

# INCIDENCIA DE LA EROSION DE SUELOS YESIFEROS EN LA SALINIDAD DE LA ESCORRENTIA

## *THE EFFECT OF EROSION OF GYPSIFEROUS SOILS ON THE RUNOFF SALINITY*

NAVAS, A.

Department of Geography. Amory Building. Rennes Drive. University of Exeter. Exeter EX4 4RJ. United Kingdom.

---

### RESUMEN

El efecto de la erosión del suelo, producida por el impacto de la lluvia y la escorrentía superficial, en la salinidad de la escorrentía ha sido investigado en 9 parcelas de suelos yesíferos (Syrosems, Xerorendsinas y Serosems) sometidas a lluvia simulada de 48 mmh<sup>-1</sup>. Los resultados obtenidos indican que la salinidad de la escorrentía se relaciona espacial y temporalmente con el transporte de sedimentos. Al aumentar la concentración de sedimentos se produce un incremento en la liberación de solutos. Así, en Syrosems, con una concentración media de sedimentos de 212.74 mg l<sup>-1</sup>, no se registra disolución a partir de los sedimentos, mientras que en Xerorendsinas y Serosems, con concentraciones medias de sedimentos de 439.22 y 326.22 mg l<sup>-1</sup>, el incremento de solutos por la disolución de los minerales solubles transportados en forma particulada es respectivamente del 10% y del 19.5%.

**Palabras clave:** Erosión. Escorrentía. Salinidad. Suelos yesíferos.

### SUMMARY

The effect of soil erosion produced by rainfall impact and overland flow on the salinity of runoff has been examined in 9 plots of gypsiferous soils (Syrosems, Xerorendzinins and Serosems) subjected to simulated rainfall of 48 mmh<sup>-1</sup>.

The results show that salinity of runoff is spatially and temporarily related to sediment transport. The solute release increases with an increase in the sediment concentration. Therefore, no dissolution from sediments is observed in Syrosems which present mean sediment concentration of 212.74 mg l<sup>-1</sup>, whereas in Xerorendzinins and Serosems with mean sediment concentrations of 439.22 and 326.22 mg l<sup>-1</sup> respectively, the increase in solutes from the dissolution of soluble minerals transported as particulate matter are 10% and 19.5% respectively.

**Key words:** Erosion. Overland flow. Salinity. Gypsiferous soils.

## INTRODUCCION

En las regiones áridas y semiaáridas, la erosión de suelos producida por la escorrentía superficial resultante de tormentas de corta duración y alta intensidad, contribuye a la reducción de la calidad química de la escorrentía por el transporte de minerales solubles asociado al de sedimentos.

La relación entre el transporte de las partículas de suelo desagregadas por efecto del impacto de la lluvia o de la lámina de agua en superficie y la calidad de la escorrentía ha sido objeto de estudio en la última década. PONCE (1975) y WHITE (1977) encuentran correlaciones significativas entre la producción de solutos y sedimentos. La dependencia de la concentración de solutos sobre la concentración de sedimentos ha sido estudiada por LARONNE y SCHUMM (1977) y NEZAFATI et al. (1981). PONCE y HAWKINS (1978) y LARONNE y SHEN (1981) relacionan las variaciones espaciales y temporales de la salinidad con la producción de sedimentos, mientras que las relaciones entre las tendencias temporales de la salinidad y las de la concentración de sedimentos han sido analizadas por SHEN et al. (1979) y LARONNE (1981).

LARONNE y SHEN (1982) constatan el efecto de la erosión sobre el aporte de solutos procedentes de la Formación Mancos (Colorado, U.S.A), de forma que la liberación de solutos se incrementa al aumentar la concentración de sedimentos.

El estudio de la cantidad y naturaleza de las sales transportadas por la escorrentía es de particular interés en las regiones semiáridas en las que los regadíos y el desarrollo socioeconómico, con una demanda creciente de agua, han incrementado la salinidad substancialmente. Estos problemas han sido documentados en las cuencas de los ríos Colorado y Grande en U.S.A. y en la del río Murray (Australia). En la cuenca del Ebro, la salinidad y su clara tendencia al incremento (ALBERTO y ARAGUES, 1986) constituye uno de los problemas de contaminación más serios actualmente planteados en la cuenca, donde las formaciones yesíferas han sido identificadas como principales fuentes puntuales y difusas de salinidad (ALBERTO y NAVAS, 1986b; NAVAS, 1988).

La comprensión de los mecanismos generadores de solutos y sedimentos transportados por la escorrentía y el estudio de su interacción son requeridos para la descripción matemática de los procesos físico-químicos, que es necesaria para la construcción y validación de modelos determinísticos de erosión y calidad de aguas.

Las variaciones en las producciones de solutos y sedimentos pueden deberse a factores climáticos y litológicos, así como a diferencias en los caracteres morfológicos, de vegetación y de tipo de suelos. En este trabajo se plantea un estudio experimental, con utilización de lluvia simulada sobre suelos yesíferos, para

investigar la relación entre los solutos y sedimentos transportados por la escorrentía, mediante el análisis de su interacción y de sus variaciones espaciales y temporales.

## AREA DE ESTUDIO Y METODOLOGIA

El área de estudio se localiza en el término municipal de Villamayor (Provincia de Zaragoza). Su ubicación geográfica queda definida (coordenadas UTM) por longitud: 6°8820 - 6°8890 y latitud: 46°2040 - 46°2050.

