en agua. Por ello se optó por repetir el test de ultrasonidos empleando un líquido inerte, etilenglicol en el caso de los suelos arcillosos.

El último realizado fue el test de Emerson (Cerdá et al., 1996), con este test se perseguía conocer en qué medida la destrucción de los agregados sometidos al test de ultrasonidos era debida al efecto físico producido por los ultrasonidos o al efecto de la dispersión química provocada por el agua.

Finalmente, para discernir el peso de todas las variables en la agregación y evaluar el efecto de la adición de materia orgánica en el suelo, se realizó un análisis estadístico mediante una correlación múltiple de todas las variables.

4. Resultados

Seguidamente se exponen los resultados de los diferentes ensayos realizados para establecer la incidencia en la estabilidad de la adición de estiércoles fluidos en los suelos. A los suelos a los que se ha adicionado purines se les denominará genéricamente como suelos tratados, siendo a su vez los no tratados aquellos a los que no se ha añadido purín. Finalmente, señalar que este apartado se ha subdividido en dos partes en función de la naturaleza del material parental del suelo: arcillosos (LN), y yesíferos (LP), tomados en los alrededores del municipio de La Puebla de Alfindén.

4.1. Suelos sobre materiales arcillosos.

En los suelos tratados, LN*, el primer resultado que se desprende del análisis de la estabilidad de los agregados es el aumento de la misma respecto a los suelos sin tratar, LN, cuando se comparan los índices de estabilidad obtenidos (Tabla 1) con ambas metodologías (Figura 2). Los contenidos en materia orgánica en los suelos sin tratar, LN, son bajos oscilando alrededor de 0.3%. Cuando a estos suelos se les adiciona purín, LN*, el aumento del contenido en materia orgánica es de aproximadamente el doble en todas las muestras a excepción de la muestra LN3*, donde el aumento ha sido del orden de tres veces mayor (Tabla 1). Por otro lado, el contenido en carbonatos disminuye cuando adicionamos purín al igual que el pH. Por el contrario, se produce un aumento muy importante de la conductividad eléctrica lo cual puede deberse al

aumento de sales disueltas como consecuencia de la adición de purín.

Los resultados del Test de Emerson muestran como el tiempo para que se produzca la disgregación total de la muestra aumenta en las muestras tratadas, LN*. Ello se debe a que la adición de purín supone un aumento importante del contenido en calcio, de manera que se produce un mayor intercambio de calcio con el sodio en el complejo de cambio disminuyendo la dispersibilidad. Por otro lado, la diferencia existente entre los resultados obtenidos en el test de ultrasonidos, en función del uso o no de líquidos polares (Figura 2) se explica si comparamos los resultados del test de Emerson, que mide la dispersión del material en agua y el test de ultrasonidos realizado con agua destilada. Así, tenemos que los resultados de ambos son muy próximos por lo que se puede inferir que el efecto de los ultrasonidos sobre la estabilidad de los agregados queda enmascarado por la acción dispersante del agua (Tabla 1). Finalmente, también se observa una clara disminución de la erodibilidad potencial, o Factor K, cuando se adiciona purín (Figura 2; Tabla 1)

Con los resultados obtenidos de cada una de las 10 muestras (Tabla 1) se llevó a cabo un análisis estadístico para conocer cual era la interdependencia de cada uno de los factores. Se consideró que una relación era estadísticamente significativa cuando el coeficiente de correlación era superior a 0.65. En la Tabla 2 se presenta la matriz de correlación integrada por los parámetros analizados en los suelos arcillosos. En primer lugar, el hecho más destacable es la baja correlación que presenta

Tabla 1. Principales resultados obtenidos con las diferentes metodologías empleadas.
Table 1. Main results obtained from the application of the several methodologies applied.

Muestra	Test CDN	Ultrasonidos (sg)	Ultrasonidos E. (sg)	Test Emerson	Factor K	cE dS/m	pH	%Mat. Org.	CO ₃ ²⁻
LN1	29	41	104	45	0,31	1,30	8,6	0,30	32
LN2	22	52	124	55	0,41	1,90	8,5	0,30	33
LN3	35	39	67	40	0,34	1,60	8,5	0,30	32
LN4	17	41	60	45	0,46	1,00	8,6	0,20	33
LN5	20	65	150	70	0,34	1,30	8,6	0,30	31
LN1*	85	150	420	150	0,13	4,14	7,94	0,62	24
LN2*	50	100	250	100	0,12	3,51	7,92	0,57	28
LN3*	74	84	250	84	0,13	3,48	7,96	0,95	26
LN4*	62	90	210	90	0,12	0,91	8,33	0,48	29
LN5*	102	105	315	105	0,12	1,79	8,01	0,59	28

