

EROSIÓN HÍDRICA EN ANDOSOLES DE LAS ISLAS CANARIAS

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

Dpto. Edafología y Geología, Facultad de Biología, Universidad de La Laguna, Avda. Astrofísico Francisco Sánchez s/n, 38204, La Laguna, Tenerife (Islas Canarias).
antororo@ull.es

Abstract. This paper shows the results of water erosion rate measurements in andosols, through a continued 9-year field experiment in three experimental plots (25 x 8 m) representing bare soil, planted pine forest and shrub.

The highest runoff and erosion rates have been registered in the bare soil plot, although they are not clearly related to the rainfall intensity or soil erodibility, estimated by conventional methods.

Sediment analysis shows that erosion processes in these soils affect mainly the microgranular and crumb aggregates, which are mobilized with no previous dispersion, thus suggesting that the hydrophobicity of organic surface horizons in these soils, as well as their high moisture retention capacity and infiltration rates, once they are wet, are the properties that determine in the highest degree the runoff and sediment yield in these soils, in these conditions.

Key words: Andosols, Water erosion, Experimental plots, Runoff, Canary Islands

Resumen. En este trabajo se presentan los resultados de un seguimiento de las tasas de erosión hídrica en andosoles, durante nueve años, en tres parcelas experimentales de 25 x 8 m: suelo desnudo, pinar de repoblación, matorral.

Las mayores tasas de escorrentía y erosión se generan en la parcela con suelo desnudo, aunque sin una clara relación con la intensidad de las lluvias ni con la erodibilidad del suelo estimada por los métodos convencionales.

El análisis de los sedimentos muestra que la erosión de estos suelos afecta fundamentalmente a los microagregados granulares y migajosos que se movilizan sin dispersión previa, sugiriéndose que la hidrofobicidad de los horizontes orgánicos superficiales de estos suelos y su elevada capacidad de retención de agua e infiltración una vez humectados, son las propiedades que en mayor medida condicionan la producción de escorrentía y sedimentos en este tipo de suelos, en estas condiciones.

Palabras clave: Andosoles, Erosión hídrica, parcelas experimentales, escorrentía, Islas Canarias

INTRODUCCIÓN

Los Andosoles y suelos con carácter ándico son los suelos que ocupan una mayor extensión en las áreas forestales de las islas

de mayor altitud en el archipiélago canario y al mismo tiempo son los suelos que presentan mayor interés como suelos más característicos de aquellos derivados de materiales vol-

cánicos y por tanto, soporte de ecosistemas de elevado interés ambiental para estas islas.

La degradación de los suelos y en particular la erosión hídrica es uno de los factores que más contribuye al creciente proceso de desertificación que se observa en algunas zonas de las islas (Rodríguez Rodríguez *et al.*, 1993a,b,1998; Rodríguez Rodríguez,2002). Como es lógico suponer los andosoles y otros suelos ándicos no escapan a este fenómeno general de degradación por procesos de erosión hídrica, fenómeno que se ha intensificado en los últimos años en algunas áreas, como consecuencia fundamentalmente de la fuerte presión demográfica asociada al incremento de la actividad turística y la inmigración. Se han realizado deforestaciones, repoblaciones y revegetaciones con especies forestales agresivas (*Eucalyptus sp.*, *Pinus radiata*, etc.), apertura de caminos y pistas forestales sin ninguna medida de corrección de taludes y se ha abandonado el uso tradicional de las tierras agrícolas asociadas al monte, con lo que se ha roto los frágiles equilibrios suelo-vegetación-uso y manejo del territorio, desencadenándose así los procesos de erosión y de pérdida de un recurso vital en las áreas de montaña de las islas, no sólo por su valor intrínseco de recurso natural no renovable, sino también por la importante incidencia que tiene sobre el mantenimiento de una vegetación forestal, la infiltración de agua y la recarga de acuíferos y en definitiva sobre el ciclo hidrológico, en un territorio absolutamente dependiente de los recursos de aguas subterráneas.