La Formación Zaragoza (Aquitaniense-Vindoboniense), constituida por yesos masivos con finas intercalaciones de margas y arcillas y sin otras asociaciones mineralógicas de sales más solubles, ha sido seleccionada como representativa de las formaciones yesíferas que en la cuenca ocupan el 22% de su superficie (ALBERTO y NAVAS, 1986a).

El modelado característico de esta formación es en bad-lands ondulantes y de crestas redondeadas (VAN ZUIDAM, 1976), con una red de drenaje de alta densidad y vertientes con inclinaciones promedio entre el 2 y el 30%, clasificadas por IBANEZ y MENSUA (1976) como ligadas a excavación de barrancos.

Para el estudio experimental se han seleccionado 9 emplazamientos con caracteres de cobertura vegetal xerofítica y desarrollo del perfil típicos de los suelos yesíferos más representativos de la catena desarrollada sobre estas vertientes. Los tres tipos de suelos considerados se clasifican de acuerdo a KUBIENA (1957) como Syrosems, Xerorendsinas y Serosemes.

Los Syrosems son suelos someros y pedregosos, con menos del 20% de tierra fina, un solo horizonte de diagnóstico (A, ocrico) y textura areno limosa. Las Xerorendsinas presentan un perfil del tipo (A)C, con estructura granular débil y textura limo arcillo arenosa. Los Serosemes presentan una estructura moderadamente fina, con desarrollo de los horizontes A/(B)/C, carecen de piedras en los horizontes superiores y la textura es limo arcillosa. Para cada tipo de suelo, las parcelas experimentales presentan tres valores de pendiente (4%, 8% y 16%). Tanto el porcentaje de rocas yesíferas aflorantes en superficie aquí denominado "rocosidad", como el de cobertura vegetal se determinaron por pesada tras su delineación en una lámina de plástico transparente. Los caracteres fisiográficos de cada parcela se presentan en el Cuadro I.

En el área, los valores medios de precipitación anual oscilan entre 300 y 350 mm. Los episodios tormentosos de alta intensidad y corta duración son característicos, con un máximo de intensidad de precipitación de 68 mmh-1 para una lluvia de 15 minutos de duración (ELIAS, 1963).

Sobre cada una de las 9 parcelas y en condiciones de suelo seco se aplicó, durante 15 minutos, lluvia simulada

de 48 mmh<sup>-1</sup> generada mediante un simulador de boquilla de aspersión (NAVAS, 1988), que produce una distribución homogénea de lluvia sobre las parcelas de dimensiones 1.25 x 1.25 m. Se utilizó agua desionizada con una conductividad eléctrica de 0.02 dSm<sup>-1</sup>

SUELO	PENDIENTE %	ROCOSIDAD %	VEGETACION %
SYROSEMS	4	44.0	2.2
	8	28.0	4.6
	16	29.0	1.0
XERORENDSINAS	4	2.0	4.7
	8	6.0	5.2
	16	9.0	11.6
SEROSEMS	4	0.2	50.0
	8	0.2	32.6
	16	0.2	34.7

Cuadro 1. Caracteres fisiográficos de las parcelas.  
Table 1. Physiographic characteristics of the experimental plots.

El muestreo de la escorrentía se realizó con botellas aforadas a intervalos regulares de tres minutos. Al final de la experimentación se registra el volumen total producido. La determinación analítica de parámetros hidroquímicos y sedimentológicos se realiza sobre las muestras recogidas durante el minuto en la mitad de cada intervalo, totalizando cinco muestras por experimento. De cada muestra, 100 ml fueron inmediatamente filtrados en el campo.

Para expresar la concentración de solutos se utiliza la conductividad eléctrica que depende de las conductividades iónicas individuales. La disolución de sales de los sedimentos en el agua se determina a partir de las medidas de conductividad eléctrica en las muestras filtradas (CEf) y en las no filtradas (CEa). Estas últimas fueron agitadas durante tres horas para provocar la disolución de todas las sales. La concentración de sedimentos fue determinada por pesada del residuo seco (50C<sup>0</sup>) filtrado.

## RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 2 muestra los valores de la media aritmética y desviación estandar de las variables hidroquímicas y sedimentológicas para cada parcela y tipo de suelo.

Las conductividades eléctricas medias mas altas aparecen en Syrosems (CEf = 1.32, CEa = 1.32 dSm<sup>-1</sup>), seguidos de Xerorendsinas (CEf = 1.00, CEa = 1.11 dSm<sup>-1</sup>) y Seroosems (CEf = 0.77, CEa = 0.92 dSm<sup>-1</sup>). Las conductividades mínimas se registran en las parcelas de

Seroosems con un 4% de pendiente y las máximas en las de Syrosems con un 16% de pendiente.

SUELO	PENDIENTE %		CEf	CEa	CEa-CEf	Sedimentos
			dsm <sup>-1</sup>			mg l <sup>-1</sup>
SYROSEMS	4	X	1.24	1.23	0.00	219.50
		S	0.09	0.09	0.00	74.90
	8	X	1.34	1.37	0.00	166.76
		S	0.09	0.10	0.00	25.70
	16	X	1.37	1.37	0.00	224.40
		S	0.02	0.02	0.00	82.20
XERORENDSINAS	4	X	1.32	1.32	0.00	212.74
		S	0.09	0.10	0.00	70.88
	8	X	0.79	0.92	0.13	355.47
		S	0.13	0.08	0.11	148.00
	16	X	1.03	1.14	0.11	468.99
		S	0.10	0.15	0.06	275.10
SEROSEMS	4	X	1.19	1.27	0.07	493.20
		S	0.05	0.04	0.02	117.40
	8	X	1.00	1.11	0.10	439.22
		S	0.19	0.17	0.07	188.88
	16	X	0.58	0.80	0.22	437.23
		S	0.18	0.20	0.05	251.40
SEROSEMS	8	X	0.82	0.90	0.08	229.84
		S	0.11	0.13	0.02	25.60
	16	X	0.90	1.05	0.15	311.60
		S	0.08	0.09	0.06	144.10
	4	X	0.77	0.92	0.15	326.22
		S	0.19	0.17	0.07	178.81

Cuadro 2. Resultados de la experimentación para cada tipo de suelo y parcela.

