

## **CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA EN UN PAISAJE DESARROLLADO SOBRE MATERIALES EVAPORÍTICOS**

ORTIZ-BERNAD, IRENE\*; SIMÓN TORRES, MARIANO\*; IRIARTE MAYO, ÁNGEL\*\*;  
GARCÍA FERNÁNDEZ, INÉS\*

\* Dpto. Edafología y Química Agrícola, Facultad de Ciencias, Avda. Severo Ochoa, s/n, Granada.

\*\* Estación Experimental del Zaidín, C.S.I.C., Profesor Albareda, nº1, Granada

**Abstract:** The quantitative and qualitative determination of the soluble salts dissolved in the runoff waters shows an inverse relationship between  $SO_4^{2-}$  and  $HCO_3^-$  concentrations and indicates that these runoff waters promote neither salinization nor sodification wherever they accumulate. Saline soils from the sink areas must have had their origin in old lakes of brackish water which remained confined by the gypsum and marly formations.

There is a direct relationship between the amount of the load of suspended material in the runoff water of each soil and the erodibility factor K, except for soils protected from the impact of the rain drops.

**Key words:** Salinity, erosion, rainfall simulation, runoff.

**Resumen:** La valoración cuantitativa y cualitativa de las sales solubles contenidas en las aguas de escorrentía evidencia una relación inversa entre los iones  $SO_4^{2-}$  y  $HCO_3^-$  y pone de relieve que no son susceptibles de provocar procesos de salinización o sodización allí donde se concentran. Los suelos salinos de las zonas de vaguada debieron de tener su origen en antiguos lagos de aguas salobres que quedaron encerrados en las formaciones de yesos y margas.

La cantidad de material arrastrado por las aguas de escorrentía en cada suelo está directamente relacionado con el factor K de erosionabilidad, excepto en aquellos suelos que presentan una cierta protección frente al impacto de las gotas de lluvia.

**Palabras clave:** Saninidad, erosión, simulación de lluvia, escorrentía.

### **INTRODUCCIÓN**

El suelo es un componente esencial del ciclo hidrológico debido a su papel de nexo entre la atmósfera, los organismos y el material geológico. Intercepta el agua que llega a su superficie, la cual puede penetrar en él o bien transformarse en escorrentía.

La cantidad y calidad (tamaño y forma) de los poros del suelo, condicionados por sus parámetros texturales y estructurales, son los que regulan tanto la tasa de infiltración como la de escorrentía. En general, la infiltración es alta en los primeros estadios de humectación, especialmente si se parte de suelo seco, y posteriormente disminuye progresiva y asintóticamente hasta

alcanzar un valor constante (Horton, 1940; Philip, 1954) denominado tasa de infiltración final (Dunin, 1976). Por otra parte, la tasa de infiltración final no suele ser un parámetro constante, sino que varía en función de la intensidad de lluvia (Simón et al, 1995). En consecuencia, las tasas de infiltración y escurrimiento de los suelos variarán considerablemente en función de la intensidad de lluvia.

El agua de lluvia tiende a destruir la estructura del suelo y a solubilizar determinados constituyentes, al tiempo que los materiales resultantes y los iones disueltos son arrastrados por las aguas de escurrimiento. Los materiales arrastrados nos darán una medida directa del grado de erosión del suelo y, en el caso de que dichas aguas procedan de suelos afectados por sales, la concentración y el tipo de iones disueltos serán indicativos de su potencialidad para provocar procesos de salinización o sodización allí donde tiendan a acumularse. Por tanto, dado que la intensidad de lluvia influye tanto en el grado de destrucción de la estructura como en la cantidad de escurrimiento generada, será un factor esencial a la hora de estimar los dos parámetros anteriores.

El objetivo principal de este trabajo ha sido determinar el quimismo y los materiales en suspensión del agua de escurrimiento de diferentes suelos desarrollados en la Depresión de Baza, mediante la utilización de un simulador de lluvia de intensidad variable (Simón et al., 1995). La cantidad de materiales arrastrados a diferentes intensidades de lluvia se comparan con el factor K de erosionabilidad del suelo (Wischmeier et al., 1971), y las sales disueltas se valoran frente a posibles problemas de salinización o sodización.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La zona de estudio se encuentra situada en la provincia de Granada, en el sector oriental de la Depresión de Guadix-Baza, y está contenida en la hoja nº 972 (Cúllar-Baza) del Mapa Topo-

gráfico Nacional a escala 1:50000. Se trata de una cuenca intramontañosa de la Cordillera Bética, situada en el contacto entre las zonas Bética y Subbética (Vera, 1970). Los materiales que rellenan esta Depresión tienen una edad comprendida entre el Aquitaniense (Mioceno Inferior) y el Cuaternario. Los materiales miocénicos constituyen el substrato de la cuenca y están representados por margas, areniscas y limos, en gran parte marinos. Los materiales Plioceno-Cuaternarios proceden fundamentalmente de la precipitación química y son calizas y margas varvadas que contienen gran cantidad de yeso y se han originado en un medio lacustre, de aguas someras y con oscilaciones cíclicas de nivel y/o salinidad (Peña, 1985).