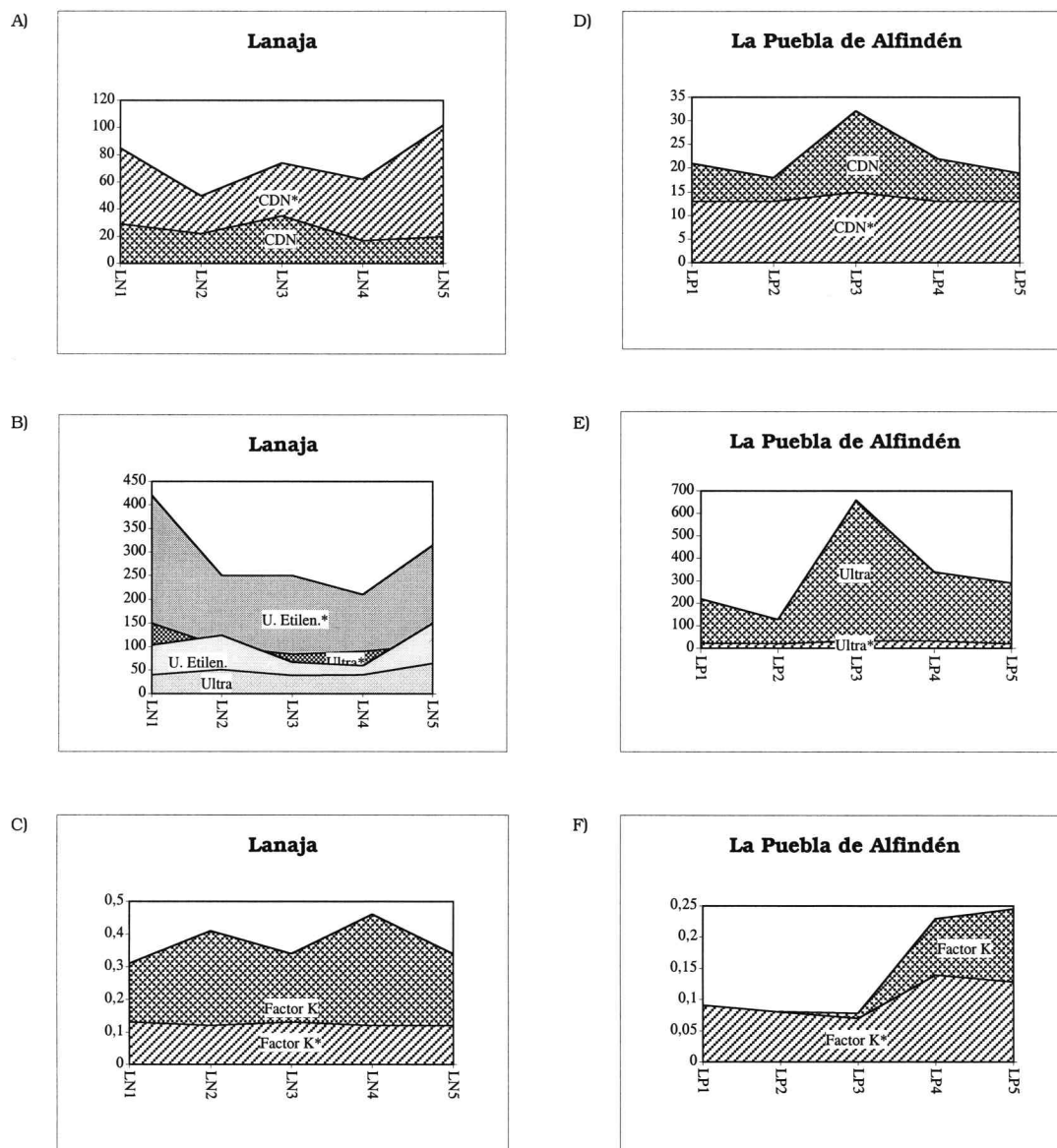


Figura 2. Graficos comparativos de los resultados obtenidos con cada una de las metodologías empleadas A) y D) Test CDN; B) y E) Test de Ultrasonidos y C) y F) Factor K. En todos los casos los asteriscos corresponden a las muestras tratadas.