Table 2. Results of the experiments for each soil type and plot.

Las variaciones temporales de la salinidad se muestran en la Figura 1, donde los tipos de suelos aparecen agrupados por pendientes. La variabilidad espacial observada se debe, fundamentalmente, a las diferencias porcentuales en el afloramiento de rocas yesíferas en superficie que presentan las distintas parcelas, con porcentajes máximos en Syrosems.

Las concentraciones medias mas altas de sedimentos se registran en las parcelas de Xerorendsinas (439.22 mg l<sup>-1</sup>), seguidas de Seroosems (326.22 mg l<sup>-1</sup>), mientras que en Syrosems la concentración media es de 212.74 mg l<sup>-1</sup>. Las concentraciones máximas aparecen en las parcelas de Xerorendsinas con un 16% de pendiente y las mínimas en las de Syrosems con un 8% de pendiente.

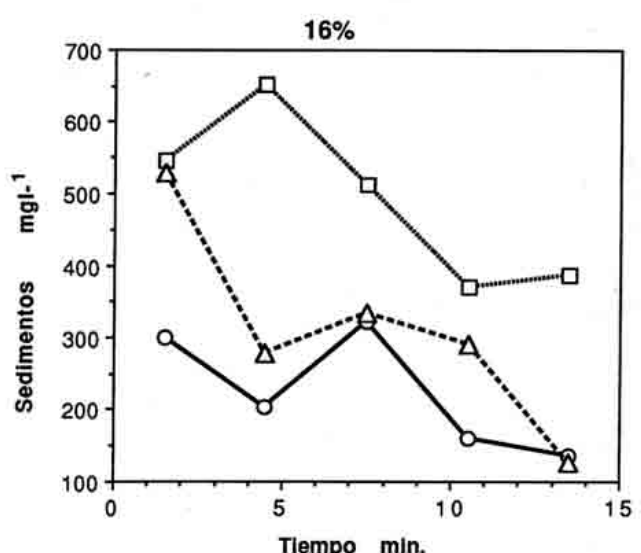
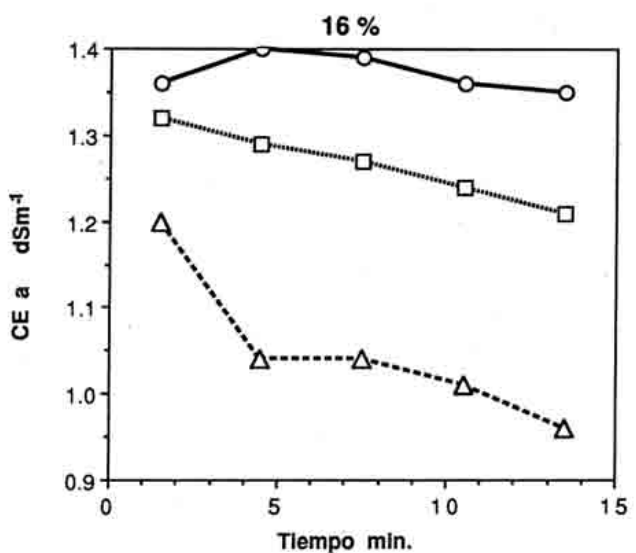
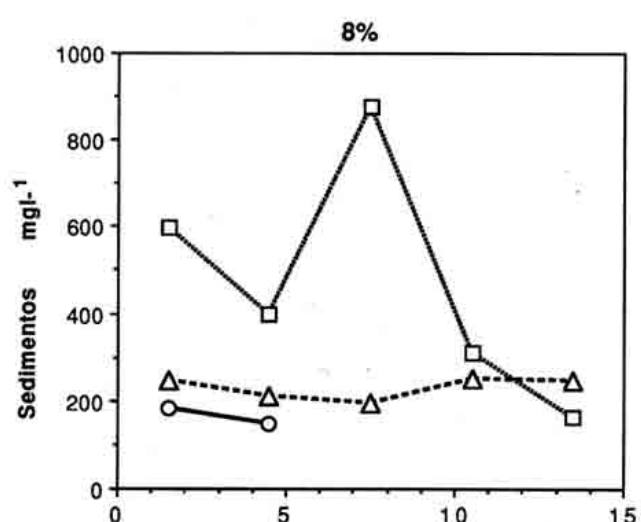
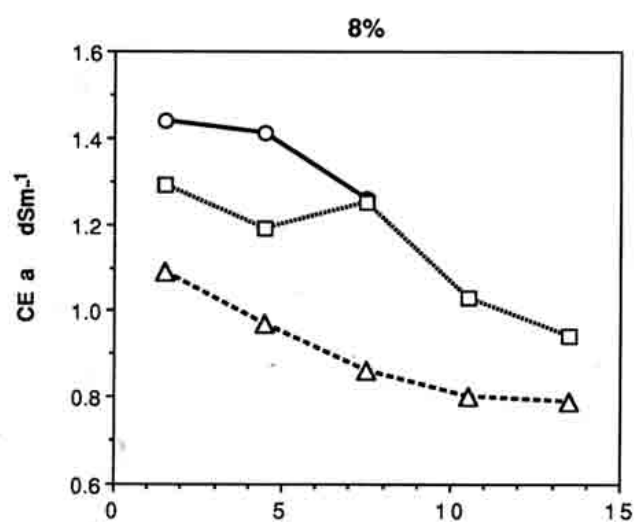
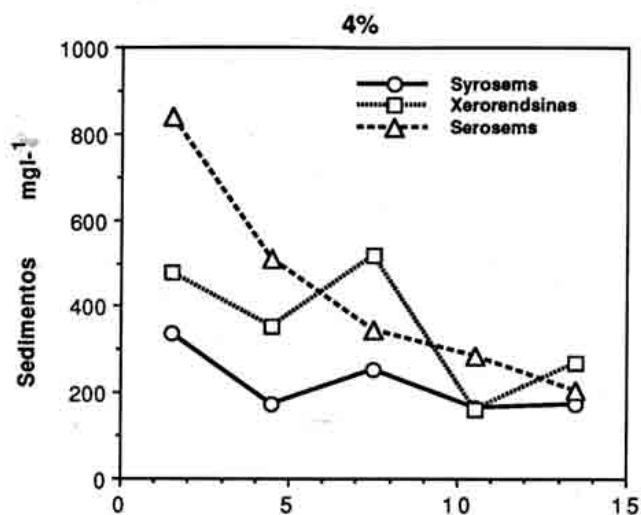
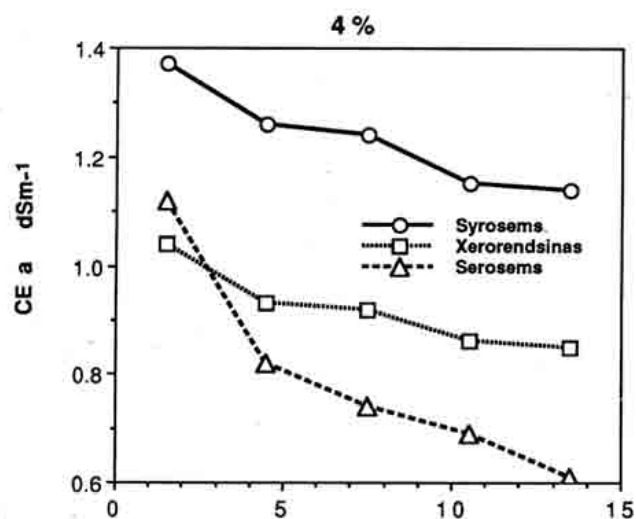