El clima es mediterráneo subdesértico, con una precipitación media anual que no supera los 300 mm que se reparten muy irregularmente (Peña, 1979), de forma que las escasas pero intensas lluvias han modelado un paisaje en el que son frecuentes los abarrancamientos y acarcavamientos, con una dirección aproximada E-W, que dan origen a un paisaje de tipo badland. Los suelos se caracterizan por un régimen de humedad xérico, muy próximo al arídico, y un régimen de temperatura méxico (Soil Survey Staff, 1977).

La vegetación se distribuye en función de la salinidad del suelo. En los suelos yesíferos no salinos aparecen matorrales pertenecientes a las asociaciones Juríneo-Gypsophiletum y *Dactylo hispanicae-Lygeetum sparti*, las cuales desaparecen en las zonas cultivadas y en su lugar se favorece el desarrollo de diversas especies de *Artemisia*, ubicadas en la asociación *Andryalo ragusinae-Artemisietum barrelieri*. En las zonas con mayor contenido en sales que rodean las vaguadas de elevada salinidad, aparece la asociación *Limonio delicatuli-Gypsophiletum tomentosae*. Por último, en las zonas de vaguada de más elevada salinidad, se encuentra la asociación *Cistancho phelypaeae-Arthrocnemum fruticosum*.

Dentro de esta Depresión, se han seleccionado siete sectores, en función de su litología y

posición fisiográfica. Los sectores 1, 2, 3 y 4 están desarrollados sobre materiales evaporíticos, constituidos por una alternancia de margas y yesos; mientras que los sectores 5, 6 y 7 se han escogido en función de su proximidad al centro de un antiguo lago salobre, con lo que su salinidad es muy superior a los anteriores.

En cada sector se escogieron cuatro parcelas adyacentes en las que se realizaron cuatro experiencias de simulación de lluvia con intensidades aproximadas de 40, 60, 80 y 100 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente. El simulador utilizado consta básicamente de una placa de goteros de 50 cm de lado, con una densidad de 4900 goteros por m<sup>2</sup>. La placa reposa sobre un soporte telescópico de hierro, cerrado por sus cuatro laterales con un plástico transparente semirrígido, que se nivela mediante una estructura metálica en forma de trípode. La lluvia se simula aportando un caudal constante de agua desionizada a la placa de goteros con una bomba peristáltica, conectada a un generador portátil, y regulada mediante un microprocesador que permite simular la intensidad de precipitación exacta que se desee. El agua de escorrentía se recoge con una bandeja triangular fijada al suelo a unos 2 cm de profundidad, aunque ese valor puede variar en función del tipo de suelo. La fijación se realiza mediante una resina "saran", que tiene la particularidad de ser hidrófoba y, por tanto, impermeabiliza el conjunto. Con ello se consigue que la perturbación sobre la microtopografía del suelo sea mínima.

La escorrentía se mide desde el momento mismo de su inicio y, posteriormente, a intervalos de 5 minutos. Su intensidad se calcula en función del tiempo de llenado de un frasco de 150 cm<sup>3</sup>. Cada experiencia se mantiene hasta que la escorrentía alcanza un valor constante durante al menos tres medidas sucesivas.

En cada sector se ha estudiado el suelo característico y se ha analizado la composición iónica de las aguas de escorrentía y el residuo arrastrado en cada una de ellas.

La descripción macromorfológica de los suelos se ha llevado a cabo según la sistemática

FAO (1977) y la clasificación según la normativa FAO (1988). Los métodos analíticos utilizados han sido: carbono orgánico, método de Tyurin (1951); carbonatos, método de Barahona et al. (1984); yeso, método de Richards (1954); conductividad eléctrica, medida a 25°C con un conductímetro Crison 522; textura, determinada por el método de la pipeta de Robinson (Soil Conservation Service, 1972); extracto de saturación, método descrito por Richards (1954); Ca y Mg fueron determinados por espectroscopía de absorción atómica y Na y K por fotometría de llama; carbonatos, bicarbonatos y cloruros se midieron según el método de Reitemeier (1943); y sulfatos según el método de US Salinity Laboratory Staff (1954). El residuo sólido del agua de escorrentía se ha obtenido dejando flocular el material sólido que contenía cada frasco de muestra de agua de escorrentía, decantando el mayor volumen de líquido posible y trasvasando el sólido a un recipiente de porcelana, dejándolo secar a 105°C y pesándolo. El parámetro K se ha determinado a partir del nomograma de Wischmeier et al., (1971).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Caracterización de los suelos*

Los suelos de los sectores 1, 2, 3 y 4, caracterizan la alternancia de yesos y margas y están muy poco evolucionados, encuadrándose en la categoría de Regosoles gypicos. Las diferencias entre ellos son debidas al material de partida y a su posición en el relieve. Los suelos 1 y 2 se desarrollan sobre el material evaporítico "in situ", pero mientras que en el suelo 1 son los yesos los que afloran en superficie y los horizontes A y C tienen una textura relativamente gruesa (Tabla 1), en el suelo 2 afloran las margas y la textura de los horizontes superficiales es mucho más fina.

El suelo 3 se desarrolla en zona de ladera y el material está constituido por una mezcla de margas y yesos, de ahí que su textura sea intermedia entre los dos suelos anteriores. El suelo

Tabla 1. Características macromorfológicas, carbono orgánico y textura de los diferentes suelos.