Figure 2. Comparative graphics from the results obtained with the different methodologies applied. A) y D) Test CDN; B) y E) Ultrasons Test and, C) y F) K Factor. In all cases asterisk corresponds to treated samples.

los resultados del test de la gota (CDN) con el resto de los factores considerados debido a que, por tratarse de un suelo arcilloso con altos contenidos en sodio, los efectos de los procesos dispersivos de carácter químico priman sobre los de naturaleza física. Sin embargo, los índices de estabilidad obtenidos mediante el método de ultrasoni-

dos con agua destilada, Test Ultras., guardan una clara relación, (0.99), con el test de Emerson (Tabla 2). Esta relación se vuelve sensiblemente menor, (0.89), cuando comparamos con los resultados del test de ultrasonidos con etilenglicol, Test Ultras.E. Ello se debe al reducido poder de interacción química de esta sustancia, evidenciándose

así la potenciación de la dispersión química por efecto de la agitación.

Según queda reflejado en la Tabla 1, para los suelos arcillosos a los que se les agregó purín no existe una relación clara entre el número de gotas necesario para romper los agregados (I_{50}) y el resto de parámetros considerados, al igual que ocurre con los suelos sin tratar. Sin embargo, la desintegración de los agregados por ultrasonidos guarda una relación perfecta ($X = 1$) con el test de Emerson, así como una alta correlación positiva con el baño de ultrasonidos con etilenglicol (0.94).

Por otro lado, el contenido de carbonato se correlaciona de forma inversa con el factor K de la USLE (-0.90) y la estabilidad de los agregados en etilenglicol (-0.80) (Tabla 2).

Cuando se analizan conjuntamente los suelos arcillosos sin tratar, LN y, los tratados con purín, LN*, la matriz de correlación (Tabla 2) muestra una buena correlación entre todos los índices de estabilidad empleados y con el resto de los parámetros analizados, salvo para la conductividad eléctrica del suelo. También el método de ultrasonidos, tanto utilizando agua destilada como etilen-

Tabla 2. Matrices de correlación para cada uno de los suelos arcillosos con las diferentes variables consideradas en el análisis de la estabilidad.
Table 2. Correlation matrixes from each clay soil samples with the different variables analysed in the stability.

Suelos arcillosos no tratados (LN) (N=5; Nivel de significación estadística 0.65)

	Test CDN	Test Ultrasonidos	Test Ultrasonidos E.	Test Emerson	Factor K
Test CDN	1,00	-0,50	-0,28	-0,55	-0,68
Test Ultrasonidos	-0,50	1,00	0,90	0,99	-0,11
Test Emerson	-0,55	0,99	0,90	1,00	-0,09
Test Ultrasonidos E.	-0,28	0,90	1,00	0,90	-0,36
Factor K	-0,68	-0,11	-0,36	-0,36	1,00
cE	0,38	0,14	0,31	0,06	-0,16
pH	-0,49	0,17	0,13	0,27	-0,05
Mat. Org.	0,58	0,34	0,60	0,28	-0,80
CO ₃ ⁼	-0,23	-0,53	-0,53	-0,53	0,77

Suelos arcillosos tratados (LN*) (N=5; Nivel de significación estadística 0.65)

	Test CDN	Test Ultrasonidos	Test Ultrasonidos E.	Test Emerson	Factor K
Test CDN	1,00	0,38	0,61	0,38	0,22
Test Ultrasonidos	0,38	1,00	0,94	1,00	0,39
Test Emerson	0,38	1,00	0,94	1,00	0,94
Test Ultrasonidos E.	0,38	0,94	1,00	0,38	0,58
Factor K	0,22	0,39	0,58	0,39	1,00
cE	-0,07	0,50	0,55	0,50	0,70
pH	-0,18	-0,37	-0,52	-0,37	-0,44
Mat. Org.	0,14	-0,25	-0,01	-0,25	0,73
CO ₃ ⁼	-0,33	-0,72	-0,80	-0,72	-0,90

Análisis conjunto suelos arcillosos (LN + LN*) (N=10; Nivel de significación estadística 0.65)

	Test CDN	Test Ultrasonidos	Test Ultrasonidos E.	Test Emerson	Factor K
Test CDN	1,00	0,81	0,87	0,80	-0,87
Test Ultrasonidos	0,81	1,00	0,98	0,99	-0,81
Test Emerson	0,80	0,99	0,98	1,00	-0,80
Test Ultrasonidos E.	0,87	0,98	1,00	0,98	-0,83
Factor K	-0,87	-0,81	-0,83	-0,80	1,00
cE	0,52	0,71	0,73	0,70	-0,57
pH	-0,85	-0,85	-0,87	-0,83	0,87
Mat. Org.	0,78	0,66	0,73	0,64	-0,82
CO ₃ ⁼	-0,85	-0,92	-0,94	-0,91	0,88

glicol, mantiene una alta correlación con el resto de las variables consideradas (Tabla 2), a excepción de la salinidad y del contenido en materia orgánica del suelo. Además, el grado de relación es casi total (0.99) entre los índices derivados del baño de ultrasonidos con agua y los obtenidos al aplicar el test de Emerson. Por último, cabe reseñar que el factor K de la USLE presenta una buena relación con todos los valores integrados en el análisis estadístico salvo, como se ha indicado con anterioridad, con la salinidad del suelo.

