

TIPOLOGÍA DE SUELOS, ZONACIÓN DE LA VEGETACIÓN Y GRADIENTE EDÁFICO EN UN SALADAR COSTERO DEL SURESTE DE ESPAÑA

José ÁLVAREZ ROGEL*; Roque ORTIZ SILLA* y Francisco ALCARAZ ARIZA**

* Dpto. de Química Agrícola, Geología y Edafología. Universidad de Murcia

** Dpto. de Biología Vegetal. Universidad de Murcia.

Abstract: This paper shows the results of the study of the soils, vegetation and spatial and temporal gradient of some edaphic characteristics referred to salinity, moisture and pH in the soil. The study was carried out in a salt marsh placed near the town of Aguilas (Murcia). The soils were classified, according to FAO (1988), as Salic Solonchaks, Salic Fluvisols in sodic phase and Calcic Solonchaks in sodic phase, and according SSS (1992) as Typic Torriorthents and Typic xerofluvents. The results of a Principal Component Analysis and U-Mann Whihtney tests showed that the gradient in the salt marsh was determined by spatial and temporal variations of total soil salinity, concentration of each particular ion and ionic ratios. The temporal variations in soil salinity between dry and wet periods of the year were lower in the more saline areas than in the less saline areas.

Key words: saline soils, salinity gradient, soil-vegetation relationships, salt marsh.

Resumen: En este trabajo se presenta el estudio de los suelos, la vegetación y el gradiente espacio-temporal de una serie de variables referidas a la humedad, salinidad y pH edáficos en un saladar del Sureste de España situado en las cercanías de la localidad de Águilas (Murcia). Los suelos estudiados, clasificados según FAO (1988), son un Solonchak sódico, dos Fluvisoles sálicos en fase sódica y un Solonchak cálcico en fase sódica y, según Soil Survey Staff (1992), un Torriortent típico y tres Xerofluvents típicos. Basándose en los resultados de un análisis de componentes principales y en los resultados del test de U-Mann Withney, se pone en evidencia que el gradiente de salinidad edáfica en el saladar está determinado por la concentración total de sales, la concentración de cada ion en particular, el balance entre iones así como por sus variaciones temporales. Además se ha observado que al aumentar las concentraciones de sales del suelo las oscilaciones estacionales entre los periodos secos y húmedos se hacen menos acentuadas.

Palabras clave: suelos salinos, gradiente de salinidad, relaciones suelo-vegetación, saladar.

INTRODUCCIÓN

La distribución de la vegetación en áreas salinas está determinada por una combinación de factores ambientales y bióticos (Snow y Vince, 1984; Pennings y Callaway, 1992;

Bertness y Shunway, 1993), encontrándose entre las características edáficas más importantes la concentración de sales y la humedad del suelo (Callaway et al., 1990; Abdel-Razik e Ismail, 1990; Álvarez Rogel, 1997), que pueden variar originándose gradientes de humedad-salinidad.

Estos gradientes son tanto espaciales, debido a la profundidad de la capa freática, la existencia o no de periodos de inundación, etc., como temporales, a causa de los procesos estacionales de lavado y ascenso capilar de agua y sales en el perfil del suelo (Chapman, 1974; Álvarez Rogel et al. 1997) y provocan cambios en las proporciones de los distintos iones en la solución, lo que puede afectar al desarrollo de las plantas por encima incluso de la salinidad total (Grattan y Grieve, 1992; Breckle, 1995).

En este trabajo se presenta el estudio de los suelos y la vegetación de un saladar del Sureste de España. Se han analizado y clasificado los suelos que aparecen bajo cada una de las comunidades vegetales reconocidas y se ha comprobado el gradiente espacio-temporal de una serie de variables referidas a la humedad, salinidad y pH del suelo, medidas a muestras de capa arable recogidas en un transecto durante un periodo de dos años.

El lugar se encuentra localizado en las proximidades de la población de Águilas (Murcia), en el paraje conocido como Calarreona (XG218387; 37°23'12" N y 1°37'18" W). La temperatura media anual es de unos 19 °C, las máximas pueden llegar a los 38°C y las mínimas no descienden de 0°C, no existiendo heladas. La precipitación media anual es de 245 mm. El área corresponde al piso Bioclimático Inframediterráneo superior y Semiárido inferior (Rivas-Martínez, 1996).

El saladar está situado en una rambla cuyos laterales escarpados están formados por molasas mal cementadas cuya erosión motiva que las partes más externas del mismo sean predominantemente arenosas. En la parte central los materiales más abundantes son depósitos aluviales finos de materiales metamórficos que tienen su origen en los aportes provenientes de posiciones topográficas situadas aguas arriba de la rambla. La vegetación potencial climatófila pertenece a la serie inframediterránea murciano-almeriense del cornical (*Mayteno europaei-Periplocetum angustifoliae* Rivas Goday et Esteve, 1959), generalmente muy degradada,

que en el saladar es sustituida por comunidades vegetales adaptadas a las particulares condiciones del medio.

METODOLOGÍA

Tras reconocer las diferentes bandas de vegetación, se procedió a la toma de inventarios fitosociológicos, de acuerdo al método sigmatista (Whittaker, 1973), y a identificar las comunidades vegetales presentes. Los táxones se determinaron según Castroviejo et al. (1986-1993) y Tutin et al. (1964-1980). Bajo cada una de las asociaciones vegetales más características se tomó un perfil con el fin de describir, analizar y clasificar los suelos presentes en el área. Además, se situaron puntos, espaciados entre ellos 15 m, para la toma de muestras de capa arable (20 cm superficiales), a lo largo de un transecto establecido en base a las diferentes bandas de vegetación observadas. Estas muestras se recogieron bimensualmente durante un periodo de dos años y en ellas se determinó conductividad eléctrica (CE), concentración de Cl⁻, SO₄⁻², Na⁺, K⁺, Ca⁺² y Mg⁺² solubles, pH y humedad.