Suelo	Horizonte	(cm)	(%)	Estructura	(%)		
		Prof.	CO		Tipo/Grado	Arena	Limo
1	A	0-7	1.05	f, lam/m	49.9	39.8	10.3
	C	7-30	0.53	me, sb/db	50.2	38.7	11.1
	2C	30-75	0.28	/ma	15.4	52.2	32.4
2	A	0-6	1.16	f, lam/m	21.1	50.7	28.2
	C	6-38	0.61	mg, sb/m	19.9	49.6	30.5
	2C	38-75	0.39	/ma	47.5	40.9	11.6
3	A	0-9	0.98	f, lam/m	41.1	43.3	15.6
	C1	9-25	0.57	me, sb/m	40.7	42.9	16.4
	C2	25-75	0.46	me, sb/m	41.0	42.4	16.6
4	Ap1	0-10	1.28	me, sb/m	10.8	63.0	26.2
	Ap2	10-22	0.70	/ma	8.4	64.1	27.5
	C	22-75	0.29	/ma	8.8	61.0	30.2
5	A1	0-0.3	1.39	lam	21.8	51.8	26.4
	A2	0.3-10	0.95	f-mf sb	34.2	40.4	25.4
	AC	10-27	1.04	sb/ma	24.6	45.7	29.7
	C1	27-45	0.68	/ma	17.3	44.1	38.6
	C2	45-75	0.48	/ma	6.6	49.2	44.2
6	A	0-3	5.42	lam	18.6	60.1	21.3
	ACy	3-15	1.69	/ma	18.4	54.0	27.6
	Cy	15-35	1.08	/ma	5.2	62.7	32.1
	C	35-75	0.85	/ma	4.8	56.1	39.1
7	A1	0-0.5	3.88	lam	30.3	44.4	25.3
	A2	0.5-10	2.55	f-me, sb	8.6	68.7	22.7
	ACy	10-27	1.65	f-me, sb	26.2	42.9	30.9
	Cy	27-45	1.59	f-me, sb	17.4	51.3	31.3
	C	45-75	1.11	f-me, sb	25.8	43.3	30.9

Estructura: f=fina, ml= muy fina, me= mediana, mg= muy grueso, lam= laminar, sb= bloques subangulares, m= moderada, db= débil, ma= masiva

4 está cultivado y se localiza en las zonas deprimidas y abiertas en las que se acumulan los elementos finos erosionados de los relieves circundantes. Es por esto que su textura es la más fina de los cuatro suelos y tiene un alto contenido en limo. Todos ellos, a excepción del suelo cultivado, presentan una estructura superficial laminar fina poco desarrollada, y en el suelo 3 se desarrolla una densa costra de líquenes en superficie.

Los suelos 5, 6 y 7, caracterizan las vaguadas enriquecidas en sales solubles que salpican la zona de estudio. El suelo 5 se localiza en el sector más elevado de las mismas y se clasifica como Solonchak háplico, mientras que los suelos 6, situado en un sector intermedio, y 7, ubicado en el fondo, presentan un horizonte gypico con nódulos blancos relativamente redondeados y se clasifican como Solonchak gypicos. Todos ellos muestran en superficie una estructura laminar bien desarrollada.

Con respecto a las sales solubles (Tabla 2), los suelos 1, 2, 3 y 4 muestran un contenido semejante, relativamente bajo (conductividad del extracto de saturación inferior a 3 dS m<sup>-1</sup>) y uniforme en todo el perfil. Dichas sales están constituidas fundamentalmente por SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y Ca<sup>2+</sup>, lo que indica que proceden básicamente de la disolución del yeso. En los suelos 5, 6 y 7, el contenido en sales solubles es mucho más alto (la conductividad eléctrica del extracto de saturación llega a superar el valor de 40 dS m<sup>-1</sup>) y se aprecia un claro lavado de las mismas en profundidad. Están constituidas fundamentalmente por SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> y Mg<sup>2+</sup>. En los suelos más próximos al fondo de las vaguadas, se aprecia igualmente un lavado del yeso que tiende a acumularse formando un horizonte gypico por encima de donde lo hacen las sales solubles, lo cual es debido a su menor solubilidad.

#### *Caracterización de las aguas de escorrentía*

En los suelos 1, 2, 3 y 4, las sales disueltas en las aguas de escorrentía, con independencia de la intensidad de lluvia, están claramente

dominadas por SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y Ca<sup>2+</sup>, por lo que proceden básicamente de la disolución del yeso (Fig. 1). Mayores diferencias se dan en la cantidad de sales disueltas, las cuales se pueden obtener por la suma de los aniones y cationes de cada suelo.

En el suelo 1, desarrollado sobre yesos, es donde las aguas de escorrentía llevan una mayor cantidad de sales disueltas que se incrementan linealmente con la intensidad de lluvia, lo que parece indicar que ésta favorece la disolución del yeso. Las aguas de escorrentía del suelo 3 son, por el contrario, las que llevan menos sales en disolución, las cuales tienden a mantenerse constantes, o incluso a disminuir ligeramente, al aumentar la intensidad de lluvia; estos hechos parecen estar relacionados con la presencia de la costra de líquenes superficial y la alta estabilidad de la misma frente al impacto de las gotas de lluvia. En el suelo 2, desarrollado sobre margas, las aguas de escorrentía contienen pocas sales solubles cuando se generan con intensidades de lluvia relativamente bajas, pero incrementan exponencialmente su salinidad cuando aumenta la intensidad de precipitación; este comportamiento parece estar relacionado con el proceso de erosión, ya que las curvas que caracterizan el material erosionado (Fig. 4) y el contenido en sales solubles (Fig. 1) son equivalentes. En el suelo 4, desarrollado en las vaguadas donde se acumula el material fino (fundamentalmente limo) erosionado de los relieves circundantes, también parece existir una estrecha relación entre las sales disueltas en las aguas de escorrentía y el proceso de erosión; aunque, en este caso, dada la facilidad con que se erosiona éste material limoso, las sales solubles y el material en suspensión de las aguas de escorrentía son relativamente elevados incluso a bajas intensidades de lluvia y, lógicamente, sus incrementos en función de la intensidad de lluvia son menos acusados.

