

## PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS QUE INFLUYEN EN LA ERODIBILIDAD DE ANDOSOLES Y SUELOS ÁNDICOS BAJO VEGETACIÓN FORESTAL (I. CANARIAS)

J.L. MORA, J.A. GUERRA, J.S. NOTARIO, A. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, C.D. ARBELO

Departamento de Edafología y Geología, Facultad de Biología, Universidad de La Laguna, Avda. Astrofísico Francisco Sánchez s/n 38204 La Laguna, Tenerife, I. Canarias. e-mail: [antororo@ull.es](mailto:antororo@ull.es)

**Abstract.** The sensitivity of Andosols to water erosion in a forest environment (Garajonay National Park, Gomera, Canary Islands) has been studied by evaluating USLE's erodibility factor (K), the actual susceptibility of soil to separation by means of two tests for measuring the stability of aggregates, and its relationship with relevant physicochemical properties. The results show the limited validity of the conventional estimation of erodibility in andic soils, where the sensitivity towards erosion is mostly related to their content in organometallic compounds.

**Key words:** Andosols, aggregate stability, erodibility, Canary Islands

**Resumen.** Se estudia la sensibilidad a la erosión de los Andosoles en un entorno forestal, el Parque Nacional de Garajonay (La Gomera, Islas Canarias), evaluando el factor K de erodibilidad de la USLE, la susceptibilidad del suelo a la separación mediante dos tests de estabilidad de agregados y la relación de éstos con las propiedades físico-químicas de los suelos. Los resultados muestran una escasa validez de la estimación convencional de la erodibilidad en los suelos ándicos, donde la sensibilidad a la erosión radica fundamentalmente en el contenido de compuestos organometálicos de los mismos.

**Palabras clave:** Andosoles, estabilidad de agregados, erodibilidad, Islas Canarias.

### INTRODUCCIÓN

En general, la evaluación clásica de la erodibilidad (Wischmeier *et al.*, 1971) atribuye a los suelos ándicos una escasa vulnerabilidad a la erosión hídrica. Pese a ello, se comprueba que los suelos ándicos pueden verse afectados por importantes procesos erosivos, en particular cuando se dan cambios en su uso o manejo. En este contexto, la evaluación de la agregación y estabilidad estructural de los suelos proporciona una medida indirecta

de la erodibilidad (Imeson and Vis, 1984; Lal, 1988) y puede describir de un modo ajustado los mecanismos de separación de partículas en los suelos ándicos (Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2002).

El presente estudio pretende valorar la erodibilidad teórica (factor K) y la sensibilidad a la separación a través de la estabilidad estructural evaluada en cuanto a los dos mecanismos más directamente implicados en las primeras etapas de la erosión hídrica: el impacto de gota y la desagregación por

humectación, en los suelos ándicos bajo vegetación forestal, así como identificar cuáles son las propiedades físico-químicas de estos suelos más directamente implicadas en su erodibilidad.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio se sitúa en el Parque Nacional de Garajonay (La Gomera, Islas Canarias) a altitudes situadas entre los 650 y 1435 m.s.n.m. La vegetación típica es la laurisilva canaria, aunque son frecuentes los brezales arbóreos, los matorrales de leguminosas y las plantaciones de coníferas. El edafoclima es térmico y ústico-údic. Los suelos del Parque son fundamentalmente Andosoles y Leptosoles, con núcleos de Cambisoles, Umbrisoles y Luvisoles.

El muestreo se ha realizado tomando como referencia una cuadrícula de 1000x500m que abarca toda la extensión del Parque Nacional de Garajonay, aumentándose la densidad de muestreo a una cuadrícula de 250x250m en los sectores más degradados y afectados por la erosión. En total se estudiaron 163 localizaciones, en cada una de las cuales se recogió una muestra superficial de suelo y se describió la morfología del suelo y del terreno.

En las muestras de suelo se analizó la estabilidad de los agregados usando dos tests diferentes:

a) Test de desagregación (Bartoli *et al.*, 1991), como medida de la dispersión de la estructura debida a la humectación de los agregados: se colocan las muestras de agregados en tamices parcialmente sumergidos en agua destilada y se las somete a oscilaciones con una amplitud de 2 cm y una frecuencia de 98 oscilaciones por minuto. Trabajos previos indican un período de 6 horas como apropiado para la desagregación en agua de estos

suelos (Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2002).

b) Test de impacto de gota (Imeson and Vis, 1984), como medida de la desagregación debida al impacto directo de las gotas de lluvia. En el dispositivo utilizado se suministran gotas de agua con un peso de 0,1g que caen a un ritmo de 1 gota por segundo desde una altura de 1m antes de impactar en los agregados. El parámetro evaluado fue el número de gotas precisas para la dispersión de los agregados, de modo que pasen a través de un tamiz de 0.2 mm de luz (CND, "Counting the Number of Drops"), hasta un máximo de 60 gotas.