Figura 1. Distribución espacial y temporal de la salinidad de la escorrentía.

Figure 1. Spatial and temporal distribution of runoff salinity.

Figura 2. Distribución espacial y temporal de la concentración de sedimentos en la escorrentía.

Figure 2. Spatial and temporal distribution of sediment concentration in runoff.

VARIABLE ESTUDIADA	FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	VALOR F	SIGNIFICACION
Conductividad eléctrica	Suelo (s)	2	45	*** (p>0.999)
	Pendiente (P)	2	19	*** (p>0.999)
	S x P	4	1	n.s.
Sedimentos	Suelo (S)	2	7	** (p>0.99)
	Pendiente (P)	2	1	n.s.
	S x P	4	1	n.s.

Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza para la conductividad eléctrica y la concentración de sedimentos.  
 Table 3. Analysis of variance for the specific conductance and sediment concentration.

A

VARIABLE ESTUDIADA	FUENTE DE VARIACION	TIPO DE SUELO		
		SYROSEMS	XERORENDSINAS	SEROSEMS
Conductividad eléctrica	Pendiente	***	***	*
Sedimentos	Pendiente	n.s.	n.s.	n.s.

B

VARIABLE ESTUDIADA	FUENTE DE VARIACION	PENDIENTE		
		4%	8%	16%
Conductividad eléctrica	Suelo	***	***	*
Sedimentos	Suelo	n.s.	n.s.	**

Cuadro 4. Resultados del análisis de varianza para la conductividad eléctrica y la concentración de sedimentos cuando se deja fijo uno de los dos factores de variación estudiado: A) suelo, B) pendiente.  
 Table 4. Analysis of variance for the specific conductance and sediment concentration when one of the two factors of variation studied is held constant: A) soil, B) slope.

VARIABLE ESTUDIADA	FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	VALOR F	SIGNIFICACION
Conductividad eléctrica	Vegetación	7	8	*** (p>0.999)
	Rocosisdad	5	19	*** (p>0.999)
Sedimentos	Vegetación	7	3	** (p>0.99)
	Rocosisdad	5	3	** (p>0.99)

Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza para la conductividad eléctrica y la concentración de sedimentos en función de los factores vegetación y rocosidad.

Table 5. Analysis of variance for the specific conductance and sediment concentration as a function of the percentage of vegetation and rock outcrop at the surface.