En las vaguadas, aunque los suelos contienen más sales solubles que en los otros sectores (Tabla 2), sus aguas de escorrentía son menos salinas (Fig. 2). Este hecho, y el que la salinidad de dichas aguas disminuya al aumentar la inten-

Tabla 2. Conductividad, sales solubles del extracto de saturación, yeso y carbonatos de los diferentes suelos.

Suelo	Horiz.	(ds m <sup>-1</sup> )		(mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )						(%)		(%)	
		CE	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Yeso	CaCO <sub>3</sub>		
1	A	2.7	33.7	1.15	0.08	0.49	35.5	nd	0.53	40.1	20.2		
	C	2.7	31.3	2.14	0.31	0.45	35.2	nd	0.40	41.3	21.6		
	2C	2.7	29.3	2.67	0.17	0.33	33.9	nd	0.16	21.2	47.3		
2	A	2.7	32.5	1.28	0.16	0.34	35.9	nd	0.44	20.1	45.7		
	C	2.7	33.3	1.40	0.22	0.41	34.3	nd	0.36	21.8	43.8		
	2C	2.8	32.3	1.77	0.19	0.85	35.5	nd	0.43	43.3	22.4		
3	A	2.9	28.4	4.47	1.61	1.16	35.1	nd	0.74	15.7	35.8		
	C1	2.6	27.0	3.13	0.93	0.40	31.6	nd	0.70	21.9	34.9		
	C2	2.8	26.3	9.22	0.79	0.21	37.6	nd	0.59	20.8	35.2		
4	Ap1	2.9	30.2	2.67	1.00	0.19	32.8	nd	2.75	10.9	46.9		
	Ap2	2.7	29.8	3.00	0.50	0.17	34.4	nd	0.93	8.70	49.5		
	C	2.7	29.6	3.12	0.51	0.18	34.3	nd	0.88	8.20	49.7		
5	A1	4.7	32.5	9.0	10.8	1.8	51.1	13.1	11.4	0.08	56.6		
	A2	6.9	32.0	10.0	36.0	2.3	50.1	7.5	40.0	0.12	51.7		
	AC	18.3	25.7	32.9	175	5.6	142	7.5	111	0.15	49.4		
	C1	29.8	26.0	50.9	362	9.1	221	7.5	250	0.17	55.4		
	C2	37.5	26.7	73.8	526	2.6	314	8.9	356	1.60	61.5		
6	A	10.1	27.2	45.9	52.6	7.5	82.9	13.7	60.8	0.38	44.8		
	ACy	26.3	31.5	115	222	17.1	197	6.5	225	14.7	38.7		
	Cy	40.8	33.0	220	421	34.8	357	7.5	427	7.70	45.1		
	C	43.4	34.7	237	462	19.4	385	7.5	554	1.81	50.5		
7	A1	4.0	27.2	16.9	3.4	2.5	46.1	13.1	3.69	0.22	48.5		
	A2	3.3	28.7	8.0	1.8	1.4	41.4	8.3	2.64	3.66	49.7		
	ACy	6.9	29.2	33.9	16.1	4.3	59.7	13.7	29.6	14.1	42.3		
	Cy	24.5	30.2	206	170	7.4	263	6.5	193	12.3	43.1		
	C	34.3	33.5	400	269	6.7	451	8.3	321	3.70	49.7		