Se analizaron asimismo diversas propiedades físico-químicas, en particular aquellas relacionadas con los minerales de ordenación de corto alcance y los componentes orgánicos, cuya particular asociación es responsable de la estabilidad estructural de los Andosoles (Warkentin and Maeda, 1980):

- Contenido de hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y con oxalato amónico/ácido oxálico.
- Contenido de carbono y nitrógeno totales
- Fraccionamiento de la materia orgánica en ácidos húmicos y fúlvicos (Duchafour et Jacquin, 1966)
- Especiación del carbono orgánico mediante extracción secuencial con pirofosfato sódico y con sulfato potásico (Calvo y Macías, 2001). Se consideran las fracciones de carbono orgánico lábil (COL), complejo (COC) y oxidable no-extraíble por los medios citados (COO).
- Composición granulométrica

El factor K de la USLE se calculó usando la ecuación de Wischmeier *et al.* (1971), en base a los parámetros analíticos y a la descripción de campo.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las muestras estudiadas pertenecen en su mayor parte a suelos ándicos (53%) de acuerdo a los criterios de FAO (WRB, 1998), predominando los Andosoles no-alofánicos (40%) frente a los Andosoles alofánicos (13%).

La estabilidad estructural a la humectación y al impacto de gota de los suelos estudiados, es en general muy elevada (Tabla 1).

Los Andosoles no-alofánicos muestran valores de *CND* algo superiores, pero en general no se aprecian diferencias relevantes entre los tres grupos de suelos. Este comportamiento no se ve reflejado en el factor *K* de la *USLE*, que muestra valores significativamente inferiores en los suelos ándicos que en los no-ándicos.

La Tabla 2 muestra las correlaciones existentes entre la estabilidad estructural, la

TABLA 1. Medidas de la erodibilidad en los suelos estudiados

	Estadístico de comparación*	Suelos no-ándicos	Andosoles no-alofánicos	Andosoles alofánicos
<b>Agregados estables al agua (%)</b>	ANOVA	78,3 ± 11,7a	79,9 ± 10,7 a	76,8 ± 7,4 a
<b>CND**</b>	Kruskal-Wallis, U Mann-Whitney	38 ± 23 a	47 ± 20 b	34 ± 27 a
<b>K-USLE</b> (tañoMJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	ANOVA	0,26 ± 0,36 a	0,04 ± 0,03 b	0,10 ± 0,11 b

\* Los grupos con la misma letra no presentan diferencias significativas de acuerdo al test estadístico utilizado (p≤0,05). \*\*CND = N° de gotas necesarias para la rotura total del agregado

erodibilidad teórica (factor *K*) y algunas propiedades de los suelos. Sólo en los suelos no-ándicos el factor *K* de la *USLE* se relaciona en cierta medida con la susceptibilidad a la separación de acuerdo con los tests empleados.

En los suelos no-ándicos la desagregación en humectación presenta elevadas correlaciones con la composición granulométrica (Figura 1) y el grado de humificación o complejación del carbono orgánico, y parece relacionarse con una estructura estabilizada por la formación de complejos arcillo-húmicos. En los Andosoles alofánicos la desagregación por humectación se correlaciona con las fracciones de carbono orgánico, mientras que en los Andosoles no-alofánicos no presenta correlaciones significativas con las propiedades del suelo estudiadas (Figura 2).

La estabilidad al impacto de gota se correlaciona en todos los grupos de suelos con los contenidos de carbono orgánico complejo/humificado y de hierro y aluminio ligados a compuestos orgánicos. En los Andosoles no-alofánicos la desagregación por impacto de gota es el principal mecanismo de separación determinado por las propiedades físico-químicas analizadas (Figura 3).

Las propiedades del suelo muestran estrechas relaciones entre sí, como muestra su alta colinealidad y una elevada redundancia en su poder explicatorio de la variación observada en la estabilidad de los agregados. De este modo cuatro variables (*Fe<sub>p</sub>*, *C<sub>p</sub>*/(*Al<sub>p</sub>*+*Fe<sub>p</sub>*), *C* en forma de ácidos fúlvicos y fracción granulométrica fina) explican un 29% de la varianza observada en la estabilidad de los agregados en humectación, frente

TABLA 2: Correlación entre estabilidad estructural y propiedades físico-químicas en los grupos de suelos estudiados