La peculiar composición mineralógica de los suelos ándicos, es la responsable de la existencia de unas propiedades físicas y mecánicas particulares en estos suelos (Fernández Caldas y Tejedor,1975; Warkentin and Maeda,1980; Meurisse,1985; Quantin,1994). Así, la baja densidad aparente, la elevada estabilidad estructural, la alta microporosidad y capacidad de retención de agua, alta conductividad hidráulica y veloci-

dad de infiltración de agua y los altos límites de plasticidad, están estrechamente relacionados con la presencia de alofanos, imogolita y otros minerales con ordenación de corto alcance, y con una particular manera de asociarse entre sí y con los compuestos orgánicos, generando estructuras con elevado grado de agregación y alta estabilidad, responsables últimas de aquellas propiedades.

Todas estas características están en íntima relación a su vez con las características de erodibilidad de los suelos ándicos y de ahí que los procesos de erosión en suelos con un predominio de minerales con ordenación de corto alcance en la fracción fina, presenten también unos rasgos diferenciales respecto a los suelos con una mineralogía dominada por arcillas cristalinas (Yamamoto and Anderson,1973; El-Swaify and Dangler,1977; Kubota *et al.*,1990; Pla,1992).

La erosión hídrica en suelos ándicos ¿Cuál es el problema?

Se admite generalmente que en condiciones normales el grado de erosión hídrica en los andosoles es bajo. En efecto, una alta cubierta vegetal, la baja erosividad de las lluvias en las áreas en las que estos suelos aparecen y una muy baja erodibilidad de acuerdo con los índices normalmente usados, parecen ser los responsables de esto.

Sin embargo, en muchos casos y particularmente cuando se producen cambios en el uso y manejo de estos suelos, se desencadenan importantes eventos erosivos que pueden incluso afectar a la totalidad del suelo, dejando numerosos afloramientos rocosos en superficie.

Esta aparente controversia parece deberse al hecho de que los índices normalmente usados para evaluar la erodibilidad del suelo no son aplicables a los suelos ándicos, obteniéndose muy bajos valores de erodibilidad para estos suelos, lo cual no se corresponde con los rasgos observados en la realidad. El índice de erodibilidad (índice K de

Wischmeier) utilizado en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) (Wischmeier *et al.*, 1971, 1978), que es uno de los índices más ampliamente usado en la estimación de la erodibilidad de los suelos, generalmente no ha funcionado cuando se ha aplicado a suelos con carácter ándico y andisoles (Jungerius, 1975; El-Swaify and Dangler, 1977; Plá, 1990; Ortega *et al.*, 1991), dando como resultado una susceptibilidad muy baja a la erosión hídrica.

METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Con objeto de conocer la pérdida real de suelos y la velocidad de generación de escorrentía en los andosoles, así como otros parámetros relacionados con la erodibilidad y los procesos de erosión, se ha llevado a cabo un estudio de los mismos en parcelas experimentales.

El área de estudio consiste de tres parcelas de 200 m² cada una (25 x 8 m). En una de ellas el suelo se mantiene desnudo y con un laboreo anual (24% de pendiente), en otra situada a unos 20 m de la anterior, la vegetación consiste de un pinar de repoblación (*Pinus radiata*) con una densidad del 60% (13% de pendiente) y la tercera contigua a la primera, está colonizada por la vegetación espontánea (matorral) que surge luego de la deforestación (pendiente del 24%). Los datos de las parcelas experimentales se han registrado durante un periodo de nueve años (1993-2001), tomando muestras de sedimentos y escorrentía para su análisis luego de cada evento lluvioso de importancia.

Los suelos de las tres parcelas son Andosoles úmbricos (WRB, 1998) (Hapludands típicos, USDA, 1999), que son los que con mayor frecuencia se encuentran en las zonas altas de las islas. Estos suelos se han desarrollado a partir de piroclastos y lavas básicas e intermedias del Pleistoceno

Superior y presentan un horizonte superficial profundo (70 cms) de color pardo muy oscuro, casi negro. En este horizonte, pueden sin embargo diferenciarse dos subhorizontes, uno superficial con estructura grumosa muy fina (horizonte A₁₁) y otro más profundo con estructura masiva (horizonte A₁₂). Por debajo de los 70 cms se encuentra un horizonte de alteración de piroclastos de color pardo amarillento, limoarcilloso y con estructura masiva (horizonte Bw).

