

## REVEGETACIÓN ARBUSTIVA Y ENMIENDA ORGÁNICA COMO ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DEL SUELO Y DE CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA. ENSAYOS DE LLUVIA SIMULADA

M.J. MARQUÉS, L. JIMÉNEZ, N. ALONSO-BLÁZQUEZ, P. GARCÍA-ESTRÍNGANA, R. PÉREZ-RODRÍGUEZ, C. DÍEZ-MAYÁNS, R. BIENES

Dpto. Investigación en Desarrollo Rural. Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria (IMIA). Ctra. N-II km 38,2. 28800-Alcalá de Henares, Madrid. e-mail: [mjose.marques@imia.madrid.org](mailto:mjose.marques@imia.madrid.org)

**Abstract.** The effect of revegetation with *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae) and the application of different dose of sewage sludges (8, 15 and 20  $\text{tha}^{-1}$ ) in degraded soils was evaluated. 36 erosion plots have been used on gypsic soils in the south of the Community of Madrid. A system for simulated rainfall was used getting an intensity equivalent to a 100 mm/hour.

The next conclusions have been verified: *i*) the positive effect of the organic contribution on vegetation: for the biggest dose, the height is quadrupled and the covered surface is duplicated in comparison with the control (5,9 cm and 39% respectively); *ii*) a runoff and sediment decrease (51% and 41% less respectively) when shrubs are present; *iii*) for the high dose of sludge, the ammonium concentration in the runoff can overcome the limit of 1  $\text{mg l}^{-1}$  that would imply risk of diffuse contamination.

**Key words:** revegetation, hydric erosion, composted sewage sludge, nonpoint source pollution, simulated rainfall, soil reclamation.

**Resumen.** Se valora conjuntamente el efecto de la revegetación arbustiva con *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae) y la aplicación de lodos (8, 15 y 20  $\text{tha}^{-1}$ ) sobre la erosión hídrica en suelos degradados. Se han empleado 36 parcelas Gerlach sobre suelos yesíferos del sur de la Comunidad de Madrid. Se utilizó un sistema de lluvia simulada con una intensidad de precipitación equivalente a 100  $\text{mm h}^{-1}$ .

Se ha podido constatar: *i*) el efecto positivo del aporte orgánico sobre la vegetación: para la dosis mayor, la altura se cuadruplica y la superficie cubierta se duplica en comparación con el control (5,9 cm y 39% respectivamente) *ii*) la contención de escorrentía y arrastre de sedimentos (51% y 41% menos respectivamente) en presencia de matorral, *iii*) para dosis altas de lodo, la concentración de amonio en el agua de escorrentía, puede superar el valor límite de 1  $\text{mg l}^{-1}$  que implicaría riesgo de contaminación difusa.

**Palabras clave:** revegetación, erosión hídrica, lodos compostados, contaminación difusa, lluvia simulada, rehabilitación de suelos.

### INTRODUCCIÓN

El progresivo deterioro del suelo tiene graves consecuencias desde el punto de vista natural y económico (COM, 2002) en los países del entorno mediterráneo con suelos

pobres en materia orgánica, la destrucción de la vegetación por actividades antrópicas puede conducir a una situación irreversible a escala humana como consecuencia sobre todo de la erosión hídrica (Ortiz Silla, 1990). La rehabilitación de los suelos debe invertir

la pérdida de la cubierta vegetal y restituir la materia orgánica al suelo (García *et al.* 1994). La elección de compost de lodo de depuradora tiene la ventaja de que se está dando uso a un residuo de complicado manejo por su magnitud y características físico-químicas. Además de su aporte de materia orgánica al suelo, su contenido en nitrógeno y fósforo es mayor que el de otros residuos sólidos urbanos tradicionalmente empleados como fertilizantes (Külling, 2001).

Cuando los terrenos han sido tratados con enmiendas orgánicas para mejorar sus cualidades, hay un mayor riesgo de que tanto las aguas como los sedimentos arrastrados tengan una carga excesiva de compuestos no deseables, por tanto han de controlarse los parámetros que pueden constituir un riesgo para los ecosistemas vecinos (Directiva de nitratos 91/676/CEE y Directiva Marco del agua 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.)

Gracias a la simulación de lluvia se pueden obtener resultados representativos y replicables de situaciones erosivas que de forma natural podrían demorarse años.