	Suelos no-ándicos		Andosoles no-alofánicos		Andosoles alofánicos	
	Humectación	CND**	Humectación	CND**	Humectación	CND**
Estabilidad en humectación	-	<b>0,346*</b>	-	<b>0,506*</b>	-	<b>0,497*</b>
Estabilidad en impacto de gota (CND**)	<b>0,346*</b>	-	<b>0,506*</b>	-	<b>0,497*</b>	-
K-USLE	-0,203	<b>-0,420*</b>	-0,205	0,203	-0,026	-0,192
Fracción fina (arcilla + limo)	<b>0,257*</b>	0,077	0,224	-0,004	0,084	0,315
Al <sub>o</sub> ***	-0,041	0,128	-0,084	0,074	0,246	0,310
Fe <sub>o</sub> ***	<b>0,360*</b>	-0,017	0,155	0,229	0,086	0,385
Al <sub>o</sub> + ½Fe <sub>o</sub> ***	0,134	0,101	-0,025	0,164	0,243	0,327
Fe <sub>p</sub> ***	<b>0,598*</b>	<b>0,387*</b>	0,185	<b>0,371*</b>	<b>0,672*</b>	<b>0,602*</b>
Al <sub>p</sub> ***	<b>0,510*</b>	<b>0,343*</b>	-0,179	0,214	<b>0,622*</b>	0,432
Al <sub>p</sub> + ½Fe <sub>p</sub> ***	<b>0,553*</b>	<b>0,367*</b>	-0,117	<b>0,270*</b>	<b>0,642*</b>	<b>0,469*</b>
C <sub>p</sub> /(Al <sub>p</sub> + Fe <sub>p</sub> )***	<b>-0,267*</b>	0,022	0,024	-0,057	-0,426	-0,245
COO ****	0,157	<b>0,309*</b>	-0,174	0,126	<b>0,438*</b>	0,381
COC ****	<b>0,492*</b>	<b>0,429*</b>	-0,032	<b>0,318*</b>	<b>0,553*</b>	<b>0,446*</b>
COL ****	0,195	0,208	-0,120	0,218	0,293	<b>0,480*</b>
Materia orgánica humificada	<b>0,430*</b>	<b>0,363*</b>	-0,039	<b>0,256*</b>	<b>0,548*</b>	0,420
Ácidos fúlvicos	<b>0,470*</b>	<b>0,473*</b>	0,062	<b>0,355*</b>	<b>0,553*</b>	0,411
Ácidos húmicos	<b>0,356*</b>	<b>0,246*</b>	-0,121	0,115	0,376	0,298
Relación C/N	-0,183	-0,014	-0,116	0,145	0,208	0,476

\* Correlación significativa a un nivel de  $p \leq 0,05$

\*\*CND = N° de gotas necesarias para la rotura total del agregado

\*\*\*Al<sub>o</sub>, Fe<sub>o</sub> = Al, Fe extraíble con oxalato ácido

Al<sub>p</sub>, Fe<sub>p</sub>, C<sub>p</sub> = Al, Fe, C extraíble con pirofosfato sódico

\*\*\*\*COO = Carbono orgánico oxidable

COC = Carbono orgánico complejado

COL = Carbono orgánico lábil

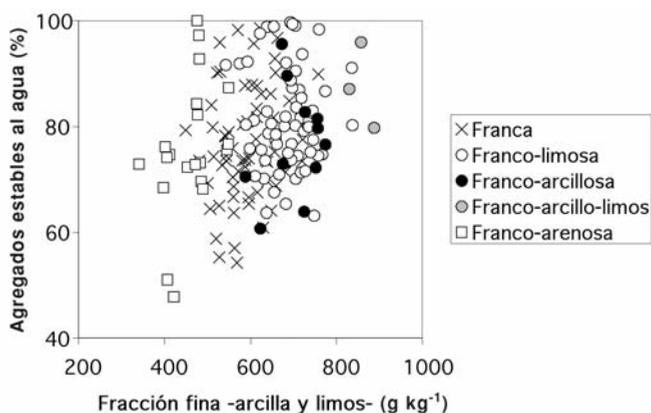


FIGURA 1. Influencia de la textura en la estabilidad a la desagregación

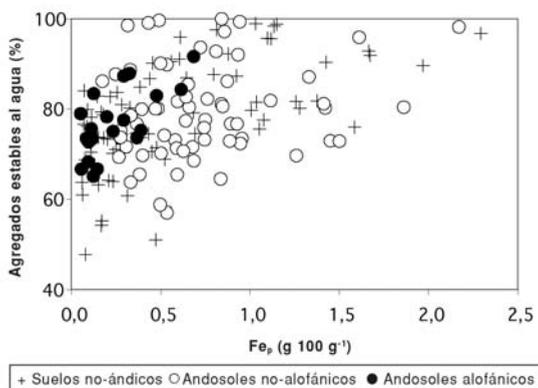


FIGURA 2. Relación entre estabilidad a la desagregación y formación de complejos organominerales ( $Fe_p$ )

a un 35% de la varianza explicada por la totalidad de las propiedades estudiadas.