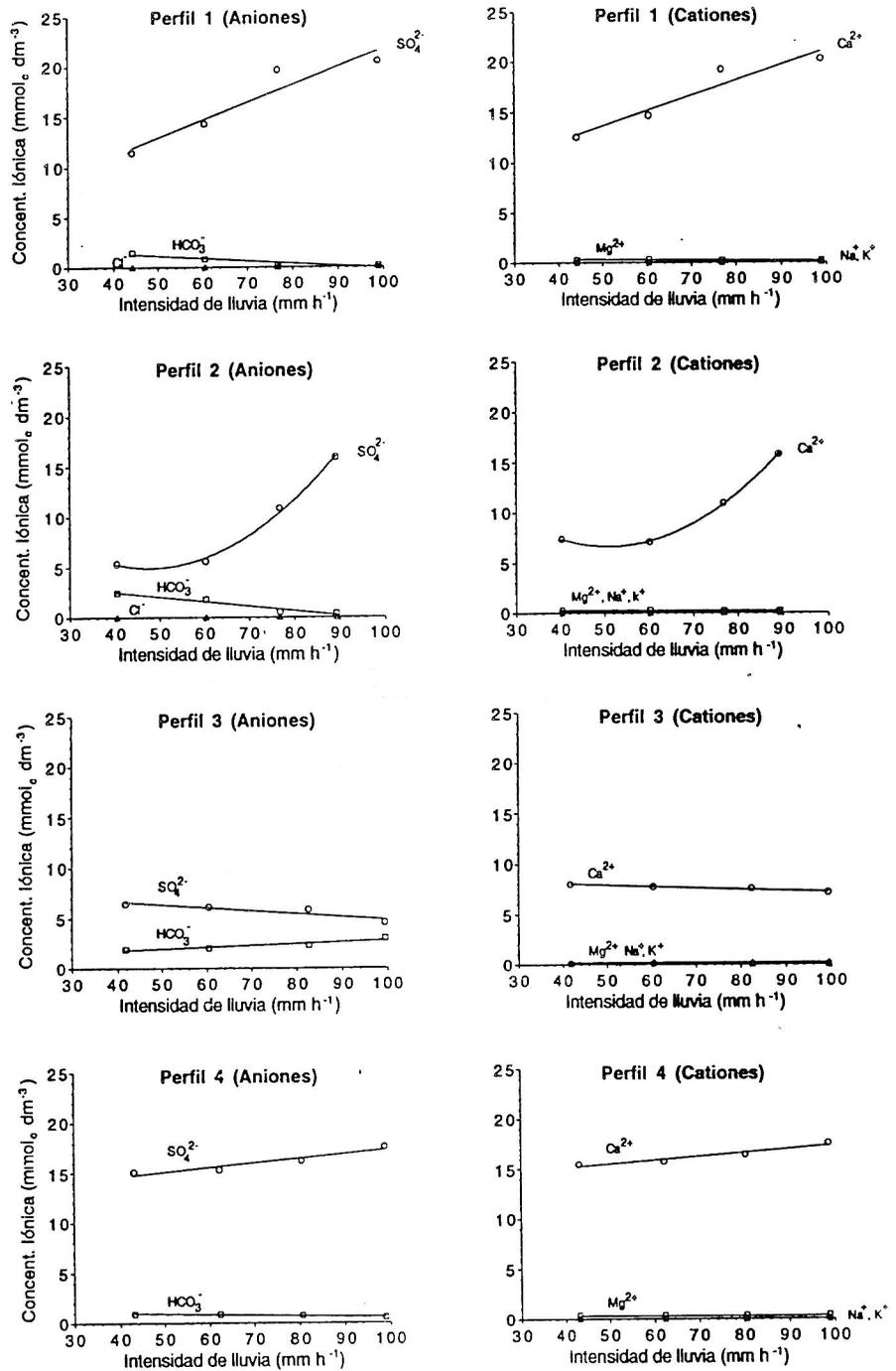


Fig. 1. Concentración iónica de las aguas de escorrentía de los suelos desarrollados sobre yesos y margas.

sidad de lluvia, serían indicativos de que los suelos de vaguada son mucho más estables que los suelos de los otros sectores. Esta estabilidad permite que en ellos se produzca un lavado de las sales y yeso en profundidad, hasta el punto de que sus primeros milímetros, a tenor de la baja salinidad de las aguas de escorrentía, deben de contener muy pequeñas cantidades de estos constituyentes. Dado que la cantidad de agua que

llega a la superficie del suelo se incrementa hacia el fondo de la vaguada, el lavado aumenta en este sentido y la salinidad del agua de escorrentía decrece progresivamente desde el suelo 5 hasta el suelo 7.

Con respecto a la relación entre los distintos tipos de sales de las aguas de escorrentía, cabe destacar que el contenido en  $\text{HCO}_3^-$  se incrementa al disminuir el de  $\text{SO}_4^{2-}$  (Fig. 3),