4.2 Suelos yesíferos.

Los resultados obtenidos aparecen reflejados en la Tabla 3. El contenido en carbonatos oscila entre el 8 y el 18 % en las muestras no tratadas, LP, y entre el 11 y el 24 % en las tratadas, LP* (Tabla 3). Los contenidos medios son mayores en las muestras tratadas, 16.4%, que en las sin tratar, 13.2%. Esto mismo sucede, si tomamos en consideración el pH y la materia orgánica. El pH aumenta en las muestras en las que se ha adicionado estiércol, pasando de valores en torno a 7.5 hasta valores cercanos a 8.0. Igual ocurre con la materia orgánica, donde la adición de estiércoles fluidos se traduce de manera directa en un aumento en torno a un 1% de valor medio. El máximo aumento corresponde a la muestra LP3 con un 2.75%, y el mínimo, 0.39%, a la muestra LP4. Por otro lado, cuando adicionamos purín se produce una disminución de la conductividad eléctrica pasando de 2.13 dS/m en los suelos sin tratar, LP, a 2.04 dS/m en los suelos tratados, LP*.

Los resultados provenientes del estudio de la estabilidad de los agregados, mediante los diferentes test, CDN, y ultrasonidos muestran un efecto negativo de la adición de purín (Figura 2). El primer test realizado fue el de la gota (CDN), los resultados (Tabla 3) muestran, en primer lugar tenemos que son más estables las muestras no tratadas, LP, que las muestras tratadas con estiércoles, LP* (Tabla 3). La respuesta de estos suelos es muy homogénea frente al test de la gota, $I_{50} = 13$, a excepción de la muestra LP3*, que presenta un valor ligeramente superior, $I_{50} = 15$. No obstante, el hecho más notable es la disminución de la estabilidad, contrariamente a lo que cabría esperar, de la estabilidad al adicionar materia orgánica al suelo.

Este hecho se observa, de una manera todavía más notable, con los resultados obtenidos del test de ultrasonidos (Tabla 3). En ellos se observa como existe una diferencia, del orden de 10 veces mayor, en el tiempo necesario para que se disgregue el 50% de los agregados para las muestras en las que no se ha adicionado purín, LP, frente a las que sí, LP*. Los valores medios de los tiempos es de 327 s. frente a 25. Previamente se realizó el test de Emerson, con el fin de comprobar la validez del test de ultrasonidos, así los resultados obtenidos muestran que los tiempos de dispersión de los agregados en agua eran elevados (Tabla 3), de modo que se puede inferir la validez del test de ultrasonidos al no existir una dispersión alta.

Estadísticamente, tenemos que cuando analizamos la respuesta de los suelos yesíferos no tratados, LP, el coeficiente de correlación entre ambos test, CDN y ultrasonidos, presenta un valor alto

Tabla 3. Principales resultados obtenidos con las diferentes metodologías empleadas.
Table 3. Main results obtained from the application of the several methodologies applied.

Muestra	Test CDN	Ultrasonidos (sg)	Factor K	cE dS/m	pH	%Mat. Org.	CO ₃ ⁼
LP1	21	220	0,08	2,10	7,75	1,80	18
LP2	18	127	0,08	2,15	7,56	2,18	16
LP3	32	660	0,08	2,12	7,49	3,50	11
LP4	22	340	0,23	2,13	7,67	1,01	8
LP5	19	290	0,25	2,15	7,70	1,44	13
LP1*	13	22	0,09	2,03	7,95	2,54	24
LP2*	13	20	0,08	2,02	7,96	2,77	17
LP3*	15	32	0,07	2,19	7,70	6,24	16
LP4*	13	33	0,14	1,97	8,00	1,40	11
LP5*	13	20	0,13	2,01	7,93	2,43	14

(0.70) (Tabla 4). El test de ultrasonidos indica que el principal agente controlador de la estabilidad es la materia orgánica, con la que presenta una relación estadísticamente significativa y negativa (-0.99). Esta relación inversa también aparece reflejada en la Tabla 3 donde el tiempo necesario para romper un agregado es mayor cuanto menor es el contenido en materia orgánica, a excepción de la muestra LP3. Esta aún a pesar de presentar el mayor contenido en materia orgánica, 3.5%, es la que presenta una mayor estabilidad. Esta diferencia suponemos está condicionada por la diferente naturaleza de la materia orgánica que la compone al tratarse de una muestra tomada bajo una planta. Además de con el contenido en materia orgánica el test de ultrasonidos presenta una relación negativa

con el contenido en carbonatos totales, (-0.81). Así como con el índice de erodibilidad de Wischmeier (K), (0.86) (Tabla 4).