Los métodos analíticos usados fueron los siguientes. Carbono orgánico: método de Anne modificado por Duchaufour (1975). Nitrógeno total: método de Kjeldahl como lo describe Duchaufour (1975). Capacidad de cambio catiónico: método de Bower-Toujan como lo describe Bonfilst (1967). Carbonato cálcico total: calcímetro de Bernard. pH: en suspensión acuosa y KCl 1N Peech (1965). Yeso: método de Nelson (1982). La capacidad de retención de agua según Richards (1974). La conductividad eléctrica del extracto de saturación según Bower y Wilcox (1965). Los iones del extracto de saturación: Cl⁻ y SO₄⁻² en cromatógrafo iónico; Ca⁺² y Mg⁺² por valoración con EDTA; y Na⁺ y K⁺ en espectrofotómetro de absorción atómica. El total de sales disueltas (TSD) se obtuvo sumando las concentraciones de cada uno de los iones determinados, teniendo en cuenta, para

los cálculos del % de sales, la cantidad de tierra fina utilizada, la humedad inicial de las muestras y el agua añadida al hacer la pasta saturada. La razón de adsorción de sodio (RAS) según Richards (1974). La humedad se estimó por gravimetría.

Los perfiles fueron descritos según FAO (1977) y clasificados de acuerdo a FAO (1988) y Soil Survey Staff (1992).

Para estudiar el gradiente espacio-temporal de las variables edáficas medidas se aplicó un análisis de componentes principales, PCA, (ter Braak et al., 1987; ter Braak, 1990) a los datos de las muestras de capa arable. Las variables utilizadas fueron los valores medios de las concentraciones de los iones medidos en el extracto de saturación, del RAS, del pH, de la humedad del suelo y de las razones iónicas SO_4^{2-}/Cl^- , Ca^{2+}/Mg^{2+} , K^+/Na^+ y Ca^{2+}/Na^+ . Además, se introdujo también el agua retenida a 33 y 1500 kPa y el valor medio del agua de saturación utilizada para preparar la pasta saturada, como indicativo de la textura del suelo, dada la dificultad que supone hacer los análisis granulométricos a algunas de las muestras debido a la abundancia de yeso en el suelo. En total se utilizaron 24 variables. El análisis se realizó centrado y estandarizado (ter Braak, 1987). Además, por medio del test no paramétrico de U-Mann Whithney, se compararon los valores medios de salinidad entre las diferentes comunidades vegetales para el periodo más seco y más húmedo del año, con el fin de profundizar en el conocimiento del gradiente temporal operante en la zona.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Flora y vegetación

Se reconocieron cinco bandas de vegetación claramente diferentes y tres zonas de transición entre estas, se tomaron cuatro perfiles y se situaron 10 puntos para la recogida de muestras de capa arable (Fig. 1).

En la primera banda se situaron los puntos de muestreo M1, M2 y M3 y el perfil P-I. El punto de muestreo M1 se encuentra al pie del talud de molasas, en un sector de transición entre este y el saladar, y la vegetación pertenece a la asociación *Limonio insignis-Anabasiatum hispanicae* Rivas Goday y Esteve 1968 caracterizada por especies como *Salsola papillosa* Willk., *Anabasis hispanica* Pau y *Launaea arborescens* (Batt.) Murb. El punto de muestreo M2 y el perfil P-I se encuentran en una zona en la que la especie dominante es *Limonium cossonianum* O. Kuntze (asociación *Limonietum angustebracteato-delicatuli* Rivas Martínez et Alcaraz in Alcaraz 1984) estando presentes también otras como *Arthrocnemum macrostachyum* (Moris.) Moric, *Halocnemum strobilaceum* (Pallas) Bieb y *Frankenia corymbosa* Desf. La zona donde se encuentra el punto de muestreo M3 es una transición hacia las partes más deprimidas y húmedas del saladar.

Hasta este punto el suelo está desarrollado a partir de sedimentos arenosos provenientes de la erosión de las molasas cercanas.

A continuación, y tras un pequeño escalón del terreno, se accede a la parte central del cauce de la rambla, en la que se instala la segunda banda de vegetación y en la que las especies que aparecen varían dependiendo de la microtopografía. En algunos sectores laterales aparece *Arthrocnemum macrostachyum* acompañado por *Limonium cossonianum*, *Suaeda vera* Forsskål ex Gmelin, *Atriplex glauca* L. y *Halocnemum strobilaceum* (punto M4) quedando únicamente la última especie en la parte más deprimida del cauce (punto M5 y perfil P-II, asociación *Frankenia corymbosae-Halocnemum strobilacei* Rivas Martínez et al. 1984). En el centro del cauce se encuentra un pequeño promontorio en el que crece un ejemplar de gran porte de *Tamarix canariensis* Willd., alrededor del cual aparece una densa vegetación en la que destacan *Suaeda vera*, *Halimione portulacoides* (L.) Aellen y *Arthrocnemum macrostachyum* (asociación *Inulo crithmoidis-Tamaricetum boveanae* Izco et al. 1984). En este promontorio se ha situado el punto M6.

