

INFLUENCIA DEL AGUA FREÁTICA SOBRE LA VEGETACIÓN DE LAS ÁREAS DE DESCARGA SOBRE ARENAS EN LA RESERVA BIOLÓGICA DE DOÑANA

José Carlos Muñoz Reinoso

Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Sevilla. Apdo. 1095. 41080 - Sevilla.

Palabras clave: hidroquímica, Doñana, acuífero, vegetación, CCA.

Keywords: groundwater hydrochemistry, Doñana, aquifer, vegetation, CCA

ABSTRACT.

INFLUENCE OF PHREATIC WATER TABLE ON THE VEGETATION OF AREAS OF DISCHARGE ON SAND IN THE DOÑANA BIOLOGICAL RESERVE.

The relationship between the vegetation of discharge areas on the sands of Doñana Biological Reserve and both groundwater chemistry and depth of phreatic water table has been studied. Four types of waters have been detected each maintaining a defined plant community: Very mineralized waters (electrical conductivity > 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) related to *Tamarix canariensis* and *Juncus acutus*; mineralized waters (500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) related to *Scirpus holoschoenus* and *Juncus maritimus*; little mineralized waters rich in chloride (<500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) related to *J. effusus*, *J. acutiflorus* and *Pteridium aquilinum*; light mineralized waters (<300 $\mu\text{S}/\text{cm}$) related to vegetation which species composition depends on water table depth (deeper water table with *Halimium halimifolium*, *Stauracanthus genistoides* and *Ulex australis*, and shallow water table with *Erica scoparia*, *Calluna vulgaris* and *Daphne gnidium*).

INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional de Doñana se asienta sobre el SE del sistema acuífero Almonte-Marismas, que tiene una extensión de 2400 km², de los cuales el 75% se corresponden al acuífero libre, y el 25% restante se encuentra confinado bajo las arcillas de la marisma (I.G.M.E. 1983). El acuífero está constituido por depósitos marinos del Neógeno, cubiertos y parcialmente arrasados por sedimentos de origen fluvio-marino y eólico del Cuaternario. Como es esperado en un área costera sujeta a oscilaciones eustáticas importantes durante el Cuaternario, los materiales tienen una distribución heterogénea en detalle pero, en su conjunto, pueden ser considerado un gran acuífero (SUSO y LLAMAS 1993). La circulación del agua del acuífero se realiza principalmente en dirección Sur-Sureste (IGME 1983), lo que hace de la zona de arenas de Doñana un gran ecotono entre las zonas de recarga y las zonas de descarga del acuífero.

Los primeros estudios hidrogeológicos en el área de Doñana fueron realizados por la F.A.O. (1970) y el I.G.M.E. (1983) a finales de los años 60, proponiéndose el desarrollo del Plan de Transformación Agraria Almonte-Marismas que consistía en la puesta en regadío de unas 24.000 ha. de marisma. Los

primeros datos hidrogeoquímicos se publicaron en los años 80 (I.G.M.E. 1983, PLATA *et al.* 1983, BAONZA *et al.* 1984).

Más recientemente, estudios de carácter hidrológico han mostrado interés por el conocimiento del funcionamiento de los niveles freáticos, tanto en la zona saturada como en la no saturada debido a la amenaza que supone la extracción de agua del acuífero para el mantenimiento de los humedales de Doñana (HOLLIS *et al.* 1989, SUSO LLAMAS 1990, CUSTODIO *et al.* 1992, OLÍAS 1995).