En Syrosems la concentración de sedimentos es máxima en la parcela de 16% de pendiente que presenta la mínima vegetación, y es mínima en la parcela de 8% de pendiente que tiene el más alto porcentaje de vegetación. En Xerorensinas, la concentración de sedimentos aumenta con el incremento de la pendiente. En Serosems, la concentración de sedimentos es máxima en la parcela de mínima pendiente a pesar de presentar el más alto porcentaje de cobertura vegetal, en las otras dos parcelas, con porcentajes similares de vegetación, la concentración de sedimentos se incrementa al aumentar la pendiente. La distribución temporal de la concentración de sedimentos y sus variaciones espaciales se presentan en la Figura 2.

Para analizar la incidencia de factores fisiográficos en la variación de la conductividad eléctrica y la concentración de sedimentos se efectuó un análisis de varianza, de acuerdo con el siguiente modelo factorial de efectos fijos:

$$Y_{ijk} = u + SUELO_i + PENDIENTE_j + E_{ijk}$$

El resultado del análisis de varianza (Cuadro 3), confirma efectivamente que la conductividad eléctrica es afectada significativamente (p>0.999) tanto por el factor suelo como por la pendiente. En este sentido, también LARONNE y SHEN (1982) encuentran correlaciones positivas significativas entre la pendiente y la conductividad. Sin embargo, la concentración de sedimentos solo se ve afectada de forma significativa (p>0.99) por el tipo de suelo. La interacción entre ambos factores no presente, en ningún caso, significación estadística.

Al analizar estas variables en función de cada factor separadamente, dejando fijo al otro, los resultados no variaron de forma sustancial (Cuadro 4).

Para determinar el efecto de la rocosidad y la vege-

tación en la variación de la conductividad eléctrica y de los sedimentos se efectuó un análisis de varianza a una vía de acuerdo con los siguientes modelos:

$$1) Y_{ij} = u + VEGETACION_i + E_{ij}$$

$$2) Y_{ij} = u + ROCOSIDAD_i + E_{ij}$$

El resultado de este análisis (Cuadro 5) indica que la conductividad eléctrica es afectada significativamente (p>0.999) tanto por el factor vegetación (8 niveles) como por la rocosidad (6 niveles). Asimismo, los sedimentos se ven afectados también de forma significativa (p>0.99) por ambos factores de variación. El tamaño reducido de la muestra no permitió el cálculo de la interacción entre estos dos factores.

El transporte de sedimentos se relaciona con los caracteres texturales específicos de cada suelo y con el porcentaje de cobertura vegetal, así las concentraciones mínimas y las velocidades de erosión más bajas se registran en Syrosems que aunque tienen un recubrimiento vegetal mínimo son los que a su vez presentan un menor porcentaje de tierra fina en el perfil.

Aparte del efecto de la vegetación, que en las Xerorensinas es escasa (entre el 4.7% y el 11.6%), las mayores concentraciones de sedimentos encontradas en estas parcelas, podrían también estar originadas por sus propios caracteres texturales, de forma que a igual energía cinética de la lluvia simulada, el impacto de las gotas y la escorrentía producirían la desagregación de partículas de mayor tamaño en Xerorensinas que en Serosems, mientras que la más densa cobertura vegetal en Serosems (hasta el 50%), con su efecto protector sobre la erosión del suelo al interceptar el agua de lluvia, redundaría en menores concentraciones de sedimentos.

La diferencia entre las conductividades medidas en las muestras no filtradas y agitadas (CEa) y en las muestras filtradas (CEf) refleja el proceso de disolución

de los minerales solubles transportados junto a los sedimentos. Los valores de esta diferencia igualan a 0 en Syrosems, reflejando que en estas parcelas los sedimentos no llevan sales asociadas.

En Xerorendsinas, el valor promedio de la diferencia entre CEa y Cef es de  $0.10 \text{ dSm}^{-1}$ , lo que representa respecto al valor medio de conductividad en las muestras no filtradas, un incremento del 10% en la concentración de solutos aportados por los sedimentos. Considerando cada parcela, el incremento de solutos es del 16% en la parcela de 4% de pendiente, del 10.7% en la de 8% de pendiente y del 6% en la de 16% de pendiente.

En Seroosems el incremento promedio en la concentración de solutos representa un 19.5%, correspondiendo a un valor medio de la diferencia entre CEa-CEF de  $0.15 \text{ dSm}^{-1}$ . Al considerar las distintas parcelas se observan importantes variaciones, así el incremento de solutos es del 38% en la de 4% de pendiente, del 9.8% en la de 8% de pendiente y del 16.7% en la de 16% de pendiente.

El hecho de que sean los Seroosems los que en conjunto presentan mayores incrementos de solutos, aun cuando las concentraciones de sedimentos son ligeramente inferiores a las de las Xerorendsinas, podría quizás deberse a que la textura más fina de los primeros determina un mayor porcentaje de área superficial donde las sales pueden precipitar.

Estos resultados reflejan una importante variabilidad espacial y una posible relación causal entre la concentración de sedimentos y la salinidad de la escorrentía,