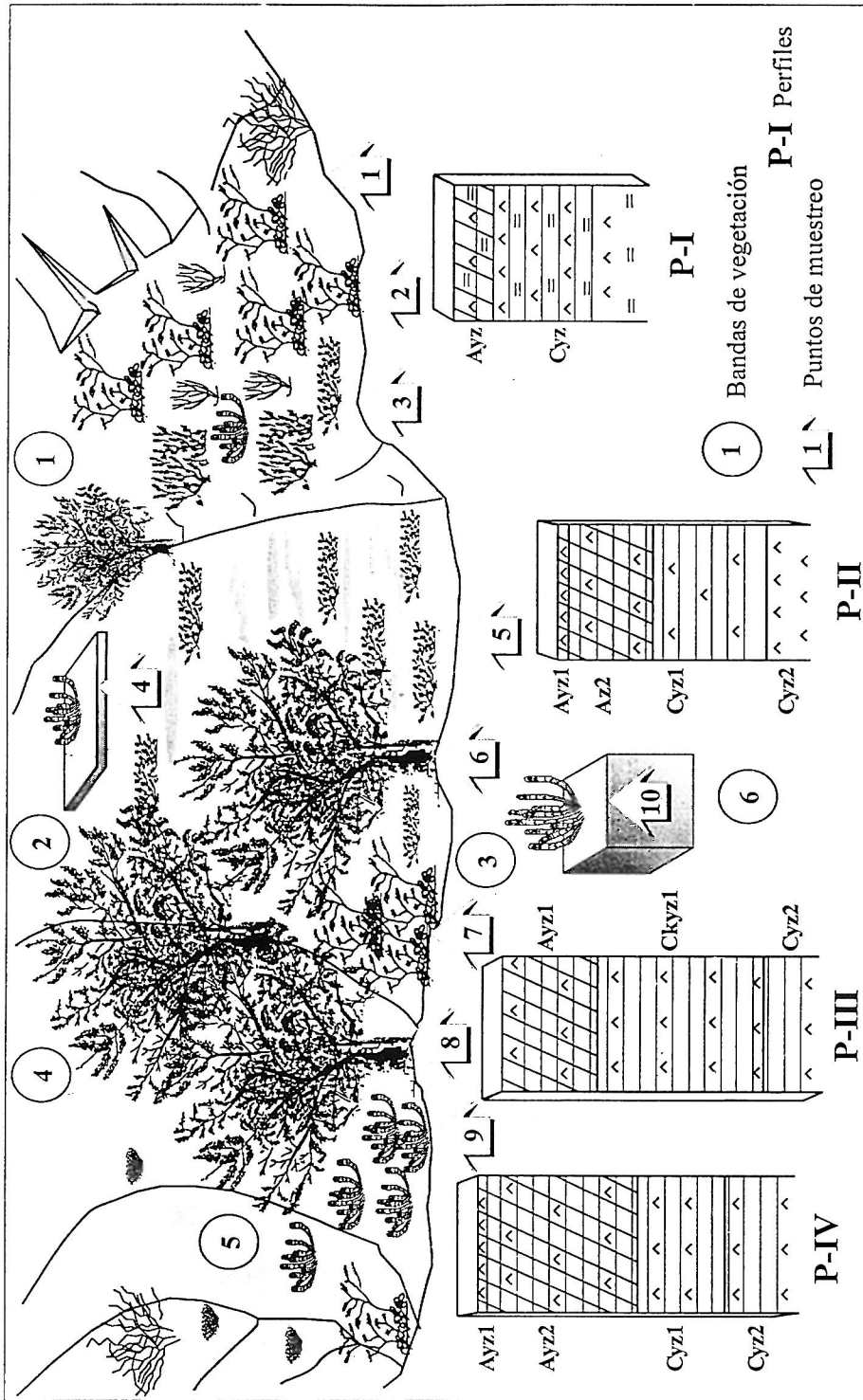


Fig. 1. Esquema del Saladar de Calarreona (Murcia), con las bandas de vegetación, los puntos para la recogida de muestras de capa arable y los perfiles tomados.

Cuando el terreno comienza a elevarse de nuevo se encuentra una zona que al principio de la experiencia estaba cubierta por una muy densa banda de *Limonium cossonianum*, pero que tras quedar inundada en la primavera de 1993, pasó a ser colonizada por *Polypogon maritimus* Willd. que constituyó una banda lineal desde esta zona hacia aguas abajo de la rambla. En este sector, por tanto, se dio una sustitución de la asociación de *Limonium cossonianum* (asociación *Limonietum angustibracteato-delicatuli*) por una comunidad terofítica de *Polypogon maritimus*. Aquí se situó el punto M7. Este punto no se ha incluido en el PCA, debido a que los importantes cambios en las condiciones edáficas y en la vegetación se produjeron en la última etapa del muestreo, por lo que habría sido necesario un seguimiento más prolongado para establecer la evolución del gradiente en ese sector.

La banda de vegetación siguiente corresponde con un tarayal de *Tamarix canariensis* (asociación *Inulo crithmoidis-Tamaricetum boveanae*) situada en un pequeño promontorio. Bajo los tarays se desarrollan con mucho vigor especies como *Halimione portulacoides* y *Suaeda vera*. Debajo de uno de ellos, situado en la parte más elevada, se ha tomado el perfil P-III y se ha situado el punto de muestreo M8.

A continuación se encuentra una banda casi monoespecífica de *Arthrocnemum macrostachyum* (asociación *Frankenio-Arthrocnemetum macrostachyi* Rivas Martínez et al. 1984) en la que se situó el punto M9 y el perfil P-IV.