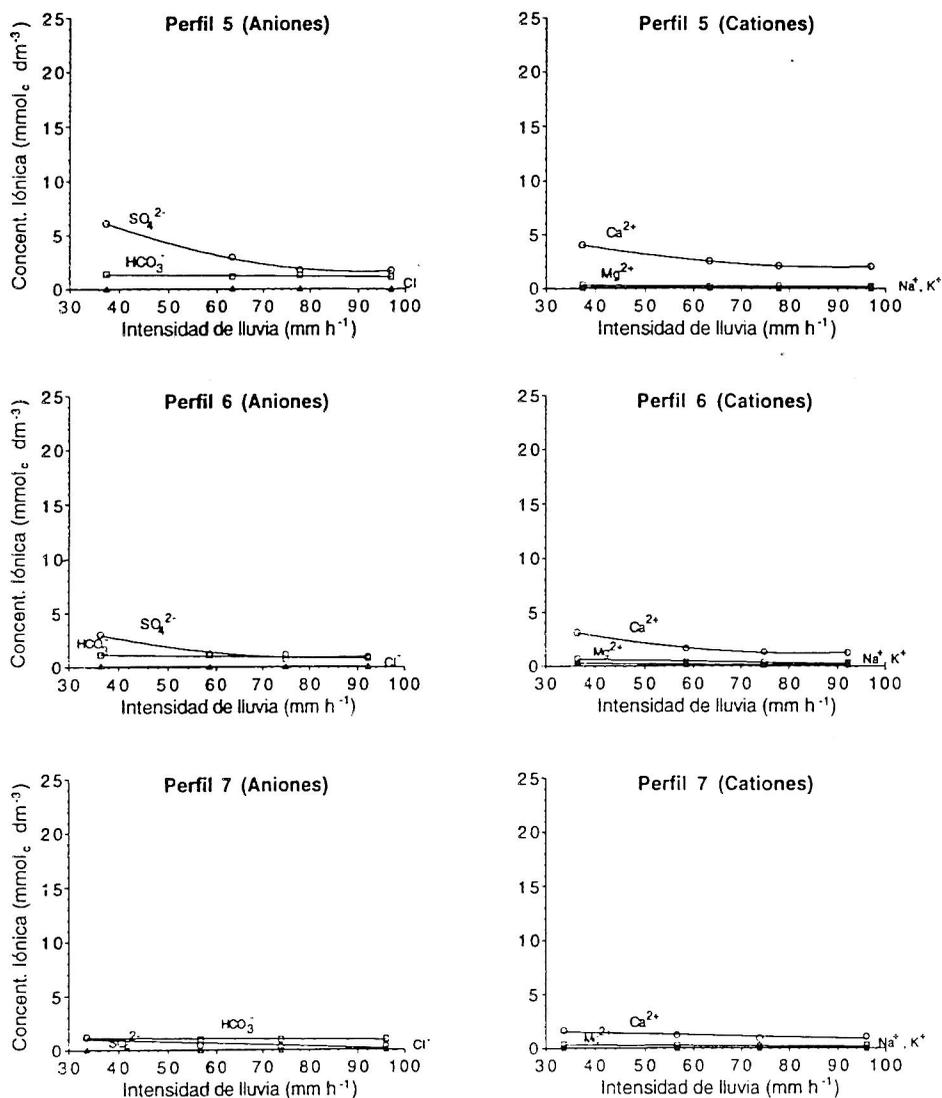


Fig. 2. Concentración iónica de las aguas de escorrentía de los suelos de vaguada.

efecto que ya fue puesto de manifiesto por Kovda (1965).

Cabe preguntarse si las sales solubles de los suelos de vaguada proceden o no del lavado de las áreas circundantes. Para intentar dar una respuesta, comparamos la composición química de las aguas de escorrentía de los suelos desarrollados sobre los materiales evaporíticos con la de los extractos de saturación de los suelos de vaguada. Así, el contenido en  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  de las aguas de escorrentía es muy bajo en relación a los  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  respectivamente, con razones  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  (1000 y de  $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$  (25, e incluso no se detecta la presencia de  $\text{Cl}^-$  en las aguas de escorrentía procedentes de los suelos 3 y 4 (Fig 1); por el contrario, los extractos de saturación de los suelos de vaguadas presentan altos contenidos en  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ , con razones  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  y  $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$  próximas a la unidad. Estas diferencias serían indicativas de génesis diferentes, en el sentido de que las sales acumuladas en las vaguadas no procederían del lavado de las áreas circundantes; aunque el incremento de  $\text{Cl}^-$  en relación al  $\text{SO}_4^{2-}$  podría atribuirse en parte a que, al llegar las aguas de escorrentía a la zona de vaguada, se produce una precipitación parcial del  $\text{SO}_4^{2-}$  en forma de yeso, con formación de horizontes

gypsicos y el consiguiente incremento del  $\text{Cl}^-$  en la fracción soluble. Por tanto, si no existe una relación genética entre ambos sectores, de acuerdo con Simón et al., (1993), las vaguadas salinas debieron de tener su origen en antiguos lagos de aguas salobres que quedaron encerrados en las formaciones de yesos, los cuales, al desecarse, precipitaron las sales en su fondo y dieron lugar a los actuales suelos salinos.

Por último, dada la baja salinidad de las aguas de escorrentía y su naturaleza, con fuerte predominio de los iones  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , no es de esperar que den lugar a problemas de salinización allí donde se acumulen, debido a que la presencia de ambos iones llevaría a la precipitación de yeso, ni mucho menos a problemas de sodización y alcalinización.

#### *Materiales en suspensión de las aguas de escorrentía*

La estimación cuantitativa de los materiales arrastrados por las aguas de escorrentía, es una medida directa de la susceptibilidad de los suelos frente al proceso de erosión.

De acuerdo con nuestros resultados (Fig. 4), en las zonas de yesos y margas, es el suelo 4 el más susceptible de erosionarse incluso a bajas intensidades de lluvia, lo que habría que atribuir a su alto contenido en limo y al hecho de que esté cultivado y no presente ningún tipo de protección frente al impacto de las gotas de lluvia. Por el contrario, el suelo 1, de textura superficial gruesa en la que dominan los cristales de yeso de tamaño arena muy gruesa, y, sobre todo, el suelo 3, con una densa costra de líquenes en superficie, son los menos susceptibles a la erosión; en el primer caso debido a su más elevada tasa de infiltración y a la mayor resistencia que los grandes cristales de yeso oponen a su arrastre por las aguas de escorrentía, y en el segundo como consecuencia de la protección de la costra de líquenes frente al impacto de las gotas de lluvia. En ambos suelos, el material arrastrado por unidad de volumen de agua de escorrentía se incrementa ligeramente al aumentar la intensidad de la lluvia, lo que

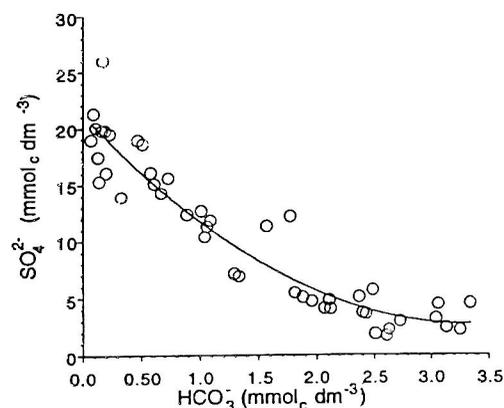


Fig. 3. Relación entre la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  y de  $\text{HCO}_3^-$  en el agua de escorrentía.