El perfil del suelo es similar en las tres parcelas, con sólo ligeras variaciones en el espesor de los horizontes, como consecuencia de la diferente pendiente y de la incidencia diferencial de la erosión. Algunas propiedades físicas y químicas de estos suelos se presentan en la Tabla 1. La clasificación de estos suelos en el Orden Andisol se verificó por medio de: (1) contenido de Al_{oxalato} + 1/2 Fe_{oxalato} superior al 2%, (2) densidad aparente a 33 kPa menor de 0,9 MgM⁻³ y (3) retención de fosfato superior al 85%.

RESULTADOS

Características de las lluvias

La pluviometría media en esta zona durante el periodo de estudio ha sido de 617 mm (Tabla 2), con una elevada variabilidad tanto mensual como interanual (Tabla 3). Las tormentas más erosivas se concentran en eventos muy aislados en los meses de Febrero-Marzo y Octubre-Noviembre. La intensidad máxima de lluvia (242 mmh⁻¹) se registró en Noviembre de 1995 (Tabla 3), aunque por lo general las intensidades máximas oscilan entre 30 y 80 mmh⁻¹ y la I₃₀ más alta (41,2 mmh⁻¹) correspondió a las lluvias de octubre de 1999, variando el valor de R-USLE acumulado entre 194 Mjha⁻¹mmh⁻¹ (2001) y 1220 Mjha⁻¹mmh⁻¹ (1999), con una media interanual de 640 Mjha⁻¹mmh⁻¹.

TABLA 1.- Características físicas y químicas del perfil del suelo de las parcelas

Horizonte (Profundidad)	O+A ₁₁ (0-25 cm)	A ₁₂ (25-70 cm)	Bw (70-130 cm)
Contenido de agua (%) (seco)			
1/3 bar	69	63	56
15 bar	40	42	40
Contenido de agua (%) (húmedo)			
1/3 bar	76	69	82
15 bar	48	44	67
Densidad aparente a 1/3 bar (MgM⁻³)	0.4	0.5	0.5
Conductividad hidráulica saturada (mmh⁻¹)	168	43	133
Elementos gruesos (>2 mm) (gkg⁻¹)'	61	58	65
Arcilla (gkg ⁻¹)'	190	380	564
Limo (gkg ⁻¹)'	714	496	389
Arena fina (gkg ⁻¹)'	41	34	32
Arena gruesa (gkg ⁻¹)'	22	63	16
pH (H ₂ O,1:2,5)	6.0	5.8	5.8
pH (KCl,1:2,5)	4.9	4.9	5.5
Materia orgánica (gkg⁻¹)	250	118	35
Retención de P (%)''	95	96	94
CCC (cmol.kg⁻¹)'''	57	54	42
Alo+1/2Feo	4.5	5.8	7.6
Mineralogía de la fracción arcilla	Hem, Verm, Ilita	Hem, Gib,Verm, Ilita	Hem, Verm, Ilita

'Textura: Método de las resinas sódicas (Bartoli et al.,1991). ''Blakemore et al.,1981. '''Mehra and Jackson,1960. Hem: Hematites, Verm: Vermiculita, Gib: Gibsita

TABLA 2.- Valoración Global del ciclo hidrológico y de erosión (años 1993-2001)

Parcela	P (mm)	Escorrentía (%)	Infiltración (%)	Erosión (Tmha-1año ⁻¹)	Imáx (mmh ⁻¹)	I30 (mmh ⁻¹)	R (Mjha-1mmh ⁻¹)
Suelo desnudo	616,8	14,5	85,5	9,9	242	41,2	640
Vegetación natural	616,8	0,25	99,75	0,0	242	41,2	640
Pinar de reforestación	616,8	0,26	99,74	0,0	242	41,2	640