Por último, el punto M10 se sitúa en una pequeña banda de *Sarcocornia fruticosa* (L.) A. J. Scott (asociación *Cistancho-Arthrocnemetum fruticosi* (Br. Bl. 1928) Géhu 1977) aguas abajo, a unos 200 m del resto. Se trata de una densa formación en la que la única especie adicional que penetra es *Halimione portulacoides*.

Suelos

Macromorfológicamente los perfiles P-II,

P-III y P-IV, originados a partir de sedimentos aluviales predominantemente metamórficos, son muy parecidos, con colores pardo pálido a pardo en seco (10YR3,5-6/3) y pardo grisáceo oscuro a muy oscuro en húmedo (10YR3-3,5/1,5-2). El P-I, formado a partir de depósitos arenosos procedentes de molasa, presenta una apariencia muy diferente, con un color mucho más amarillento, entre amarillo parduzco y marrón muy pálido en seco (10YR6-7/5-6) y pardo amarillento claro a amarillo en húmedo (10YR6-7/5-6), textura más arenosa y una débil diferenciación entre el horizonte Ayz y el subyacente Cyz. La estructura de los horizontes A es particular suelta a grumosa débil en el P-I, mientras que en el resto es poliédrica subangular, apareciendo en el P-II y P-IV un delgado horizonte A1 superficial de estructura laminar. En todos los perfiles abundan las manchas blancas de sales, muy patentes cuando el suelo se encuentra seco. Los límites entre los horizontes son siempre netos y planos.

Los contenidos en carbono orgánico (Tabla 1) se encuentran entre 4,3 y 8,3 g kg⁻¹, excepto para los horizontes A1 de los perfiles P-II, P-III y P-IV. El nitrógeno no supera 1 g kg⁻¹ en ningún caso y la relación C/N es alta, destacando el valor de 54,2 obtenido en el horizonte A del perfil P-III, que indica el deficiente grado de descomposición que poseen los restos vegetales aportados al suelo por los *Tamarix*. El epipedón es ócrico en todos los casos.

Los carbonatos son mucho más abundantes en el perfil P-I, debido a la naturaleza calcárea de los sedimentos de molasa que lo forman, mientras que el P-II presenta los contenidos más bajos por tratarse de depósitos aluviales de materiales metamórficos: filitas, esquistos, etc. En el P-III hay una acumulación suficiente de este componente en el horizonte Ckyz1, que permite, dado su espesor, establecer la presencia de horizonte cálcico.

Los valores de capacidad de cambio están por encima de 5 cmol(+) kg⁻¹ excepto en el perfil P-I y en el horizonte Cyz1 del perfil P-III,

Tabla 1. Resultados analíticos generales de los perfiles estudiados en el Saladar de Calarreona (Murcia).

Perfil	Horiz.	Prof. cm	C.O. g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	C/N	CO ₃ ⁻² tot. g kg ⁻¹	CIC cmol (+) kg ⁻¹	Yeso g kg ⁻¹	pH	
									H ₂ O	KCl
P-I	Ayz	0-7	4,2	0,3	14,0	685,6	4,5	69,0	8,89	8,90
	Cyz	> 7	2,7	0,2	13,5	648,3	3,9	55,1	8,94	8,86
P-II	Ayz1	0-2	12,0	1,0	12,0	64,2	10,7	220,2	8,17	8,14
	Az2	2-18	8,3	0,8	10,6	87,1	10,2	5,1	8,49	8,23
	Cyz1	18-39	8,3	0,6	13,7	81,7	9,2	26,3	8,23	8,15
	Cyz2	> 39	4,4	0,5	9,2	76,8	7,1	87,0	8,36	8,28
P-III	Ayz	0-18	9,9	0,2	54,2	140,4	7,7	44,0	8,57	8,56
	Ckyz1	18-49	4,3	0,4	10,7	303,1	5,0	51,3	9,06	8,98
	Cyz2	> 49	4,3	0,6	7,1	139,6	6,6	43,1	8,70	8,59
P-IV	Ayz1	0-1	14,3	0,6	23,8	104,1	5,6	140,1	8,25	8,19
	Ayz2	1-31	5,0	0,5	9,6	96,8	5,7	52,2	8,58	8,57
	Cyz1	31-45	5,1	0,4	11,7	178,6	5,3	88,1	8,78	8,72
	Cyz2	> 45	4,6	0,5	9,7	140,1	5,5	68,0	8,73	8,72

en donde son más bajos debido, conjuntamente, a su textura más arenosa y a su menor contenido en materia orgánica. Esta mayor proporción de arena favorece que se obtengan en estos horizontes los pH más altos. Las elevadas salinidades provocan que apenas existan diferencias entre el pH en agua y KCl.

Los contenidos en yeso son variables con la profundidad, debido posiblemente a las distintas cantidades que se han aportado en las diferentes avenidas de la rambla y también al movimiento y redistribución de este componente en el perfil a lo largo del año. Los contenidos más altos se alcanzan en los horizontes A1 de los perfiles P-II y P-IV.

En la composición granulométrica (Tabla 2) las fracciones mayoritarias son el limo y la arena, predominando las texturas franca, franco-limosa y franco-arenosa.

La salinidad que presentan estos perfiles es

muy elevada (Tabla 3). Los iones predominantes son Cl⁻ y Na⁺, encontrándose por debajo SO₄⁻², Mg⁺² y Ca⁺². Apenas existen HCO₃⁻. Los porcentajes de sales llegan a alcanzar un máximo de 18,9 % en el horizonte Cyz2 del perfil P-II que tiene un RAS de 453,5.