La vegetación de los humedales está determinada por procesos sucesionales y procesos ambientales (GONZALEZ BERNÁLDEZ & MONTES 1989), de manera que la disponibilidad de agua en la zona no saturada y su calidad condicionan la distribución, abundancia y permanencia de las especies vegetales. Los estudios realizados por RAMÍREZ DÍAZ (1973), ALLIER *et al.* (1974) y RAMÍREZ DÍAZ *et al.* (1975) han definido distintos tipos de vegetación en las arenas estabilizadas según su composición, su estado sucesional y la profundidad del nivel freático. GONZÁLEZ BERNÁLDEZ *et al.* (1977) han estudiado la variación de la vegetación de la marisma de la Reserva Biológica en relación con los factores predominantes del medio, y MERINO *et al.* (1980) han tipificado ecológicamente

dominadas por un matorral xerófilo, compuesto principalmente por cistáceas y labiadas. En las zonas bajas domina el brezal. Las lagunas pueden aparecer orladas por densos helechales de *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, mientras que el borde más interno aparece cubierto por juncos de distintas especies (*J. acutus* L., *J. maritimus* Lam., *J. effusus* L., *Scirpus holoschoenus* L.). Las comunidades de macrófitos acuáticos son ricas en especies, reflejando la variedad de ambientes acuáticos que existen en el Parque en cuanto al sustrato de las cubetas, su funcionamiento hidrológico, amplitud y fluctuaciones de los gradientes de salinidad y estado trófico de las aguas (GARCIA MURILLO *et al.* 1993), apareciendo especies de los géneros *Chara*, *Nitella*, *Ricciocarpus*, *Ranunculus*, *Elatine*, *Miriophyllum*, etc. Cuando desaparece la lámina de agua, la laguna es colonizada por pastizales de terófitos anuales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Con la ayuda de la fotografía aérea y recorridos previos del terreno se eligió un conjunto de puntos de muestreo localizados en áreas de descarga de la zona de arenas. Estas áreas de descarga se encuentran localizadas en zonas de transición entre las distintas unidades ambientales y geomorfológicas de la Reserva Biológica de Doñana. Estas tres grandes zonas son la transición entre las Naves (área topográficamente más elevada de las arenas estabilizadas) y el Manto Arrasado, la transición entre las dunas móviles y las arenas estabilizadas y en la proximidad de la transición entre las arenas estabilizadas y la marisma. De esta forma, se eligieron 15 puntos de muestreo que mostraban distintos tipos de vegetación presentes en el área de estudio (Fig. 1). Se realizó un total de tres muestreos durante la primavera-verano de 1994.

Las muestras de agua fueron extraídas mediante una bomba peristáltica manual de piezómetros de 40 mm de diámetro y 1.5-2.5 m de profundidad instalados en los puntos de muestreo dentro de un programa de estudio más amplio. Previamente a la toma de la muestra se registró el nivel piezométrico (PNF). El pH, la conductividad (Con) y la temperatura se midieron *in situ* mediante pH-metro y conductivímetro portátiles de la marca CRISON, calibrados previamente a la lectura. Las muestras de agua se guardaron herméticamente protegidas de la luz en frío hasta su traslado al laboratorio, donde fueron conservadas a 4° C. El agua fue sometida a análisis químico, determinándose los siguientes parámetros: calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+) mediante absorción atómica, y sulfatos (SO_4^{2-}) y cloruros (Cl^-) mediante el método APHA (1985). En el tercer muestreo también se determinó la reserva alcalina total (CA) (APHA 1985).

La vegetación fue muestreada en parcelas de 10 x 10 m' adyacentes al piezómetro instalado en cada punto de muestreo. En cada parcela se registró la presencia de especies perennes (leñosas, helófitos y helechos). A cada especie se le asignó un valor de 1 a 5 según su cobertura de acuerdo con la siguiente escala: 1) menos del 5 % de cobertura; 2) de 5-25%; 3) de 25-50%; 4) de 50-75%; y 5) más del 75%, eliminándose las especies que aparecían en una sola parcela. De esta forma se obtuvo una matriz de 15 parcelas x 18 especies.

Las muestras del agua freática y las de vegetación fueron sometidas a análisis de clasificación aglomerativo utilizando en el primer caso la distancia euclídea y en el segundo el porcentaje de similitud como medidas de similitud.