Tasas de erosión

La producción de sedimentos y por tanto las tasas de erosión son muy variables tanto entre años como mensualmente, derivado de la variabilidad de los episodios lluviosos y

del estado de la superficie del suelo. Durante el periodo considerado se ha producido una media de pérdida de suelo de 9,9 Tmha-1año⁻¹ en la parcela deforestada y labrada, mientras que en las parcelas con vegetación la pérdida

de suelo fue prácticamente nula. Sólo la parcela deforestada y con vegetación natural presentó una cierta pérdida de suelo en el primer año, debido al escaso desarrollo de la vegetación, ya que la deforestación era aún reciente.

La tasa máxima de erosión (28,9 Tmha⁻¹año⁻¹) en estos años se registró en la parcela labrada en el año 1993, coincidiendo con el inicio de las medidas y con una mayor perturbación en la superficie del suelo, siendo

Noviembre de ese mismo año el mes que alcanzó la máxima producción de sedimentos (1321 gm⁻²) con una pluviometría total de 224 mm y la mayor descarga sólida se produjo en la misma parcela, entre los días 23 y 24 de Marzo de 1997, con 615 gm⁻². Los meses de mayor producción de sedimentos son los de otoño e invierno, coincidiendo con el mayor número de días de lluvia y con las lluvias más intensas.

TABLA 3.- Balance anual: Parámetros de lluvia, erosión y escorrentía

Lluvia	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
P (mm)	870	443	511	667	811	403	889	627	329
Imax (mmh ⁻¹)	60	31	242	84	45	52	82	43	43
I30 (mmh ⁻¹)	15,5	15,7	11,6	14,8	17,9	14	41,2	32,4	7,0
R(Mjha1mmh ⁻¹)	828	398	342	497	959	435	1220	886	194
Producción de sedimentos (Tmha⁻¹ año⁻¹)									
Suelo desnudo	28,9	8,7	5,6	17,4	14,9	3,0	9,5	0,82	0,41
Vegetación natural	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pinar de reforestación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Escorrentía (%)									
Suelo desnudo	10,9	18,2	30,5	23,4	13,0	19,8	8,7	3,6	2,1
Vegetación natural	0,6	0,3	0,1	0,3	0,3	0,2	0,14	0,3	0,2
Pinar de reforestación	0,4	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3

Escorrentía superficial

En lo que se refiere a la generación de escorrentía, las parcelas provistas de una cubierta vegetal (vegetación natural o pinar) producen siempre unos volúmenes de escorrentía inferiores al 0,6% de la pluviometría total, independientemente de cual haya sido la precipitación total anual. Sin embargo en la parcela labrada y con suelo desnudo el volumen de escorrentía oscila entre el 10 y el 31% de la pluviometría (Tabla 2).

En estos andosoles se observa un porcentaje de escorrentía medio del 14,5% (89,4 Lm⁻²) en los suelos desprovistos de vegetación y del 0,25-0,26% (1,5-1,6 Lm⁻²) cuando existe una cubierta vegetal (Tabla 2). Así

pues, la escorrentía generada es relativamente baja, predominando la infiltración y aunque pueden superarse estos valores medios para eventos concretos, las cifras más altas medidas hasta ahora no superan el valor del 42% ni aún con las lluvias más abundantes e intensas. Al igual que para los sedimentos, los meses de máxima producción de escorrentía son los de otoño-invierno, con una elevada variabilidad interanual.

Características de los sedimentos

Las características físicas de los sedimentos (muestreados durante 65 episodios erosivos) son similares a las que presentan los horizontes superficiales de los andosoles,

salvo para el contenido en arcilla que es claramente superior en los sedimentos (Tabla 4). Esto demuestra que la fracción arcilla es la fracción granulométrica que se moviliza con mayor facilidad, aunque no en estado disperso, sino en forma de pequeños agregados gra-

nulares y migajosos de elevada estabilidad, de tal manera que más del 50% de los sedimentos (527 gkg⁻¹) están constituidos por agregados de tamaño comprendido entre 0,1 y 1,0 mm (Tabla 4).