Los regímenes de humedad que se han asignado a los suelos han sido arídico, para el P-I, de acuerdo a los datos climáticos de las estaciones más próximas, y xérico a los tres restantes, ya que se encuentran en las partes más deprimidas de la rambla y reciben más agua a lo largo del año.

Los perfiles se han clasificado, según FAO (1988), como Solonchak sódico (perfil P-I), Fluvisoles sálidos en fase sódica (perfiles P-II y P-IV) y Solonchak cálcico en fase sódica (P-III) y según Soil Survey Staff (1992) como Torriortent típico (P-I) y Xerofluvents típicos (P-II, P-III y P-IV).

Tabla 2. Composición granulométrica (%) de los perfiles estudiados en el Saladar de Calarreona (Murcia).

Perfil	Horiz.	< 2	2-20	20-50	50-100	100-250	250-500	500-1000	1000-2000 μ m
P-I	Ayz	14,5	9,3	15,1	14,2	15,9	18,8	7,4	4,5
	Cyz	12,2	14,7	24,7	11,3	10,4	11,8	8,9	9,8
P-II	Ayz1	11,1	30,9	31,0	15,6	6,9	2,7	1,2	0,3
	Ayz2	15,2	30,4	36,7	11,9	3,3	1,8	0,5	0,1
	Cyz1	20,1	24,2	32,9	16,8	4,6	0,8	0,2	0,2
	Cyz2	13,3	25,9	34,7	19,4	5,1	1,0	0,2	0,1
P-III	Ayz	16,2	16,6	13,7	15,8	16,6	11,7	5,2	3,9
	Ckyz1	9,9	11,2	12,9	12,5	14,1	11,0	15,7	12,4
	Cyz2	17,9	18,9	18,0	23,2	15,7	3,5	1,2	1,4
P-IV	Ayz1	19,7	23,4	15,6	16,1	13,4	8,3	2,3	1,0
	Ayz2	16,6	13,3	14,7	19,4	22,4	10,5	1,9	0,8
	Cyz1	14,8	16,0	17,1	17,0	16,7	11,3	4,2	2,7
	Cyz2	14,3	22,5	20,7	20,5	13,3	5,1	1,9	1,3

Análisis del gradiente edáfico

A partir de los resultados del PCA se puede conocer el gradiente edáfico con respecto a las variables medidas. El primer eje del análisis explica una varianza del 56,4 % y establece un gradiente principal con respecto a la salinidad media existente en la zona (Fig. 2, Tabla 4). El segundo eje, varianza explicada del 18,6%, parece estar determinada por la humedad y, sobre todo, por la textura y el contenido en K^+ en relación al de Na^+ .

Las variables que indican mayor contenido medio en sales se encuentran principalmente relacionadas con el lado negativo del eje 1, hacia el cuadrante IV del diagrama, en el que se sitúan los puntos de muestreo M3, M4 y M5 (dominancia de *Frankenio-Halocnematum strobilacei*). Opuestas a estas quedan las variables indicativas de las mayores variaciones temporales en las relaciones Ca^{+2}/Mg^{+2} , K^+

Ca^{+2} , Ca^{+2}/Na^+ y SO_4^{-2}/Cl^- , cuadrante I, en el extremo positivo del eje 1, indicando desequilibrios iónicos más acentuados en la solución del suelo a lo largo del año.

En el cuadrante II del diagrama se encuentran las variables referidas a un mayor contenido en Ca^{+2} en el suelo y una oscilación más acusada de la salinidad total. Esto concuerda perfectamente con la situación en este cuadrante de los puntos de muestreo M1 y M2 (*Limnietum angustibracteato-delicatuli*), tomados en el sector del saladar en el que el suelo está formado a partir de sedimentos de molasa, por lo que posee una textura más gruesa y el mayor contenido en $CaCO_3$. En el extremo opuesto del diagrama, cuadrante III, quedan las variables indicativas de más humedad edáfica, texturas más finas y la mayor cantidad de agua retenida a tensiones altas.

Los puntos de muestreo M6 y M8 (*Inulotamaricetum boveanae*) y M9 (*Frankenio-Arthrocnemum macrostachyi*) ocupan una

Tabla 3. Sales solubles del extracto de saturación, conductividad y RAS en los perfiles estudiados en el Saladar de Calarreona (Murcia).

Perfil	Horiz.	C.E. dS m ⁻¹	Sales %	RAS	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	mmolc L ⁻¹	
P-I	Ayz	141,6	4,6	144,6	2087,0	70,9	32,5	384,0	2073,2	354,2	7,2		
	Cyz	95,4	2,4	86,8	1087,0	36,7	28,8	284,8	1078,9	272,9	4,8		
P-II	Ayz1	175,1	10,9	201,1	3608,7	81,0	15,8	628,1	3053,5	654,2	7,2		
	Ayz2	114,6	5,6	96,2	1391,3	60,8	38,1	380,3	1495,8	341,7	4,8		
	Cyz1	113,1	4,8	103,3	1434,8	55,7	41,8	344,1	1481,7	318,7	7,2		
	Cyz2	196,4	18,9	453,5	5695,7	38,0	42,8	272,7	5605,6	1154,2	7,3		
P-III	Ayz	102,6	4,2	75,6	1260,9	41,8	27,3	529,1	1363,4	462,5	7,2		
	Ckyz1	55,9	1,3	50,4	543,5	11,6	25,3	207,1	567,6	216,7	4,7		
	Cyz2	37,0	1,1	42,8	339,1	7,6	32,2	93,3	311,0	139,2	4,8		
P-IV	Ayz1	132,8	16,5	161,5	4217,4	70,9	9,3	1354,5	3915,5	1541,7	9,7		
	Ayz2	104,2	3,9	83,6	1347,8	31,6	28,8	490,7	1445,1	466,7	4,8		
	Cyz1	84,2	2,8	70,4	1000,0	22,8	31,2	371,5	1002,8	366,7	4,8		
	Cyz2	105,5	4,3	97,7	1434,8	30,4	23,4	407,5	1335,2	614,6	4,8		

Tabla 4. Autovalores y porcentaje de varianza acumulada por los cuatro primeros ejes del PCA, para el Saladar de Calarreona (Murcia).