Los datos conjuntos de profundidad y fisico-química del agua freática y vegetación fueron sometidos a un Análisis Canónico de Correspondencias (CCA) mediante el programa CANOCO (ter BRAAK 1991). Previamente, las variables del agua freática fueron transformadas como $x' = \log(x+1)$ para aproximarlas a distribuciones normales. El CCA permite comprobar estadísticamente si las especies están relacionadas con variables ambientales y ver la importancia relativa de estas variables para explicar la distribución de las especies, puesto que sus ejes de ordenación están restringidos a ser combinación lineal de las variables ambientales (ter BRAAK 1987). Dos variables ambientales (conductividad y sulfatos) fueron excluidas del análisis para evitar efectos de multicolinealidad con el resto de las variables. Además, dos muestras con altos contenidos iónicos (con 15 veces más cloruros y 10 veces más sodio que la media de las restantes muestras) se hicieron pasivas, es decir, se incluyeron en la ordenación pero sin influencia en la extracción de los ejes de ordenación.

RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los datos fisicoquímicos y de profundidad del agua freática en los distintos puntos de muestreo. Destacan Navazo del Toro (NAV) y Taraje Nuevo (TNU) con altos valores de conductividad y de concentraciones iónicas, frente a aguas ligeramente mineralizadas como las del Corral Largo, así como los altos contenidos de carbonatos en las lagunas de mayor extensión y zonas adyacentes (Dulce, Taraje, Navazo y Taraje Nuevo). Los valores de pH están comprendidos entre 6.5 en Algaida 2 (AL2) y 7.5 en TNU y el nivel freático se encontró a una profundidad de entre 88 cm en Taraje y 213 en el monte blanco de la vera (MBV) en Julio.

La Fig. 2 muestra la clasificación de las muestras según las características fisicoquímicas y de profundidad de su agua

TABLA 1. Características fisicoquímicas medias y profundidad del agua freática en Julio de los puntos de muestreo. Conductividad a 25°C. CA: reserva alcalina total. PNF: profundidad del nivel freático.

TABLE 1. Mean water table physical and chemical characteristics and depth (July) of sampling points. Conductivity at 25°C CA: total alkalinity. PNF: water level depth.

	pH	Con ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Ya (meq/l)	K (meq/l)	Mg (meq/l)	Ca (meq/l)	SO ₄ (meq/l)	Cl (meq/l)	CA (meq/l)	PNF(Julio) (m)
TNU	7.5	2237	13.36	0.43	3.52	3.60	1.92	74.93	6.40	1.81
NAV	7.1	1622	12.08	0.84	1.57	1.13	3.23	62.29	3.46	1.25
OJI	6.8	204	1.02	0.67	0.14	0.18	0.68	2.54	1.51	1.35
ACE	6.8	702	0.79	0.40	0.19	0.20	1.44	2.00	0.87	1.66
TAR	6.9	318	1.21	0.35	0.09	0.18	0.78	3.83	3.32	0.88
DUL	7.1	565	2.88	0.40	0.52	0.55	3.46	2.87	3.90	1.25
CLA	6.7	145	0.58	0.44	0.04	0.41	0.94	2.87	0.90	1.79
AL1	7.3	478	1.06	0.58	0.20	0.32	1.68	3.26	1.15	0.97
HVE	7.1	405	1.60	0.44	0.38	0.48	2.28	3.87	0.89	1.80
AL2	6.5	260	1.06	0.37	0.16	0.22	1.01	4.33	0.62	1.13
JAB	6.7	228	1.06	0.43	0.19	0.18	0.71	5.12	0.67	1.32
MPA	6.6	168	0.45	0.47	0.08	0.13	0.51	4.56	0.83	1.07
BVE	6.8	158	0.58	0.31	0.07	0.09	0.48	3.28	0.39	1.66
MIG	6.8	412	2.12	0.40	0.30	0.35	1.09	5.34	0.42	1.34
MBV	7.0	246	0.85	0.35	0.18	0.28	1.01	2.92	0.40	2.13

freática. Pueden distinguirse 4 grupos, dos más nítidos y otros dos con características muy similares:

a) Taraje Nuevo (TNU) y Navazo del Toro (NAV) con aguas muy mineralizadas, con altos contenidos en todos los iones, especialmente en cloruros y sodio;

b) Taraje (TAR), Dulce (DUL) y Algaida 1 (ALI), con aguas mineralizadas caracterizadas por valores altos de carbonatos;