TABLA 4.- Características físicas de los sedimentos

	Media (gkg ⁻¹)	Coefficiente de variación
Granulometría*		
Elementos gruesos	19	19.2
Arcilla	383	11.8
Limo	572	22.3
Arena	47	19.1
Tamaño de agregados (mm)**		
>6.3	32	82
6.3-4.0	60	39
4.0-3.2	54	23
3.2-2.0	122	22
2.0-1.0	175	24
1.0-0.5	162	20
0.5-0.1	365	27
Arcilla dispersa, limo y arena	30	38

n= 65 *Método de las resinas sódicas (Bartoli et al.,1991) **Tamizado húmedo

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los rasgos morfológicos de erosión observados a veces en estos suelos, correlacionan mejor con variables ambientales y de uso y manejo del suelo que con propiedades intrínsecas del mismo, tales como la erodibilidad (factor K). Factores tales como pendientes superiores al 30%, cobertura vegetal inferior al 60%, elevada erosividad de las lluvias fuertemente estacionales y otros factores antrópicos de uso del suelo, determinan en mayor medida que la erodibilidad en sí misma, el grado y la intensidad de la morfología erosiva (Ortega *et al.*, 1992).

La hipótesis sugerida es que la erosión hídrica en andosoles y suelos ándicos puede tener lugar mediante un mecanismo que en ningún caso supone la dispersión de las partículas previa a su movilización por el flujo superficial. La movilización de las partículas tiene entonces lugar en forma de agregados altamente estables a la dispersión en agua.

La producción de sedimentos en la parcela labrada no parece estar estrechamente correlacionada con las características de la lluvia de cada evento, obteniéndose coeficientes de 0,7 (I_{max} e I_{30}), 0,6 (R) y 0,5 (P), por lo que probablemente las características físicas de los andosoles y el estado de hume-

dad del suelo en el momento de las lluvias, expliquen mejor la producción de sedimentos en estas condiciones.

Así la mayor producción de sedimentos y escorrentía tiene lugar con las lluvias que caen sobre suelo seco. Dada la conocida hidrofobicidad de los horizontes orgánicos superficiales de los andosoles, con el suelo seco se genera una elevada escorrentía que arrastra los agregados de la superficie del suelo desnudo, independientemente de la intensidad de la lluvia caída. Luego de la lenta humectación del suelo, la velocidad de infiltración elevada y sobre todo, la alta capacidad de retención de agua de estos suelos (hasta 300 mL/100 g), hacen que la generación de escorrentía sea muy baja y sólo se produzca ésta con ocasión de lluvias de alto volumen de agua caída (independientemente de su intensidad) que entonces arrastra mediante flujo laminar, los agregados humectados que han sido fragmentados por el impacto de gota de lluvias previas de elevada intensidad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Convenio "Contribución Española al Convenio Mundial de Lucha Contra la Desertificación. I.-Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y la Desertificación (RESEL)" entre el Ministerio de Medio Ambiente (Proyecto LUCDEME) 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

Blakemore, L.C.; Searle, P.L. and Daly, B.K. 1981. Soil Bureau Laboratory Methods.

A: Methods for chemical analysis of soils. NZ Soil Bureau Scientific Report 10 A, CSIRO, New Zealand.

El-Swaify, S. and Dangler, E.W.(1977). Erodibility of selected tropical soils in relation to structural and hydrological parameters. In: "Soil Erosion: Prediction and Control". Soil Cons. Soc. of Am. Ankeny (USA):105-114.

Fernández Caldas, E. y Tejedor, M.L.(1975): Andosoles de las Islas Canarias. Servicio de Publicaciones de la Caja General de Ahorros de S/C de Tenerife, 210 p.

Jungerius, P.D. (1975). The properties of volcanic ash soils in dry parts of the Columbia Andes and their relation to soil erodibility. *Catena*, 2: 69-80

Kubota, T.; Ishihara, A.; Taniyama, I.; Katou, H.; Osozawa, S. (1990). Erodibility of Andosols in Japan. Nat. Inst. of Agro-Environ. Sci. Ibaraki (Japan) (mimeo).