Sin embargo, cuando se realiza el análisis estadístico de los resultados obtenidos en los suelos yesíferos tratados, LP*, el hecho más destacable de la matriz de correlación (Tabla 4) es la ausencia de correspondencia entre los índices obtenidos mediante ambas metodologías. La respuesta de la estabilidad medida mediante el test de ultrasonidos parece estar controlada por la materia orgánica, la conductividad eléctrica y el pH tal y como indican los coeficientes de correlación obtenidos superiores a (0.90) (Tabla 4).

Finalmente, en el análisis en conjunto de todos los suelos yesíferos, LP + LP*, se observa una

Tabla 4. Matrices de correlación para cada uno de los suelos yesíferos con las diferentes variables consideradas en el análisis de la estabilidad.
Table 4. Correlation matrixes from each gypsiferous soil samples with the different variables analysed in the stability.

Suelos yesíferos no tratados (LP) (N=5; Nivel de significación estadística 0.65)

	Test CDN	Test Ultrasonidos	Factor K
Test CDN	1,00	0,70	0,25
Test Ultrasonidos	0,70	1,00	0,86
Factor K	0,25	0,86	1,00
cE	-0,70	-0,11	0,41
pH	0,38	0,59	0,40
Materia Org.	-0,72	-0,99	-0,85
CO ₃ ⁼	-0,43	-0,81	-0,88

Suelos yesíferos tratados (LP*) (N=5; Nivel de significación estadística 0.65)

	Test CDN	Test Ultrasonidos	Factor K
Test CDN	1,00	0,03	-0,47
Test Ultrasonidos	0,03	1,00	0,65
Factor K	-0,47	0,65	1,00
cE	0,41	-0,90	-0,82
pH	0,07	0,91	0,32
Materia Org.	0,13	-0,97	-0,82
CO ₃ ⁼	0,83	-0,54	-0,76

Análisis conjunto suelos yesíferos (LP+LP*) (N=10; Nivel de significación estadística 0.65)

	Test CDN	Test Ultrasonidos	Factor K
Test CDN	1,00	0,98	0,05
Test Ultrasonidos	0,98	1,00	0,21
Factor K	0,05	0,21	1,00
cE	0,50	0,44	0,10
pH	-0,82	-0,74	0,06
Materia Org.	-0,03	-0,11	-0,59
CO ₃ ⁼	-0,43	-0,50	-0,59

buena correlación entre ambos métodos, el test CDN y Ultrasonidos, (0.98), lo que indica una paridad de resultados en cuanto a la estabilidad de los agregados, indistintamente de la metodología empleada (Tabla 4). Para ambas técnicas se observa una correlación alta y negativa con el pH, (-0.82) y (-0.74) para el test CDN y ultrasonidos, respectivamente. La materia orgánica no muestra ninguna correlación con la estabilidad. Sin embargo, el quimismo, aunque de un modo muy somero, sí parece afectar la estabilidad de los agregados. Por último, destacar que no se observa ninguna relación entre la erodibilidad del suelo, entendida como la K de Wischmeier, y los test empleados.

5. Discusión

Como ya se ha señalado, el objetivo principal de este trabajo es establecer el efecto de la adición de materia orgánica, estiércoles fluidos, sobre la estabilidad del suelo y de los agregados. El papel de la materia orgánica en la estabilidad del suelo ha sido tradicionalmente reconocido. Son numerosos los autores que señalan el efecto positivo de la materia orgánica en la agregación y la estructura del suelo (Monnier, 1965; Quansah, 1981; Tisdall y Oades, 1982; Oades, 1984; Gerits et al., 1990). Por otro lado, la cantidad de materia orgánica presente en el suelo y su grado de descomposición han sido siempre consideradas pautas para determinar el grado de madurez y evolución de un suelo. Desde el punto de vista erosivo, la erodibilidad del suelo también está profundamente marcada por el porcentaje de materia orgánica presente en el mismo. Así, Luk (1979) y Ekwue (1991) señalan que la materia orgánica condiciona de manera exponencial el grado de disgregación del suelo. Suelos con un porcentaje inferior al 2% pueden considerarse erosionables. Algunos autores (Hartmann y De Boodt, 1974; Richter y Negendank, 1977) encuentran un límite en torno al 2 % de contenido en materia orgánica, donde por encima del cual los suelos son estables, sobre todo cuando presentan un contenido pobre en arcillas. Es importante señalar que no todos los autores sitúan el límite de estabilidad en torno al 2%, este porcentaje puede variar según los diferentes autores oscilando entre el 3-4% (Eimberck 1990), al 0-18% (Ekwue, 1991b).