c) Este grupo incluye 5 puntos de muestreo, Helechal Vera (HVE), Monte Blanco Vera (MBV), Acebuche (ACE), Brezal Vera (BVE) y Corral Largo (CLA), presenta aguas entre escasa y ligeramente mineralizadas con los niveles freáticos más profundos;

d) Este grupo, con los 5 puntos de muestreo restantes, Ojillo (OJI), Jabata (JAB), Algaida 2 (AL2), Martín Pavón (MPA) y Monte Intermedio de las Gangas (MIG), se diferencia del anterior fundamentalmente por presentar niveles freáticos más someros y mayores contenidos en cloruros.

La Figura 3 muestra el resultado del análisis de clasificación de los puntos muestreados según la composición de su vegetación. Pueden distinguirse 4 grupos:

a) Compuesto por Ojillo, Algaida2, Acebuche y Brezal Vera, y caracterizado por una vegetación de monte negro, con *Erica scoparia* L., *Calluna vulgaris* (L.)Hull, *Daphne gnidium* L. *Rubus ulmifolius* Schott y *Cistus salvifolius* L.;

b) Con Algaidal, Jabata, Martín Pavón y Helechal de la Vera, con una vegetación compuesta por *Juncus acutiflorus* Ehrh., *J. effusus*, *Cyperus longus* L., *Salix atrocinerea* Brot.y *Pteridium aquilinum*;

c) Monte Intermedio de las Gangas, Monte Blanco Vera y Corral Largo, con una vegetación con *Ulex australis* Clemente, *Halirium halimifolium* (L.) Willk., *Stauracanthus genistoides* (Brot.)Sampaio y *Pinus pinea* L.;

d) Taraje Nuevo, Navazo del Toro, Taraje y Dulce, con una vegetación caracterizada por la presencia de *Juncus acutus* y *J. maritimus* con *Scirpus holoschoenus* y *Tamarix canariensis* (Willd.).

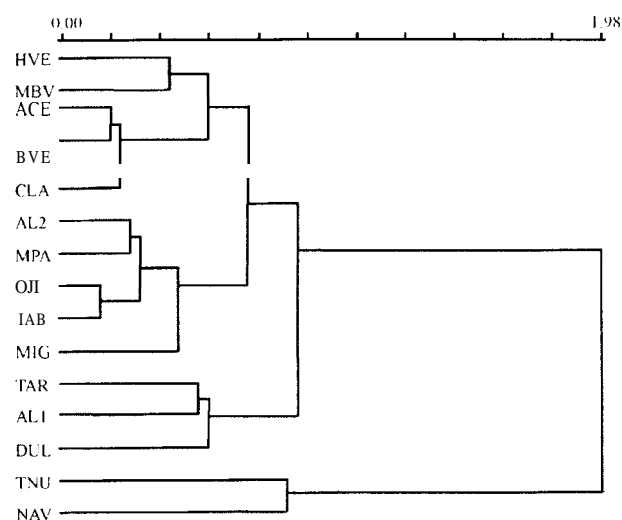


FIGURA 2. Clasificación de los puntos de muestreo según las características del agua freática. Abreviaturas como en Fig. 1

FIGURE 2. Result of Cluster Analysis of sampling points based on phreatic water characteristics. Abbreviations as Fig. 1

La Tabla 2 resume el resultado final del Análisis Canónico de Correspondencias (CCA) de 15 muestras, con 17 especies y 8 variables ambientales. La Figura 4 es la representación gráfica del resultado del CCA. El primer eje, que absorbe un 31.8% de

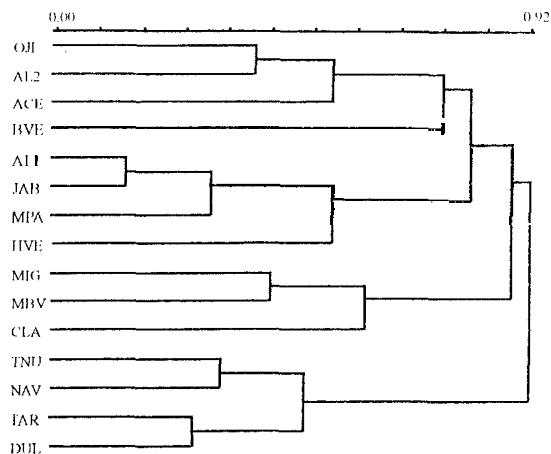


FIGURA 3. Clasificación de los puntos de muestreo según su vegetación. Abreviaturas como Fig. 1.