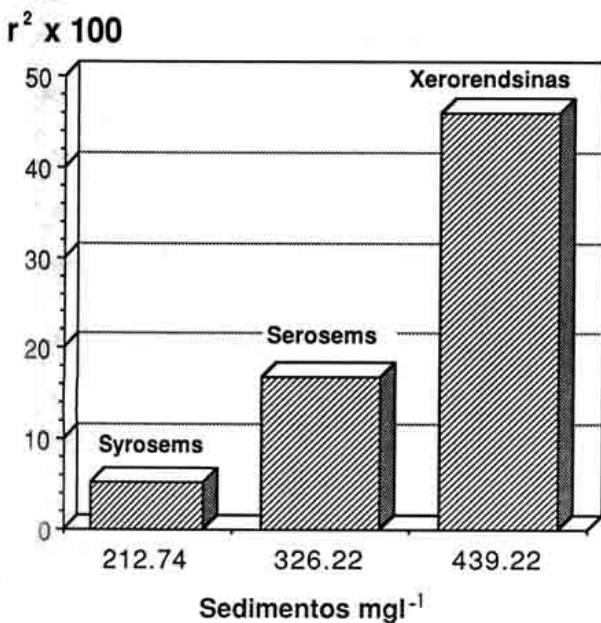


Figura 3. Distribución de  $r^2$  en las regresiones lineales entre la concentración de sedimentos y la CEa para cada tipo de suelo.  
Figure 3.  $R^2$  distribution of the linear regressions of CEa against sediment concentration for each soil type.

puesto que los más altos porcentajes de incrementos de solutos se relacionan, en términos generales, con las mayores producciones de sedimentos en las parcelas. Para el conjunto de los suelos ( $n=42$ ), la relación entre la concentración de sedimentos ( $x, \text{mg l}^{-1}$ ) y la diferencia entre CEa-CEF ( $y, \text{dSm}^{-1}$ ), descrita por la ecuación  $y = 0.0017 + 0.0003x$  donde  $r^2=0.320$  es significativamente estadístico al nivel 0.01, así lo confirma.

Para determinar la relación entre la concentración de sedimentos y la concentración salina de la escorrentía (CEa) se establecieron regresiones lineales simples. Como se observa en la Figura 3, el incremento de los valores de  $r^2$ , ordenados desde Syrosems, Seroosems hasta Xerorendsinas, refleja una mejora de la relación entre ambas variables conforme aumenta la concentración de sedimentos.

Las Figuras 4, 5 y 6 muestran las variaciones espaciales y temporales de la concentración de sedimentos y de la conductividad eléctrica. En términos generales se observan picos máximos tanto de conductividad como de concentración de sedimentos al inicio de la escorrentía, la existencia de un segundo pico es común en Xerorendsinas. Para todos los suelos, la concentración de sedimentos y la salinidad presentan, en general, tendencias bastante paralelas, por lo que se puede afirmar que existe una correspondencia espacial y temporal entre ambas variables.

## CONCLUSIONES

Las relaciones entre los sedimentos y la salinidad de la escorrentía analizadas en este estudio, sugieren una relación causal entre estas dos variables. El paralelismo en sus variaciones espaciales y temporales, así como el incremento en la liberación de solutos al aumentar la concentración de sedimentos así lo confirma.

Teniendo en cuenta que los experimentos se han realizado en suelos yesíferos (sin otras sales más solubles), en los que la erosión se produce por el impacto de lluvia y la escorrentía superficial, se puede suponer que en litologías salinas una importante proporción de la producción de solutos puede estar originada por la erosión de suelos y el subsecuente transporte de sedimentos.

## REFERENCIAS

- ALBERTO, F. y R. ARAGUES (1986): La problemática general de la salinidad en la Cuenca del Ebro. En: *Sistema Integrado del Ebro. Estudio Interdisciplinar*. Editorial Hermes, 221-236. Madrid
- ALBERTO, F. y A. NAVAS (1986 a): La participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro. I. Cartografía de síntesis de las formaciones con yesos. *Anales de Aula Dei*, 18, 7-18.