	Ejes			
	1	2	3	4
Autovalores	0,564	0,168	0,144	0,050
% de varianza acumulado	56,4	73,2	87,6	92,7

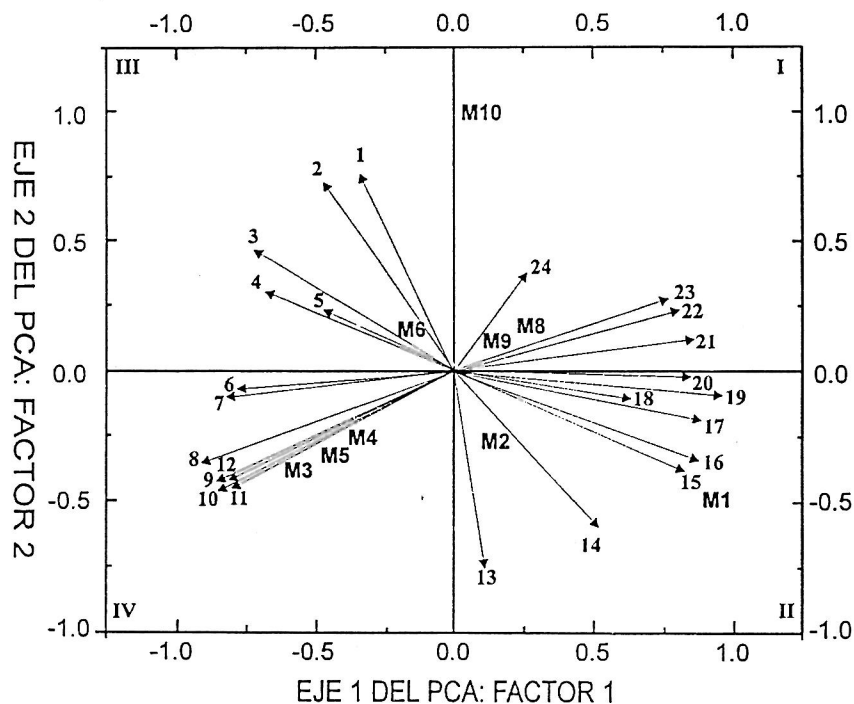


Fig. 2. Representación de los puntos de muestreo (M1 a M10) y las variables edáficas, en el espacio definido por los dos primeros ejes del PCA, para el Saladar de Calarreona (Murcia). Los números indican las variables edáficas según: 1. pF1500 kPa; 2. agua media de saturación; 3. humedad media; 4. pF33 kPa; 5. media del pH; 6. media de SO_4^{-2} ; 7. media de Mg^{+2} ; 8. media de K^+ ; 9. media de TSD; 10. media de Cl^- ; 11. media de Na^+ ; 12. media de RAS; 13. media de la razón K^+/Na^+ ; 14. media de Ca^{+2} ; 15. coeficiente de variación de TSD; 16. media de la razón $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$; 17. media de la razón $\text{Ca}^{+2}/\text{Na}^+$; 18. coeficiente de variación de la humedad; 19. coeficiente de variación del RAS; 20. media de la razón $\text{SO}_4^{-2}/\text{Cl}^-$; 21. coeficiente de variación de la razón $\text{K}^+/\text{Ca}^{+2}$; 22. coeficiente de variación de la razón $\text{Ca}^{+2}/\text{Na}^+$; 23. media de la razón $\text{SO}_4^{-2}/\text{Cl}^-$; 24. coeficiente de variación de la razón $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$.

Tabla 5. Valores medios de salinidad (\pm desviación estándar) para las cinco asociaciones vegetales del Saladar de Calarreona (Murcia), entre octubre de 1991 y septiembre de 1993, en los meses más secos (junio a octubre) y más húmedos (octubre a mayo). Para cada variable los valores seguidos de las mismas letras minúsculas en las mismas filas no difieren significativamente según el test de U-Mann Whitney ($p \leq 0.05$). Para cada variable los valores seguidos de las mismas letras mayúsculas en las mismas columnas no difieren significativamente según el test de U-Mann Whitney ($p \leq 0.05$). Asociaciones vegetales: Lim ang-del: *Limonium angustibracteato-delicatuli*; Fr-Haloc: *Frankenio-Halocnemum strobilacei*; In-Tam: *Inula-Tamaricetum boveanae*; Fr-Arth: *Frankenio-Athrocnemetum macrostachyi*; Cist-Arth: *Cistancho-Athrocnemetum fruticosi*. Concentraciones medidas en mmolc L⁻¹.