Mehra O.P. and Jackson M.L. (1960). Iron oxides removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays and Clay Minerals, Proceed. 7th Nat. Conf., Monograph 5, Earth Science Series. Pergamon Press. New York, 317-327.

Meurisse, R.T.(1985). Properties of Andisols important to forestry. In: "Taxonomy and management of Andisols". Proceed. Of Sixth Int. Soil Classif. Workshop. Soc. Chilena de la Ciencia del Suelo:53-67.

Ortega, M.J.; González, M.C.; Hernández, L.A.; Jiménez, C.C.; Padrón, P.A.; Rodríguez Rodríguez, A.; Torres, J.M. y Vargas, G.E.(1991). La erodibilidad de los suelos de origen volcánico. Datos preliminares. Comunicaciones a la XVIII Reunión Nacional de Suelos. Universidad de La Laguna. Tenerife.:471-484.

Ortega, M.J., González, M.C., Padrón, P.A. y Rodríguez Rodríguez, A.(1992). Estudio de las propiedades físicas de los horizontes superficiales de los suelos volcánicos

- de Canarias. Su influencia en la erodibilidad. Comunicaciones. III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Universidad de Navarra. Pamplona: 564-567
- Pla, I. (1990). Methodological problems to evaluate soil physical degradation. Trans. 14th Int. Cong. of Soil Sci. Japan. I: 96-100.
- Pla, I. (1992). La erodabilidad de los Andisoles en Latinoamérica. *Suelos Ecuatoriales*, Vol. 22(1): 33-43.
- Quantin, P. (1994). The andosols. Trans. 15th World Congr. Of Soil Sci. Mexico. Vol. 6^a: 848-859.
- Rodríguez Rodríguez, A., González, M.C., Hernández, L.A., Jiménez, C., Ortega, M.J., Padrón, P.A., Torres, J.M., Vargas, G.E. (1993a): Assessment of Soil Degradation in the Canary Islands (Spain). *Land Degradation & Rehabilitation*, 4: 11-20.
- Rodríguez Rodríguez, A., González, M.C., Hernández, L.A., Jiménez, C., Ortega, M.J., Padrón, P.A., Torres, J.M., Vargas, G.E. (1993b): Degradación y Conservación de Suelos en las Islas Canarias. En: "Problemática Geoambiental y Desarrollo" (R. Ortiz Ed.). Universidad de Murcia. 415-423.
- Rodríguez Rodríguez, A., Jiménez, C., Tejedor, M.L. (1998). Soil degradation and desertification in the Canary Islands. In: "The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures" (A. Rodríguez Rodríguez et al. Eds.) Geoforma Ediciones, Logroño. 13-22
- Rodríguez Rodríguez, A. (2002). Erosión y Desertificación. En: "Naturaleza de las Islas Canarias. Ecología y Conservación" (J.M. Fernández Palacios y J.L. Martín Esquivel Eds.) Ed. Turquesa, S/C de Tenerife. 317-322
- USDA. (1999) Keys to Soil Taxonomy. Pocahontas Press, 8th edition, Virginia, USA, 599 p.
- Warkentin, B.P. and Maeda, T. (1980). Physical and mechanical characteristics of Andisols. In: "Soils with variable charge" (B.K.G. Theng Ed.) N.Z. Soc. of Soil Science. Lower Hutt, New Zealand: 281-301.
- Wischmeier, V.H., Johnson, C.B. and Cross, B.V. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. of Soil and Water Cons.* 26(5): 189-193.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. U.S. Dept. of Agric. Agric. Handbook n° 537, 58 p.
- WRB (1998) World Reference Base for Soil Resources. FAO, ISRIC, ISSS, Rome, 88 p.
- Yamamoto T. and Anderson H.W. (1973). Splash erosion related to soil erodibility and other forest soil properties in Hawaii. *Water Resour. Res.* 9: 336-345.