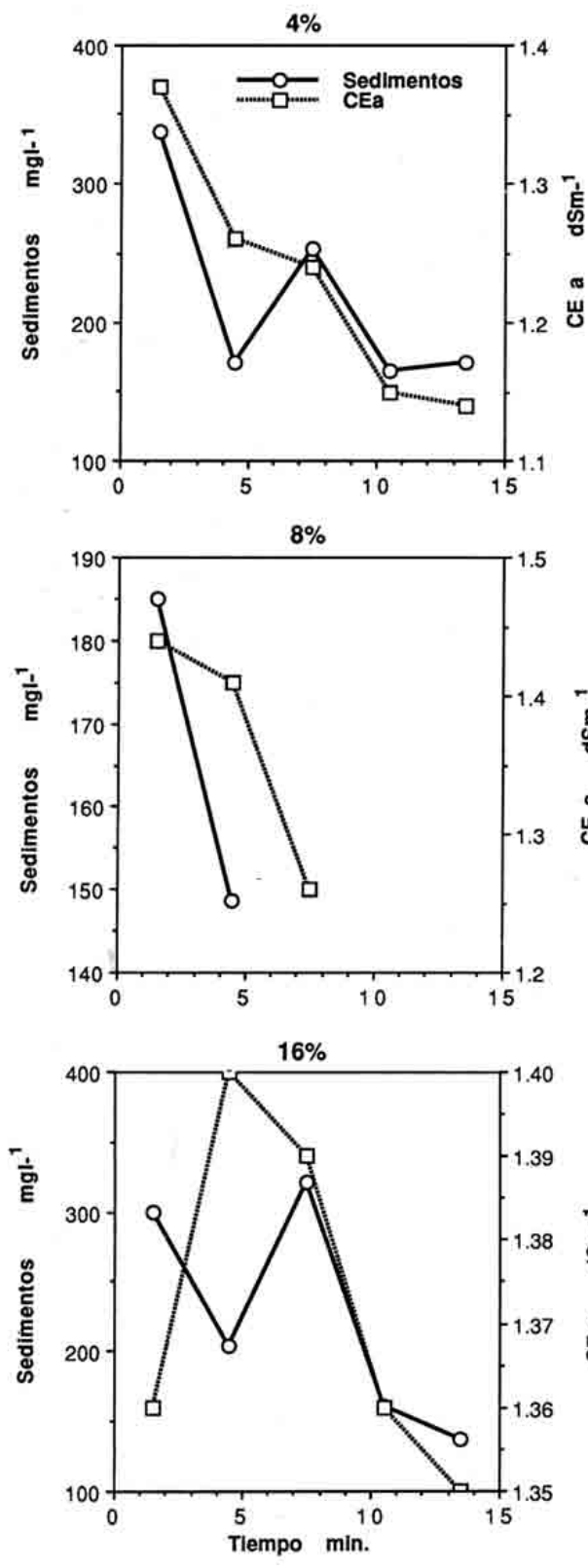


Figura 4. Variación espacial y temporal de la concentración de sedimentos y de la salinidad de la escorrentía en las parcelas de Syrosems.

Figure 4. Spatial and temporal variation of the sediment concentration and salinity in runoff from Syrosems.

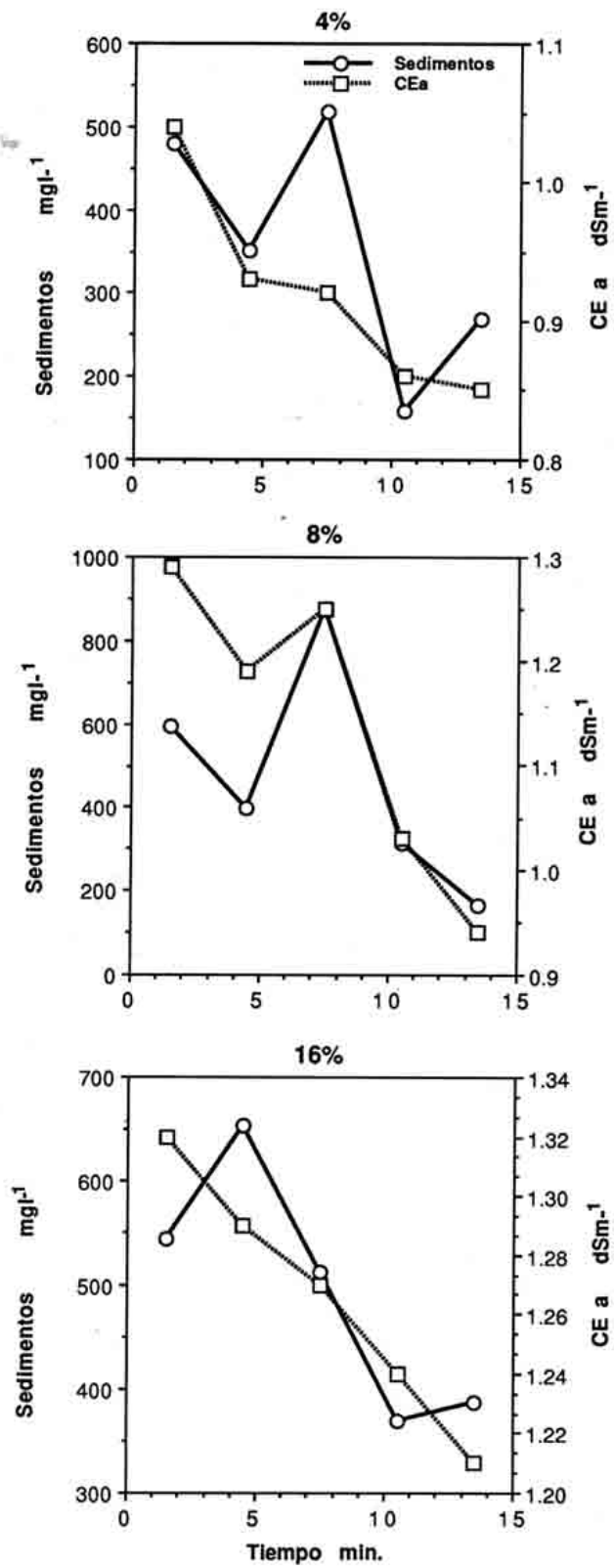


Figura 5. Variación espacial y temporal de la concentración de sedimentos y de la salinidad de la escorrentía en las parcelas de Xerorendzinas.

Figure 5. Spatial and temporal variation of the sediment concentration and salinity in runoff from Xerorendzinas.