Variáveis	Lim ang-del	Fr-Haloc	In-Tam	Fr-Arth	Cist-Arth
TSD	(1632±1077) a, A	(2863±1142) b, A	(1599±448) a, A	(1869±597) ab, A	(1373±291) a, A
Cl ⁻	[522±272] a, B	[2273±283] b, A	[1152±594] c, A	[1203±569] c, A	[825±417] ac, B
SO ₄ ²⁻	(700±488) a, A	(1178±468) b, A	(679±134) a, A	(852±114) ab, A	(499±102) a, A
	[192±116] a, B	[938±142] b, A	[442±253] c, B	[377±231] c, B	[286±165] ac, B
	(107±61) a, A	(205±52) bc, A	(170±39) b, A	(253±19) c, A	(174±17) b, A
Na ⁺	[67±23] a, A	[180±19] b, A	[121±35] c, B	[172±74] b, B	[122±49] c, A
	(653±461) a, A	(1177±468) b, A	(622±125) a, A	(801±80) ab, A	(465±87) a, A
K ⁺	[184±116] a, B	[905±123] b, A	[423±245] c, A	[400±262] c, B	[264±157] ac, B
	(15±10) a, A	(34±14) b, A	(18±5) a, A	(19±3) ab, A	(13±4) a, A
	[5±3] a, B	[28±4] b, A	[13±7] c, A	[11±7] c, A	[9±4] c, A
Ca ²⁺	(47±13) a, A	(39±8) a, A	(40±4) a, A	(37±9) ab, A	(32±3) b, A
	[38±8] ac, A	[46±5] b, A	[40±7] a, A	[34±2] c, A	[34±5] c, A
Mg ²⁺	(114±74) a, A	(245±120) b, A	(178±47) b, A	(231±23) b, A	(186±47) b, A
	[36±16] a, B	[176±14] b, A	[111±55] c, B	[101±55] c, B	[109±43] c, B
Ca ²⁺ /Mg ²⁺	(0.69±0.47) a, A	(0.2±0.09) b, A	(0.24±0.07) b, A	(0.16±0.05) b, A	(0.18±0.05) b, A
	[1.27±0.4] a, B	[0.27±0.07] b, A	[0.39±0.14] c, A	[0.43±0.31] c, B	[0.37±0.16] c, B
Ca ²⁺ /Na ⁺	(0.11±0.08) a, A	(0.04±0.02) b, A	(0.06±0.01) dc, A	(0.05±0.1) bc, A	(0.07±0.02) ad, A
	[0.2±0.09] a, B	[0.05±0.01] b, A	[0.09±0.03] c, A	[0.1±0.05] c, A	[0.18±0.1] a, B
K ⁺ /Na ⁺	(0.02±0.006) a, A	(0.03±0.006) bc, A	(0.03±0.006) bd, A	(0.02±0.001) ab, A	(0.03±0.005) acd, A
	[0.03±0.004] a, B	[0.03±0.002] ab, A	[0.03±0.009] ab, A	[0.03±0.007] ac, A	[0.04±0.01] bc, A

posición intermedia con respecto al gradiente, siendo los más próximos al origen de coordenadas. El punto de muestreo M10 (asociación *Cistancho-Arthrocnemum fruticosi*) destaca por su posición, hacia el extremo positivo del eje 2, en los sectores del gradiente con menor contenido en K^+ en relación al Na^+ .

En cuanto al patrón de variación temporal de la salinidad, aunque en todos los sectores del saladar hay una tendencia de la concentración de sales en superficie a elevarse en los periodos más secos y a disminuir en los más húmedos, no siempre esas diferencias estacionales son significativas (Tabla 5). Para los sectores con menor salinidad, como son los ocupados por las asociaciones *Limnietum angustibracteato-delicatuli* y *Cistancho-Arthrocnemum fruticosi*, los cambios temporales son significativamente diferentes para la mayoría de los iones, mientras que para la asociación *Frankenio-Halocnemum strobilacei* las oscilaciones estacionales no llegan a ser significativas en ningún caso. Las asociaciones *Inulo-Tamaricetum boveanae* y *Frankenio-Arthrocnemum macrostachyi* son casos intermedios, lo que concuerda con su posición en la parte central del diagrama del PCA.

Al comparar la concentración y proporción de sales del suelo entre las diferentes comunidades vegetales en función de los distintos periodos del año (Tabla 5), queda patente como no siempre se obtienen diferencias significativas en los mismos casos. Así, por ejemplo, los mayores contenidos en SO_4^{2-} se presentan en la zona ocupada por *Frankenio-Arthrocnemum macrostachyi*, en el periodo más húmedo, mientras que en el más seco las diferencias se reducen considerablemente con la zona en la que predomina *Frankenio-Halocnemum strobilacei*. El Ca^{+2} tiene contenidos muy parecidos en todo el saladar, lo que provoca que las proporciones de Ca^{+2}/Na^+ y Ca^{+2}/Mg^{+2} sean significativamente mayores en los sectores menos salinos, principalmente los ocupados por *Limnietum angustibracteato-delicatuli*. Destaca también como el contenido en Ca^{+2} aumenta ligeramente durante el periodo más húmedo del año en la

zona ocupada por *Frankenio-Halocnemum strobilacei* y *Cistancho-Arthrocnemum fruticosi*.

CONCLUSIONES

A partir de estos resultados, queda en evidencia que al ir aumentando las concentraciones de sales del suelo las oscilaciones estacionales entre los periodos secos y húmedos se hacen menos acentuadas. Esta circunstancia es de interés a la hora de planificar las épocas de muestreo de suelos en áreas afectadas por salinidad, pues sería conveniente realizar campañas más intensivas en aquellos sectores en los que la salinidad puede variar más ampliamente a lo largo del año.