Este trabajo aporta nuevos datos para valorar la magnitud de la erosión hídrica y su capacidad de difusión de contaminación a través del agua de escorrentía, en terrenos yesíferos degradados y con problemas de drenaje interno del sur de la Comunidad de Madrid (Bienes *et al.*, 2001).

## MATERIAL Y MÉTODOS

La zona de estudio se encuentra sobre un suelo desarrollado sobre margas yesíferas con un horizonte de acumulación de yeso vermiforme. Su perfil se clasifica como *Xeric Haplogypsid* (SSDS, 2003). Se trata de un suelo agrícola de escaso rendimiento en el que se cultiva principalmente cebada y vid, aunque también hay pequeñas extensiones de almendro y olivar.

Sobre un total de 36 parcelas experimentales de 0,5 x 2 m<sup>2</sup>, dotadas de recipiente tipo Gerlach, se realizó una plantación de *Atriplex halimus* (*A.h.*) cuya buena adaptación a suelos yesíferos y al estrés hídrico era conocida por el equipo investigador. No se tomaron precauciones especiales contra la herbivoría para simular condiciones de revegetación a gran escala en la que sería dudosa la posibilidad de emplear protectores. A pesar de estar muy ramoneadas algunas plantas, el papel de sus raíces no puede obviarse (Weltz *et al.*, 1987; González del Tánago, 1993). Se ha podido observar que *A. h.* tiende a extender sus raíces horizontalmente en el suelo (Fig. 1 (1)) probablemente a causa de la compactación del suelo aunque otros autores han medido una profundidad de hasta 8 metros en las raíces de *A. h.* en terrenos semiáridos (Le Houerou, 1992). También se ha constatado su capacidad de producción de hojarasca y el consiguiente horizonte orgánico (Fig. 1(2)).



FIGURA 1. Sistema radicular de *Atriplex halimus* extendido horizontalmente (1). Capa de mantillo formado por la hojarasca de *A. Halimus* (2).

Las parcelas control no recibieron aplicación de lodo compostado ni plantación alguna. En ningún caso se emplearon herbicidas. Los lodos compostados proceden de depuradora de residuos urbanos; su contenido en metales pesados respeta la normativa vigente (Marqués *et al.*, 2003) algunas de sus variables físico-químicas se presentan en la Tabla 1. La aplicación de estos lodos fue de 0 (control), 8, 15 y 20 t ha<sup>-1</sup>, y se realizó en superficie para no alterar la cubierta vegetal preexistente.

TABLA 1. Magnitud de las variables físico-químicas realizadas por 2 laboratorios independientes.

Variables y unidades	
pH	7.1-7.9
CE dS/cm	6.0-8.1
MO %	36.31
P total g/kg	21.5-25
Mg total mg/kg	8.3-8.9
Ca total mg/kg	69-100
K total mg/kg	1.5-6.8
N total g/kg	11.15-22

En las 36 parcelas se realizaron las combinaciones de dosis de lodos (0, 8, 15 y 20 t ha<sup>-1</sup> y vegetación (Con y sin *A.h.*), con 3 repeticiones por tratamiento.

Se realizaron cuatro lluvias simuladas sobre cada parcela de una duración de 15

minutos cada una, con intensidad equivalente a 100 ± 5 mm/hora. El número de datos resultante asciende a 144 (36 parcelas x 4 lluvias). Se anotó el tiempo transcurrido hasta la surgencia de agua de escorrentía hasta un tiempo máximo de 15 minutos. En cada ocasión se midieron el volumen, el pH y la conductividad "*in situ*". Una muestra del agua de escorrentía se envasó y posteriormente se realizaron análisis de nitratos (método del ión selectivo) y de amonio (método colorimétrico de Berthelot (Cadaña, 1973)) en laboratorio.

Se empleó el test no paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (Kolmogorov, 1941; Smirnov, 1948) para evaluar las posibles diferencias significativas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El aporte de lodos como enmienda orgánica se traduce en una clara proliferación de la cobertura vegetal de las parcelas (Tabla 2), que en lo que se refiere a porcentaje de cobertura de la proyección ortogonal de la vegetación sobre el suelo, se empieza a manifestar significativamente a partir de la dosis de 15 t ha<sup>-1</sup>, y sigue incrementándose de forma significativa cuando se aplican 20 t ha<sup>-1</sup>. En cuanto a la altura de la vegetación, es estadísticamente similar en las parcelas con dosis de 8 y 15 t lodo ha<sup>-1</sup>, y es a partir de 20 t ha<sup>-1</sup> cuando sí hay diferencias significativas.