Como se desprende de los resultados obtenidos, los suelos arcillosos no tratados, LN, con contenidos inferiores al 1% en materia orgánica (Tabla 1) presentan una mayor estabilidad y menor erodibilidad cuando se les adiciona materia orgánica en forma de purín, LN*. La acción del aumento en el contenido de materia orgánica se traduce en un aumento de la estabilidad siendo necesario casi el doble de gotas en el test CDN y el doble de tiempo para romper un agregado aislado (Tabla 1). Ello es acorde con lo que señalan diversos autores (Farres, 1980; Marshall y Holmes, 1988) según los cuales la adición de materia orgánica dentro de un determinado rango de estabilidad, especialmente cuando los contenidos son inferiores al 2%, tal como ocurre con los suelos arcillosos, da lugar a un aumento de la estabilidad.

Por el contrario, en los suelos yesíferos el efecto de la adición de estiércoles es contraria a la esperada, dando lugar a una notable disminución de la estabilidad. Así, se observa como la estabilidad de los agregados decrece especialmente si tenemos en cuenta los resultados del test de ultrasonidos después de tratar el suelo con purines (Tabla 3). El efecto negativo aparece reflejado en los índices de correlación negativos obtenidos entre el resultado del test de ultrasonidos y el porcentaje de materia orgánica. Algunos autores han encontrado resultados semejantes de manera que en suelos con contenidos elevados de materia orgánica, superiores al 2%, la adición de materia orgánica produce un efecto desestabilizador de la estructura del suelo y de sus agregados (De Ploey, 1981; Mbagwu y Piccolo, 1989). Sin embargo, y en sentido contrario, Imeson (1995) encuentra que los suelos con altos contenidos en yeso o carbonato tienen como principal factor estabilizador a la materia orgánica en el control de la erodibilidad del suelo.

Un hecho destacable es la diferente respuesta de los suelos tratados en función de la metodología empleada para analizar la estabilidad, no llegando a existir ninguna correlación entre los resultados obtenidos por ambas metodologías. Esto, puede explicarse al considerar la disparidad de las diferentes fuerzas desestabilizadoras actuantes en ambas metodologías. Se ha de tener en cuenta que la principal fuerza disruptora cuando empleamos el test CDN, es la energía cinética de la gota y la velocidad final de la misma, además de las fuerzas

generadas por el hinchamiento diferencial del agregado y por el entrapamiento del aire; mientras que, en el test de ultrasonidos, las principales fuerzas desestabilizadoras se deben a la acción de los ultrasonidos sobre las uniones estructurales primarias o de enlace, además de, a la disgregación que puede generar el quimismo de la solución en la que se sumergen. También puede deberse a que, siendo la materia orgánica el principal agente agregador y al ser éste mayoritariamente de la misma naturaleza, la acción de ésta en la respuesta frente al impacto de gotas esté reducida siendo en este caso la presencia de carbonatos y la textura las variables responsables en la agregación.

Por último, destacar que no se observa ninguna relación entre la erodibilidad del suelo, entendida como la K de Wischmeier, y los test empleados. Este hecho aparece constatado por los resultados obtenidos por varios autores (De Meester y Jungerius, 1978; Bergsma y Valenzuela, 1981; Obi et al., 1989). Por otro lado, se observa en la figura 2 como la erodibilidad es menor en ambos casos, suelos arcillosos y yesíferos cuando adicionamos materia orgánica. Sin embargo, cuando se realiza el análisis de la estabilidad de los agregados tenemos que este hecho no se cumple, aumentando o disminuyendo la estabilidad en función de si son suelos arcillosos en el primer caso o suelos yesíferos en el segundo. Esta disparidad se debe a que para el cálculo del factor K, las variables empleadas son los componentes texturales y la materia orgánica fundamentalmente, además de tratarse de una medida semicuantitativa de la erodibilidad potencial del suelo.