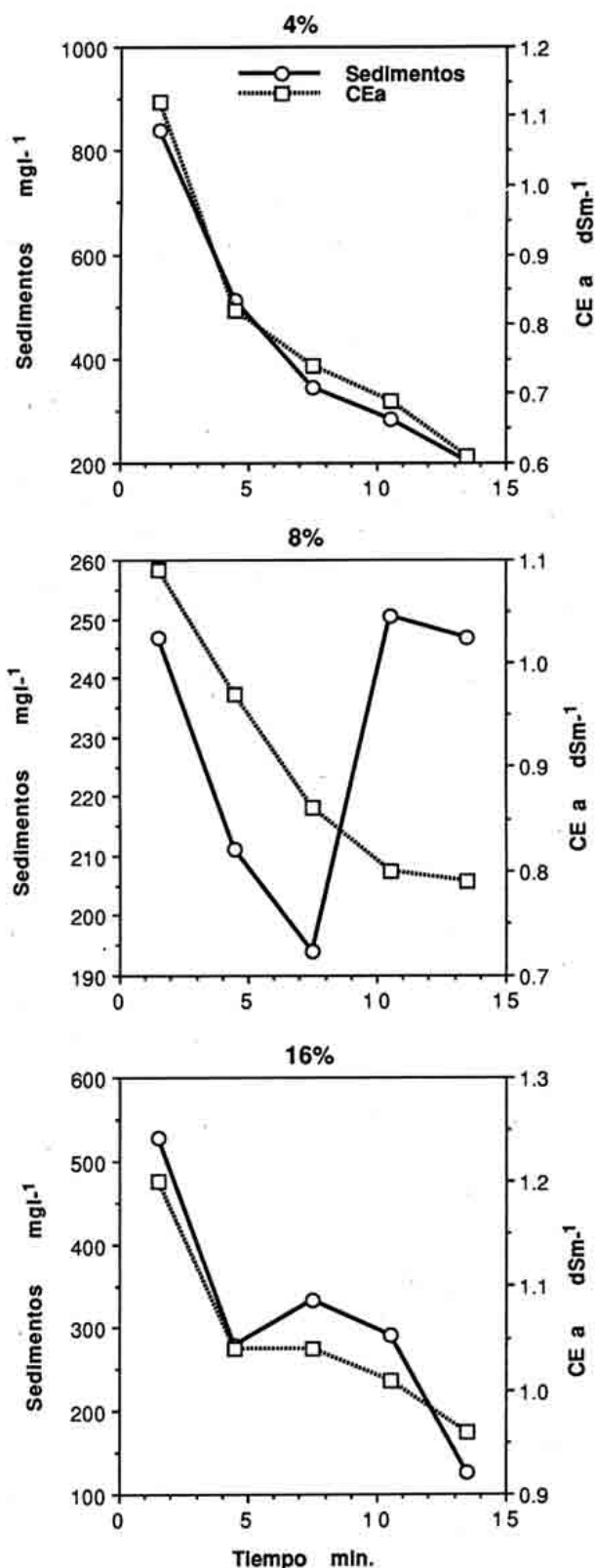


Figura 6. Variación espacial y temporal de la concentración de sedimentos y de la salinidad de la escorrentía en las parcelas de Serosems.

Figure 6. Spatial and temporal variation of the sediment concentration and salinity in runoff from Serosems.

ALBERTO, F. y A. NAVAS (1986b): La participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro. II. Contribución relativa de los iones  $SO_4^{2-}$  y  $Ca^{++}$  a la salinidad. *Anales de Aula Dei*, 18, 19-29.

ELIAS, F. (1963): *Precipitaciones maximas en Espana. Regimen de intensidades y frecuencias*. Ministerio de Agricultura. Servicio de Conservacion de Suelos, 267 p. Madrid.

IBANEZ, M.J. y S. MENSUA (1976): Contribucion al estudio de vertientes en condiciones semiaridas. Tipos de vertientes sobre yesos en el valle del Ebro. *Bol. R. Soc. Geografica*, CXII, 381-394.

KUBIENA, W.L. (1952): *Claves sistematicas de suelos*. C.S.I.C. Madrid.

LARONNE, J.B. (1981): Dissolution kinetics of soluble minerals from Mancos Shale-associated alluvium. *Earth Surface Processes*, 6, 541-552.

LARONNE, J.B. y S.A. SCHUMM (1977): *Evaluation of the storage of diffuse sources of salinity in the Upper Colorado River Basin*. Colo. State Univ., Environ. Res. Cent., Completion Rep., 79, 111 p.

LARONNE, J.B. y H.W. SHEN (1981): Temporal and spatial variations of solute pickup during runoff generation on saline hillslopes. In V.P. SINGH (Ed.): *Modeling components of Hydrologic cycle*, 449-462.

LARONNE, J.B. y H.W. SHEN (1982): The effect of erosion on solute pickup from Mancos Shale Hillslopes, Colorado, U.S.A.. *Journal of Hydrology*, 59, 189-207.

NAVAS, A. (1988): *La participacion de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Univ. Zaragoza. 466 p.

NEZAFATI, H., D.S. BOWLES y J.P. RILEY (1981): Salt release from suspended sediments in the Colorado River Basin. *Water Forum '81, Am. Soc. Civ. Eng. Spec. Conf. Proc.*, San Francisco, Calif., 1327-1334.

PONCE, S.L. (1975): *Examination of a non-point source loading function for the Mancos Shale wildlands of the Price River Basin, Utah*. Ph.D. Dissertation, Dep. Civ. Environ. Eng., Utah State Univ., Logan, Utah.

PONCE, S.L. y R.H. HAWKINS (1978): Salt pickup by overland flow in the Price River Basin. *Water Resour. Bull.*, 14, 1187-1200.

SHEN, H.W., E.D. ENCK, G.K. SUNDAY y J.B. LARONNE (1979): Salt loading from hillslopes. *Int. Assoc. Hydraul. Res. Proc.* 18th Congr. on Hydraulic Engineering in Water Resources Development and Planning, Cagliari, 5, 99-105.

VAN ZUIDAM, R.A. (1976): *Geomorphological development of the Zaragoza region, Spain*. Int. Inst. of Aerial Survey and Earth Sc., ITC. 211 p. Enschede.

WHITE, R.B. (1977): *Salt production from micro-channels in the Price River Basin, Utah*. M. Sc. Thesis, Dep. Civ. Environ. Eng., Utah State Univ., Logan, Utah.

Recibido en Septiembre de 1989  
Aceptado en Abril de 1990