TABLA 2. Resultados medios de la cobertura vegetal según la dosis de lodo aplicada.

Dosis de lodo (t ha <sup>-1</sup> )	n	Altura de la vegetación (cm)		Superficie cubierta (%)	
		Media	D.T.	Media	D.T.
Control	9	5,9 ± 1,9		39 ± 10	
8	9	8,3 ± 4,6		57 ± 28	
15	9	9,9 ± 5,2		65 ± 27 b	
20	9	24,4 ± 7,4 ab		83 ± 21 b	

a: diferencias significativas con las dosis anteriores

b: diferencias significativas con el control

El agua empleada para los ensayos de lluvia simulada procede de pozo, sus variables físico-químicas se observan en la Tabla 3. También se presenta su enriquecimiento en sales y el aumento de la concentración de nitratos y amonio tras atravesar las parcelas sometidas al aporte de lodos. Hay diferencias significativas de conductividad eléctrica que aumenta hasta un 16 % cuando procede de las parcelas con dosis de 20 t ha<sup>-1</sup>. También hay un aumento significativo de concentración de nitratos a partir de la dosis de 15 t ha<sup>-1</sup>, con un valor máximo alcanzado es de 19,5 mg l<sup>-1</sup>. En ningún caso se superan los valores guía de 25 mg/l o el límite superior de 50 mg/l de concentración (75/440/CEE y 80/778/CEE), que supondrían un riesgo de contaminación

hacia las aguas superficiales o subterráneas cercanas. La concentración de amonio se ve incrementada en más de un 50 % en el agua de escorrentía de las parcelas con máxima dosis de lodo, llegando la media a superar 1 mg l<sup>-1</sup>, que la normativa recomienda no sobrepasar por sus consecuencias negativas sobre la fauna piscícola (78/659/CEE); incluso se han registrado valores de hasta 3,34 mg l<sup>-1</sup>. Esta dosis de 20 t ha<sup>-1</sup> es relativamente pequeña comparada con las recomendadas por otros autores que son del orden de 100 t ha<sup>-1</sup> (Albaladejo, 2000). Estas variaciones de magnitud aconsejan que la elección en las dosis óptimas sea considerada para cada caso concreto, evitando las generalizaciones.

TABLA 3. Resultados de los análisis de agua de escorrentía en parcelas sometidas a distintos tratamientos de lodo. (M= media, CV=Coeficiente de variación (%); CE=conductividad eléctrica (mS cm<sup>-1</sup>); NO<sub>3</sub><sup>-</sup>=concentración de nitratos (mg l<sup>-1</sup>); NH<sub>4</sub><sup>+</sup>=concentración de amonio (mg l<sup>-1</sup>). El agua de simulación procede de pozo de la zona.

	Agua de simulación		Dosis de lodo compostado (t ha <sup>-1</sup> )							
	n=9		Control n=31		8 n=22		15 n=27		20 n=28	
	M	CV	M	CV	M	CV	M	CV	M	CV
pH	7,6 ± 3%		7,9 ± 3% <sup>a</sup>		7,8 ± 3%		7,9 ± 3% <sup>a</sup>		7,9 ± 2% <sup>a</sup>	
CE	2,7 ± 23%		2,9 ± 18% <sup>ab</sup>		3,2 ± 8% <sup>a</sup>		3,1 ± 7% <sup>a</sup>		3,1 ± 3% <sup>a</sup>	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6,3 ± 55%		8,3 ± 43% <sup>b</sup>		10,1 ± 30%		10,9 ± 30% <sup>a</sup>		10,5 ± 18% <sup>a</sup>	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,5 ± 48%		0,7 ± 72% <sup>c</sup>		1,0 ± 61%		0,8 ± 72% <sup>c</sup>		1,1 ± 68% <sup>a</sup>	

a: diferencias significativas con respecto al agua de simulación (p<0,05). Diferencias significativas con respecto a las parcelas de dosis máxima, c: (p<0,05), b: (p<0,10)