El gradiente de salinidad edáfica en el saladar está determinado no sólo por la concentración total sino también por la concentración de cada ion en particular, el balance entre ellos y por sus variaciones estacionales. Así pues, la composición cualitativa de la solución del suelo y sus cambios temporales deberían ser considerados cuando se estudia la zonación de la vegetación en áreas salinas. Existe, entonces, la posibilidad de utilizar asociaciones vegetales como bioindicadoras del tipo de sales del suelo, lo que podría suponer una ventaja para optimizar la introducción de especies resistentes que puedan servir como fuente de forraje y/o alimentación en áreas antrópicamente salinizadas que no cuenten con terrenos agrícolas adecuados, como ya se está ensayando en algunas regiones (UNEP, 1993; Zurayk y Baalbaki, 1996).

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Razik, M.S. & Ismail, A.M.A. (1990): Vegetation composition of a maritime salt marsh in Qatar in relation to edaphic features. *J Veg. Sci.* **1**, 85-88.
- Álvarez Rogel, J. (1997). Relaciones suelo-vegetación en saladares del Sureste de

- España. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- Álvarez Rogel, J., Hernández Bastida, J., Ortiz Silla, R. y Alcaraz Ariza, F. (1997): Patterns of spatial and temporal variations in soil salinity: an example of a natural salt marsh in a semiarid climate. *Arid Soil Research and Rehabilitation*. En prensa.
- Bertness, M.D. & Shumway, S.W. (1993): Competition and facilitation in marsh plants. *Am. Nat.* **142**, 718-724.
- Bonfils, P. (1967): *Méthodes d'analyses des sols*, SEC 91, Centre de Resarches Agronomiques du Midi, Montpellier, France.
- Bower, C. A. & Wilcox, L. V. (1965): Soluble salts. En *Methods of Soils Analysis Part. 2*, C. A. Black ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 933-940
- Breckle, S.W. (1995): How do halophytes overcome salinity?, En *Biology of Salt Tolerant Plants*. M. A. Khan, and I.A. Ungar ed., Dept. of Botany. University of Karachi. 199-213
- Callaway, R.M., Jones, S., Ferren, W.R., & Parikh, A. (1990): Ecology of a mediterranean climate estuarine wetland at Carpinteria, California: plant distribution and soil salinity in the upper marsh. *Can. J. Bot.* **68**, 1139-1145.
- Castroviejo, S., Laínz, M., López González, G., Monserrat, P., Muñoz Garmendia, F., Paiva, J. & Villar, L. (Eds.). (1986-1993): *Flora Ibérica*, vols. 1 a 4. Real Jardín Botánico. CSIC, Madrid.
- Chapman, V.J. (1974): *Salt marshes and salt deserts of the world 2nd edition*. Verlag Von J. Cramer. Lehre.
- Duchaufour, Ph., (1975): *Manual de Edafología*. Toray-Masson, S.A. Barcelona.
- F.A.O. (1977): *Guía para la descripción de perfiles de suelos*. F.A.O./UNESCO. Roma.
- F.A.O. (1988): *Soil map of the world, revised legend*. World Soil Resources Report 60. F.A.O. Roma.
- Grattan, S.R. & Grieve, C.M. (1992): Mineral acquisition and growth response of plants grown in saline environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **38**, 275-300.
- Nelson, R.E. (1982): Carbonato and gypsum. En *Methods of Soil Analysis Part. 2*. Page, A. L. ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 181-196.
- Peech, M. (1965): Hydrogen-ion activity. En *Methods of soils analysis, part 2*. Black, C.A. ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 914-916.
- Pennings, S.C. & Callaway, R.M. (1992): Salt marsh plant zonation: the relative importance of competition and physical factors. *Ecology*. **73**, 681-690.
- Richards, L.A. (1974): *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Ed. Limusa, México.
- Rivas-Martínez, S. (1996): *Geobotánica y climatología*. En Discursos pronunciados en el acto de investidura de Doctor Honoris Causa del Excmo. D. Salvador Rivas Martínez, 23-98. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada.
- Snow, A.A. & Vince, S.W. (1984): Plant zonation in an Alaskan salt marsh. II. An experimental study of the role of edaphic conditions. *J. Ecol.* **72**, 669-684.
- Soil Survey Staff (1992): *Keys to Soil Taxonomy, 5th edition*. SMSS technical monograph N° 19. Balcaksburg, Virgini. Pchontas Press. Inc.
- ter Braack, C.J.F. (1987): The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio* **69**, 69-77.
- ter Braack, C.J.F. (1990): *CANOCO - a FORTRAN program for canonical community ordination by (partial) (detrended) (canonical) correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis (v. 3.11)*. Agricultural Mathematics Group, Wageningen, The Netherlands.

- Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M. & Webb (Eds.). (1964-1980): *Flora Europaea*. Vols. 1-5. Cambridge University Press, New York.
- UNEP (1993): *Halophytes for livestock, rehabilitation of degraded land and sequestering atmospheric carbon*, editado por Ayoub, A.T. & Malcom, C.V. United Nations Environment Programme, Environmental Management Guidelines. Nairobi, Kenia.
- Whittaker, R.H. (Ed.) (1973): *Ordination and classification of communities*. Dr. W. Junk, The Hague, The Netherlands.
- Zurayk, R.A., & Baalbaki, R. (1996): *Inula crithmoides*: a candidate plant for saline agriculture. *Arid Soil Research and Rehabilitation*. **10**, 213-223.