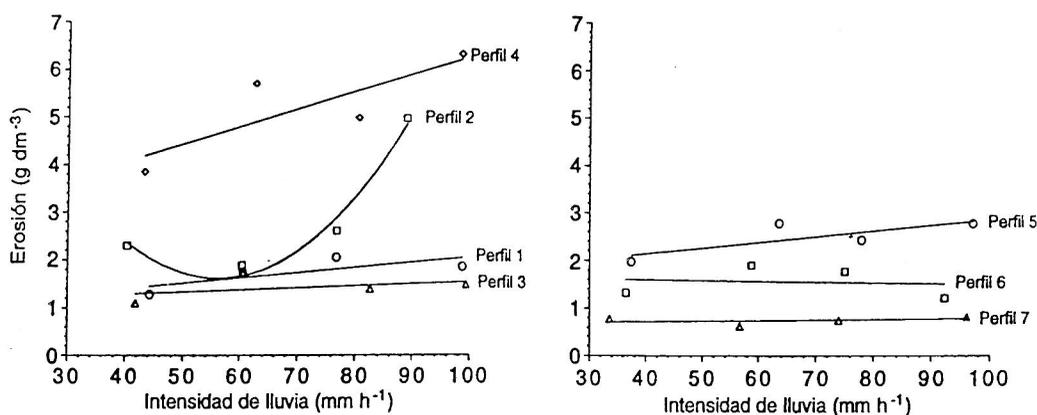


Fig. 4. Erosión (g cm<sup>3</sup>-) en los distintos suelos en función de la intensidad de lluvia (mm h<sup>-1</sup>).

también sería indicativo de su mayor estabilidad superficial.

Por su parte, el suelo 2 desarrollado sobre margas, presenta un comportamiento peculiar, de forma que su susceptibilidad a la erosión es moderada a intensidades de lluvia inferiores a 60 mm h<sup>-1</sup> y se incrementa exponencialmente a intensidades de lluvia superiores a este valor; este comportamiento habría que atribuirlo a su estructura constituida fundamentalmente por material fino (limo y arcilla) que, en realidad, debido al escaso desarrollo del suelo, es la estructura de la marga. Dicha estructura parece presentar una cierta resistencia al impacto de las gotas de lluvia hasta una determinada intensidad de lluvia, a partir de la cual tiende a destruirse y los materiales finos que la componen son arrastrados fácilmente por las aguas de escorrentía.

En las vaguadas salinas, la susceptibilidad a la erosión disminuye progresivamente al acercarse el suelo al fondo de las mismas, hasta el punto de que, de todos los suelos estudiados, son las aguas de escorrentía del suelo 7 las que arrastran la menor cantidad de sedimentos en suspensión. Al mismo tiempo, el material arrastrado por unidad de volumen de agua de escorrentía se incrementa ligeramente, o incluso permanece constante al aumentar la intensidad

de la lluvia, lo que igualmente es indicativo de la estabilidad superficial de estos suelos.

Dado que en todos los casos las experiencias de simulación de lluvia han sido similares, las diferencias en las tasas de erosión de los suelos deberían de estar relacionadas con el factor K de erosionabilidad de Wischmeier et al. (1971). Si relacionamos el valor de K con la pérdida de material que se produce en cada suelo, estimada en kilogramos por hectárea y hora de experimentación (Fig. 5), se aprecia cómo en los suelos de vaguada, para cada intensidad de lluvia, ambos parámetros están relacionados linealmente; mientras que en los suelos de yesos y margas, dicha relación se ve alterada debido a la intervención de otros factores que no se tienen en cuenta a la hora de estimar el valor de K.

Así, en el suelo 2, las tasas de erosión para intensidades de lluvia inferiores a 80 mm h<sup>-1</sup> son bajas en relación al valor de K, lo cual es debido, tal y como hemos mencionado anteriormente, a que a estas intensidades de lluvia su densa estructura es relativamente resistente al impacto de las gotas de lluvia. En los suelos 1 y 3, dichas tasas de erosión se reducen en relación al valor de K debido, en el primer caso, a la presencia en la superficie del suelo de cristales de yeso de tamaño arena gruesa o más gruesos