Igualmente, sólo dos variables (carbono orgánico en forma de ácidos fúlvicos y fracción granulométrica fina explican un 26% de la varianza observada en la estabilidad de los agregados al impacto de gota, frente a un 45% explicado por el conjunto de las propiedades estudiadas.

De acuerdo con Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2002, la erosión en los suelos ándicos se origina fundamentalmente por el impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados del suelo. Los resultados del presente estudio

sugieren también la existencia de mecanismos de estabilización y de separación de la estructura, característicos de los grupos de suelos considerados. El impacto de las gotas de lluvia parece ser el mecanismo más importante de desagregación en los Andosoles organo-minerales (no-alofánicos) aunque es frecuente en todos los grupos de suelos, y se relaciona con el contenido de carbono orgánico en formas complejadas o húmicas. La desagregación en humectación está ausente en los Andosoles no-alofánicos, y es típica de suelos estabilizados por complejos arcillo-húmicos.

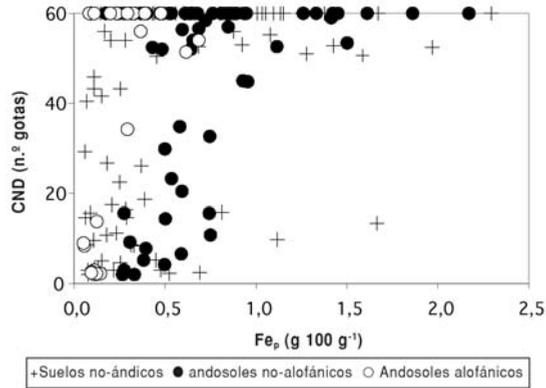


FIGURA 3. Relación entre estabilidad al impacto de gota y formación de complejos organominerales (Fe<sub>p</sub>)

## CONCLUSIONES

El factor K de erodibilidad de la USLE no caracteriza de un modo adecuado la sensibilidad a la erosión en los Andosoles, mientras que sí refleja la susceptibilidad a la separación en los suelos no-ándicos de la zona estudiada. Los resultados resaltan la importancia del mecanismo de impacto de gota en la separación de la estructura de los Andosoles, en particular de aquellos con mayor contenido en complejos organo-minerales donde llega a ser el principal mecanismo de desestabilización. En suelos ándicos los tests de estabilidad de los agregados proporcionan una medida de la erodibilidad más ajustada que el cálculo del factor K de la USLE. Una evaluación de la erodibilidad de estos suelos basada en un modelo paramétrico debe dar importancia al grado de humificación o complejación de la materia orgánica frente a otros parámetros como la composición granulométrica.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Contrato de Investigación "Plan Complementario edafológico del programa de

Seguimiento Ecológico en el Parque Nacional de Garajonay" entre el Ministerio de Medio Ambiente (Organismo Autónomo Parques Nacionales) y la Universidad de La Laguna.

## REFERENCIAS

- Bartoli, F., Burtin, G. and Herbillon, A.J. (1991). Disaggregation and clay dispersion of Oxisols: Na-resin, a recommended methodology. *Geoderma* 49: 301-317.
- Calvo, R y Macías, F. (Editores) (2001). XXII Reunión Nacional de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Dpto. de Edafología y Química Agrícola, Fac. de Biología, Universidad de Santiago de Compostela.
- Duchaufour, H. et Jacquin, F. (1966). Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. *Bulletin de l'Ecole National Supérieur de Nancy* 8(1): 1-24.
- Imeson, A. and Vis, M. (1984). Assessing soil aggregate stability by water-drop impact and ultrasonic dispersion. *Geoderma* 34: 185-200.
- Lal, R. (1988). Erodibility and erosivity. In: R. Lal (Editor), *Soil Erosion Research*

- Methods*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, 141-160.
- Rodríguez Rodríguez, A., Guerra, J.A., Gorrín, S.P., Arbelo, C.D. and Mora, J.L. (2002). Aggregates stability and water erosion in Andosols of the Canary Islands. *Land Degradation and Development* 13: 515-523.
- Warkentin, B.P. and Maeda, T. (1980). Physical and mechanical characteristics of Andisols. In: B.K.G. Theng (Editor), *Soils with Variable Charge*, New Zealand Society of Soil Science, Lower Hutt, 281-201.
- Wischmeier, W.H., Johnson, C.B. and Cross, B.V. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation* 26(5): 189-193.
- WRB (1998). World Reference Base for Soil Resources. F.A.O., I.S.R.I.C. and I.S.S.S, Rome.