6. Conclusiones

Contrariamente a lo defendido por muchos investigadores, la adición de materia orgánica al suelo, no implica en todos los casos un aumento de la estabilidad del mismo. Así los suelos analizados en este estudio muestran un comportamiento diferente frente a la adición de materia orgánica en función de su naturaleza. Así, los suelos arcillosos con contenidos iniciales de materia orgánica bajos, inferiores al 1%, muestran un aumento considerable de su estabilidad cuando se les adiciona materia orgánica, pudiendo llegar a suponer más del doble. Por el contrario, el análisis de los suelos

yesíferos muestra un efecto negativo en la estabilidad de los agregados frente a la adición de materia orgánica. Los test realizados muestran como la estabilidad de los suelos yesíferos se ve considerablemente reducida tras la adición de purines, siendo en el caso del test de ultrasonidos de un orden de magnitud.

Por todo ello podemos concluir, que en los suelos estudiados existe un umbral en torno a valores iniciales del 2% que condicionan el efecto de la adición de materia orgánica en la estabilidad. Así, para valores de partida inferiores al 2%, la estabilidad del suelo aumenta con la adición de materia orgánica, como en el caso de los suelos arcillosos. Mientras que en los suelos yesíferos, con contenidos cercanos o incluso superiores al 2%, este efecto se traduce en una disminución importante de la estabilidad.

Referencias bibliográficas

- Bayona, J. (1992). El uso de estiércoles fluidos en las prácticas agrícolas. *Revista de la Escuela de Capacitación Agraria de Movera*, 2, 3-15.
- Bergsma, E. & Valenzuela, C.R. (1981). Drop testing aggregate stability of some soils near merida, Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6, 309-318.
- Bryan, R.B.; Govers, G. & Poesen, J. (1989). The concept of soil erodibility and some problems of assesment and application. *Catena*, 16, 349-412.
- Cerdá, A. (1994). Métodos para la medición de la estabilidad de los agregados del suelo. *Cuaternario y Geomorfología*, 8, 69-85.
- Cerda, A.; Calvo, A.; Lavee, H. & Imeson, A.C. (1996). Erosionabilidad del suelo a lo largo del gradiente climatico Coll de Rates-Benidorm, Alicante. En: Grandal D'Anglada, A. & Pages Valcarlos, J. (Eds.). *Cuadernos Laboratorio Xeoloxico de Laxe. IV Reunion Nacional de Geomorfología*, 21, 695-707, Sociedad Española de Geomorfología.
- De Meester, T & Jungerios, P.D. (1978). The relationship between the soil erodibility Factor K (Universal Soil Loss Equation), aggregate stability and micromorphological properties of soils in the Hornos Area, S.Spain. *Earth Surface Processes*, 3, 379-391
- De Ploey, J. (1981). The ambivalent effects of some factors of erosion. *Mémo. Inst. Géol. Univ. Louvain*, 171-181.
- De Ploey, J. & Poesen, J. (1985). Aggregate stability, runoff generation and interill erosion. In: Richards, K.S.; Arnett, R.R. y Ellis, S. (Eds.). *Geomorphology and Soils*. George Allen & Unwin. London. 95-120.
- Desir, G.; Sirvent, J.; Gutiérrez, M. & Sancho, C. (1995). Sediment yield from gypsiferous degraded areas in the middle Ebro Basin (NE, Spain). *Phys. Chem. Earth*, 20, 385-393.
- Eimberck, M. (1990). Facteurs d'erdibilité des sols limoneux: réflexions à partir du cas Pays de Caux. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 25, 81-94.