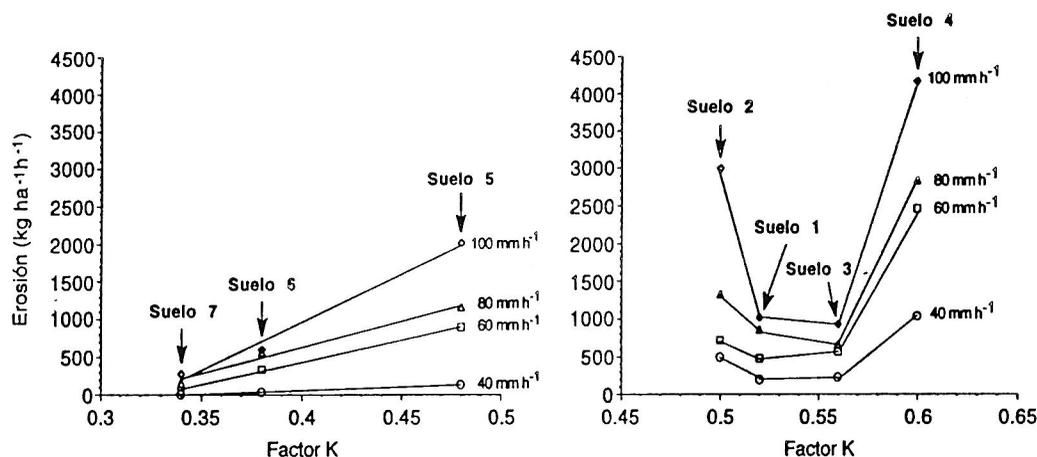


Fig 5. Relación entre la Erosión y el Factor K en los diferentes suelos.

y en el segundo caso, a la formación de la costra de líquenes superficial; ambos efectos estarían relacionados con una cierta protección de la superficie del suelo frente al impacto de las gotas de lluvia. El suelo 4 es el que presenta los mayores valores de K y, al mismo tiempo, las mayores tasas de erosión.

## CONCLUSIONES

Las aguas de escorrentía presentan, en todos los casos, bajos contenidos en sales solubles dominadas por los iones  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , lo que indica que proceden fundamentalmente de la disolución del yeso y que no serían susceptibles de provocar procesos de salinización o sodización allí donde tiendan a acumularse. No obstante, dado que los suelos de vaguada, a partir de una cierta profundidad, presentan un elevado contenido en sales solubles, dicha afirmación solo sería válida en el caso de que estos suelos no sufriesen procesos de erosión relativamente intensos que hiciesen aflorar en superficie los horizontes ricos en sales. El contenido en  $\text{HCO}_3^-$  de dichas aguas está inversamente relacionado con el contenido en  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Las sales solubles de los suelos de vaguada no proceden, en su mayor parte, del lavado de los sectores circundantes, por lo que dichos suelos debieron de tener su origen en antiguos lagos de aguas salobres que quedaron encerrados en las formaciones de yesos y margas.

Para cada intensidad de lluvia, la cantidad de material arrastrado por las aguas de escorrentía está directamente relacionada con el valor del factor K de erosionabilidad del suelo; excepto en aquellos suelos en los que la superficie está protegida del impacto de las gotas de lluvia, bien por un elevado contenido en elementos gruesos o bien por el desarrollo de una densa costra de líquenes, en los que el material arrastrado es relativamente bajo en relación a su factor K.

## REFERENCIAS

- Barahona Fernández, E. et al. (1984). Determinaciones analíticas en suelos. Normalización de métodos I.V. Determinación de carbonatos totales y caliza activa (Grupo de trabajo de Normalización de Métodos analíticos). En: Actas del Congreso

- Normalización de la Ciencia del Suelo. Madrid I, pp 53-67.
- Dunin, F.X.(1976). Infiltration: Its simulation for fields conditions. Facets of hydrology. Rodda, J.C. (ed). John Willey & Sons. Bristol, pp 199-227.
- F. A. O. (1977). Guía para la descripción de perfiles de suelos. Roma.
- F. A. O. (1988). Soil map of the world. Revised legend. 1: 5.000.000. Rome.
- Horton, R.E. (1940). An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 5:399-417.
- Kovda, V.A. (1965). Alkaline soda-saline soils. *Agrokémia és Talajtan*, Suppl. 14: 15-48.
- Peña, J.A. (1985). La Depresión de Guadix-Baza. *Est. Geol.*, 41: 33-46.
- Phipip, J.R. (1954). An infiltration equation with physical significance. *Soil Science*, 77:153-157.
- Reitemeier, R.F. (1943). Semimicroanalysis of saline soil solutions. *Industrial and Engineering Chemistry*, 15, 393-402.
- Richards, L.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. United States Salinity Laboratory. Staff Agriculture Handbook, nº60. USDA. pp 105-106.
- Simón Torres, M. et al. (1993). Distribución de las sales en el paisaje. Relación con los procesos morfogénicos. *Problemática geoambiental y desarrollo* (Ortiz ed.). Tomo I. pp 450.
- Simón Torres, M., Iriarte, A., Guardiola, J.L., Barahona, E. and García, I. (1995). Characterization of the hidrological properties of soils with a portable rain simulator with variable rain intensity. In: *The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures*, ESSC, 31. Canary Islands. Spain (in press).
- Soil Conservation Service. (1972). Soil Survey laboratory methods and procedures for collecting soils samples. U. S. D. A. Washington.
- Soil Survey Staff. (1977). Keys to Soil Taxonomy. Soil Conserv. Serv. U. S. Dept. Agr. Washington.
- Tyurin, I.V. (1951). Analytical procedure for a comparative study of soil humus. *Trudy Prochr. Inst. Dokuchaeva*, 38: 5-9.
- US Salinity Laboratory Staff. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaly Soils*, Handbook 60. US Department of Agriculture, Washington, DC.
- Vera, J.A. (1970). Estudio estratigráfico de la Depresión de Guadix-Baza. *Bol. Geol. Min.*, 81-5: 429-462.
- Wischmeier, W.H., Johnson, C.B., Cross, B.V. (1971). A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. *J. Soil and Water Conservation*, nº26: 189-193.
-