Los resultados del tiempo de surgencia del agua y el volumen y sedimento generados se aprecian en la figura 2, en ella se distinguen las parcelas con *A.h.* y las parcelas que tienen únicamente vegetación espontánea. Se distinguieron clases de tiempo progresivamente mayores de surgencia de agua de escorrentía, desde inmediata (de 0 a 2 minutos) hasta más de 15 minutos, denominada “>16”. Estos casos son los óptimos, pues en ellos ha predominado la infiltración sobre la escorrentía

El volumen medio recogido cuando hay *A. halimus* en las parcelas es de 292 ml m<sup>-2</sup> y es significativamente menor (p<0,05) que cuando únicamente hay vegetación espontánea, con una escorrentía de 577 ml m<sup>-2</sup>. En cuanto a los sedimentos, los valores son respectivamente 737 mg m<sup>-2</sup> y 1810 mg m<sup>-2</sup>, pero no se pueden establecer diferencias significativas debido a la heterogeneidad de respuesta que introduce la densidad de la vegetación en este parámetro (Puigdefábregas, 1986).

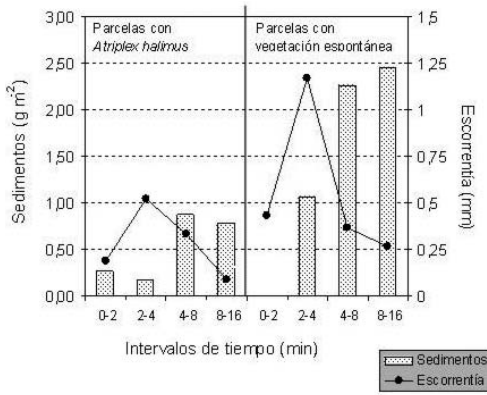


FIGURA 2. Volumen medio de escorrentía y cantidad de sedimentos generados en los ensayos de lluvia simulada. Diferencias entre parcelas revegetadas con *Atriplex halimus* y parcelas con vegetación espontánea únicamente, en estas últimas no se registró pérdida de sedimentos en el intervalo de tiempo 0-2 min.

De los 144 ensayos de lluvia simulada, 48 fueron sobre parcelas con A.h. y 96 sobre parcelas con vegetación espontánea. En más de la mitad de los ensayos de lluvia simulada, las parcelas con A.h. no dieron lugar a agua de escorrentía, frente al 34 % de parcelas con vegetación espontánea (Fig. 3); también hubo menor proporción de parcelas con *Atriplex* en las que el agua surgió en los primeros minutos del ensayo.

CONCLUSIONES

La aplicación de lodos compostados de depuradora como enmienda orgánica favorece de forma clara el incremento la cobertura vegetal en superficie del suelo. Los efectos sobre la altura de la vegetación se han apreciado para la dosis mayor ensayada (20 t ha<sup>-1</sup>).

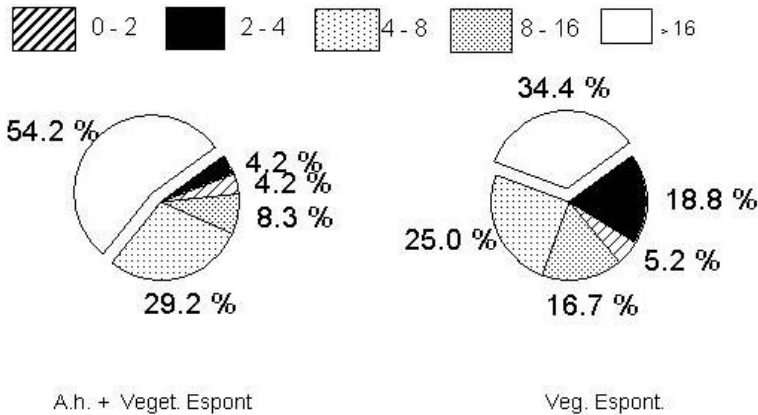


FIGURA 3. Tiempo transcurrido hasta la surgencia del agua de escorrentía. Proporción de parcelas con y sin revegetación con arbustos. (A.h.= *Atriplex halimus*).

La dosis de 20 t ha<sup>-1</sup> produce un incremento en la conductividad eléctrica y en la concentración de amonio del agua de escorrentía que exceden los valores recomendados por la legislación vigente y podrían producir salinización de suelos o contaminación de aguas superficiales con daño a la vida piscícola. No obstante, dosis menores o iguales de 15 t ha<sup>-1</sup> sí pueden ser utilizadas cum-

pliendo su propósito de favorecer la fertilidad del terreno.