- Ekwe, E.I. (1991a). Effects of peat content, rainfall duration and aggregate size on soil crust strength. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 485-498.
- Ekwe, E.I. (1991b). The effects of soil organic matter content, rainfall duration and aggregate size on soil detachment. *Soil Technology*, 4, 197-207.
- Farres, P. (1980). The role of time and aggregate size in the crusting process. *Earth Surface Processes*, 3, 243-254.
- Gabriels, D. & De Boodt, M. (1975). Relationship between moisture content, aggregate formation and aggregate formation and aggregate stability of a loam treated with a soil conditioner in various concentrations. *Catena*, 2, 23-30.
- Gerits, J.J.P.; De Lima, J.L.M.P. & Van Den Broek, T.M.W. (1990). Overland flow and erosion. En: Anderson, M.G. & Burt, T.P. (Eds.). *Studies in Hillslope Hydrology*, 173-214, Ed. Wiley.
- Gutiérrez, M.; Sancho, C.; Desir, G.; Sirvent, J.; Benito, G. & Calvo, A. (1995). *Cuantificación de la erosión hídrica y procesos geomorfológicos en terrenos arcillosos y yesíferos de la Depresión del Ebro*. Ministerio de Agricultura - Universidad de Zaragoza. 389 p.
- Gabriels, D. & De Boodt, M. (1975). Relationship between moisture content, aggregate formation and aggregate formation and aggregate stability of a loam treated with a soil conditioner in various concentrations. *Catena*, 2, 23-30.
- Imeson, A.C. (1995). The physical, chemical and hydrological degradation of the soil. En: Fantechi, R.; Peter, D.; Balabanis, P. & Rubio, J.L. (Eds.). *Proceedings of the european school of climatology and natural hazards course*. 153-169. Office for Official Publications of the European Communities. Luxemburg.
- Imeson, A.C. & Jungerius, P.D. (1976). Aggregate stability and colluviation in the Luxembourg Ardennes: an experimental and micromorphological study. *Earth Surface Processes*, 1, 259-271.
- Imeson, A.C. & Vis, M. (1984). Assessing soil aggregate stability by water-drop impact and ultrasonic dispersion. *Geoderma*, 34, 185-200.
- Jaiyeoba, I.A. & Ologe, K.O. (1990). Soil erodibility measurements in Nigeria. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 34, 3, 307-312.
- Lal, R. (1988). Erodibility and Erosivity. En: Lal, R. (Ed.). *Soil erosion Research Methods*. Soil and Water Conservation Society & St. Lucie Press. 140-160.
- López Cadenas, F.; Pérez-Soba, A.; Aguiló, J. Magiater, M.; López, F.; Rabade, J.M.; Copano, C.; Roldán, M.; Gómez, J.; Navarro, J.; García, J.L. & García, A. (1987). *Mapas de Estados Erosivos. Cuenca Hidrográfica del Ebro*. I.C.O.N.A., 87 p.
- Low, A.J. (1954). The study of soil structure in the field and the laboratory. *Journal of Soil Science*, 5, 1, 57-79.
- Luk, S.H. (1979). Effect of soil properties on erosion by wash and splash. *Earth Surface Processes*, 4, 241-255.
- MacCalla, J.P. (1944). Water drop method for determining stability of soil structure. *Soil Science*, 58, 117-121.
- MacIntyre, D.S. (1958). Permeability measurements of soil crust formed by raindrop impact. *Soil Science*, 85, 4, 185-189.
- Marshall, T.J. & Holmes, J.W. (1988). *Soil Physics. 2nd Edition*. Cambridge University Press. Cambridge. 374 pp.
- Mbagwu, J.S.C. & Piccolo, A. (1989) Changes in Soil Aggregates Stability Induced by Amendment with Humic Substances. *Soil Technology*, 2, 49-57.
- Monnier, G. (1965). Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. *Ann. Agrn.*, 18, 5, 471-534.
- Morgan, R.P.C. (1986). *Soil Erosion and Conservation*. Longman. Essex. 298 pp.
- Oades, J.M. (1984). Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, 76, 319-337.
- Obi, M. E.; Salako, F.K. & Lal, R. (1989). Relative susceptibility of some southeastern Nigeria soils to erosion, *Catena*, 16, 215-225.
- Quansah, C. (1981). Rate of soil detachment by overland flow, with and without rain, and its relationship with discharge, slope steepness and soil type. En: Morgan R.P.C. (Ed.). *Rate of soil detachment by overland flow, with and without rain, and its relationship with discharge, slope steepness and soil type*, 406-423, Ed. John Wiley. Chichester.
- Richter, G. & Negendank, J.F.W. (1977). Soil erosion processes and their measurement in german areas od Moselle river. *Earth Surface Processes*, 261-278.
- Sirvent, J.; Desir, G.; Gutiérrez, M.; Sancho, C. & Benito, G. (1997). Erosion rates in badland areas recorded by collectors, erosion pins and profilometer techniques (Ebro Basin, NE-Spain). *Geomorphology*, 18, 61-75.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33, 141-163.
- Walkey, A. & Black, Z.A. (1934). An examination of the Degtzarff method for the determination of soil organic matter and a proposed modification of the chomic acid trititation method. *Soil Science*, 37, 29-39.
- Wischmeier, W.H. (1978). Use and misure of the Universal Soil Loss Equation. *J. Soil and Water Conservation*, 31, 5-9.
- Wischmeier, W.H.; Johnson, C.B. & Cross, B.V. (1971) A soil nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26, 189-193.

Recibido 2 de abril de 2001

Aceptado 12 de diciembre 2001