La revegetación arbustiva con *Atriplex halimus* junto a la vegetación espontánea presenta mayor eficacia que ésta última en el control de la erosión, incluso bajo presión de herbívoros. El volumen de escorrentía generado es menor y el número de parcelas en las que no se registró escorrentía fue superior al 50 %.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Comunidad de Madrid, a través del Plan Regional de Investigación. Convocatoria de Proyectos de Investigación en Tecnologías Medioambientales y al Instituto Madrileño de Investigación Agraria, su financiación económica mediante los proyectos 07M/0009/2001 y FP02-DR1, respectivamente. Igualmente, el apoyo mediante becas pre y post doctorales a la Consejería de Educación y a los Institutos Madrileño y Nacional de Investigación Agraria. Por último estamos muy agradecidos a los responsables de la finca "La Chimenea" por la ayuda prestada en el campo.

## REFERENCIAS

- Albaladejo, J., Castillo, V., Díaz, E. (2000): Soil loss and runoff in semiarid condition as influenced by organic amendment with urban solid refuse. *Land Degradation and Development* 11, 363-374.
- Bienes, R., Guerrero-Campo, J., Aroca, J.A., Gómez, B., Nicolau, J.M., Espigares, T. (2001): Evolución del coeficiente de escorrentía en campos agrícolas del centro de España con diferentes usos del suelo. *Ecología* 15, 23-36.
- Cadahía, C. (1973): Determinación simultánea de N y P en suelo y plantas. *Anales de Edaf. Agro.* XXXII, 480 p.
- Comisión de las Comunidades Europeas (COM) (2002): Hacia una estrategia temática para la protección del suelo. Comunicación de la Comisión al Consejo, el Parlamento Europeo, el Comité Económico y Social y el Comité de las Regiones. COM(2002) 179 final. Bruselas. 39 pp.
- García, C., Hernández, T., Costa, F. (1994): Microbiana actividad in soils under mediterranean environmental conditions. *Soil Biol. Biochem.* 26, 1185-1191.
- González del Tánago, M. (1993): Erosión real y erosión potencial. Principales métodos para su estimación. *Montes* 34, 31-40.
- Kolmogorov, A. (1941): Confidence limits for an unknown distribution function. *Annals of Mathematical Statistics* 12, 461-463.
- Külling, D., Stadelmann, F., Herter, U. (2001): Sewage sludge-fertilizer or waste? UKWIR conference Brussels. October. 6 pp.
- Le Houerou, H.N. (1992): The role of salt-bushes (*Atriplex* spp.) in arid land rehabilitation in mediterranean basin: a review. *Agroforestry systems* 18, 107-148.
- Marqués, M.J., Jiménez, L., Alonso-Blázquez, N. García-Estríngana, P., Alegre, J., Bienes, R. (2003): Evaluación de la contaminación difusa por metales pesados originada por erosión hídrica en suelos enmendados con lodos de depuradora. En: R. Bienes y Marqués M.J. (eds) *Control de la Erosión y Degradación del suelo*. Actas Simposio, 417-421.
- Ortiz Silla, R. (1990): Mecanismos y procesos de degradación del suelo con especial referencia a las condiciones ambientales mediterráneas. En: *Degradación y Regeneración del Suelo en Condiciones Ambientales Mediterráneas*. Albaladejo, Stocking y Díaz, eds. pp. 47-68. CSIC.
- Puigdefábregas, J. (1996): El papel de la vegetación en la conservación del suelo en ambientes semiáridos. En: T. Lasanta y J.M. García-Ruiz (eds) *Erosión y recuperación de tierras marginales*. Instituto de estudios Riojanos & Sociedad Española de Geomorfología. Logroño.
- Smirnov, N. V. (1948): Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. *Annals of Mathematical Statistics* 19, 279-281.
- Soil Survey Division Staff. (2003). *Keys to Soil Taxonomy*. 9th Edition. United States Department of Agriculture (USDA) U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC

Weltz, M.A., Renard, K.G., Simanton, J.R.  
(1987): Revised Universal Soil Loss  
Equation for Western rangelands. In:  
*Strategies for classification and manage-  
ment of native vegetation for food pro-  
tection in arid zones*. USDA Forest  
Service, GTR RM-150, 104-111.