FIGURE 3. Result of Cluster Analysis of sampling points based on vegetation composition. Abbreviations as Fig. 1.

la varianza, está correlacionado positivamente con el contenido en carbonatos y en sodio, y negativamente con el contenido en cloruros; representa fundamentalmente un gradiente de mineralización (alcalinidad y halofitismo). En el extremo positivo del primer eje se ordenan las parcelas localizadas en las lagunas de mayor superficie, situadas fundamentalmente delante del frente de dunas móviles. Las especies que se sitúan en este extremo son *Juncus acutus*, *J. maritimus* y *Scirpus holoschoenus*. En un análisis de correspondencias previo, que no se incluye por la similitud en los resultados, aparece asociado a este grupo *Tamarix canariensis*, que no aparece en el CCA por haberse hecho pasivas las dos muestras que lo incluían (Navazo del Toro y Taraje Nuevo).

TABLA 2. Resultados del Análisis Canónico de Correspondencias.
TABLE 2. Summary results of the Canonical Correspondence Analysis

	EJE I	EJE II	EJE III	EJE IV
Autvalores	0.793	0.670	0.353	0.313
Correlaciones especies-var ambientales	0.997	0.947	0.963	0.880
Varianza explicada (especies)	23.8	20.1	10.6	9.4
Varianza explicada (especies-v ambientales)	31.8	26.9	14.2	12.6
Correlaciones variables ambientales-ejes				
pH	0.18	0.01	-0.26	0.42
Na	0.49	0.06	-0.40	0.50
K	-0.21	-0.36	0.45	0.08
Mg	0.39	-0.04	-0.30	0.54
Ca	0.33	0.28	0.07	0.77
Cl	-0.46	-0.27	-0.15	0.12
CA	0.87	-0.24	0.08	0.31
PNF	-0.18	0.71	-0.07	-0.02

En el extremo negativo del primer eje se encuentra un grupo heterogéneo de parcelas compuesto por pequeñas lagunas y matorrales próximos a la vera, compuestos fundamentalmente por *Pteridium aquilinum* y las especies más glicófitas (*J. effusus*, *J. acutiflorus* (Ehrh.), *Cyperus longus* (L.), *Salix atrocinerea* (Brot.).

El segundo eje, que absorbe un 26.9% de la varianza, está correlacionado positivamente con la profundidad del nivel freático y puede interpretarse como un gradiente de higrófitismo. Separa especies no freatófitas o de monte blanco en sentido amplio (*Halimium halimifolium*, *Stauracanthus genistoides*, *Ulex australis*, *Pinus pinea*), de especies freatófitas, asociadas a depresiones y lagunas (*Salix* sp, *Tamarix* sp, *Pteridium aquilinum*, *Juncus* sp). En el centro del diagrama aparecen las especies higrófitas terrestres o de monte negro (*Erica scoparia*, *Calluna vulgaris*, *Daphne gnidium*, *Rubus ulmifolius*, *Cistus salvifolius*).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indican que existe una estrecha relación entre la profundidad, las características fisicoquímicas del agua freática y la vegetación en el área de Doñana. Trabajos similares han demostrado la relación entre la vegetación existente y la hidroquímica del agua freática en otras zonas (REY BENAYAS et al. 1990, BOEYE & VERHEYEN 1994).

En el presente estudio se han detectado distintos tipos de aguas subterráneas que reflejan la heterogeneidad espacial existente en el sustrato de Doñana y que modifican las características generales del agua de la zona no saturada en la zona del acuífero libre. De esta forma, se han detectado:

- aguas muy mineralizadas por influencia de horizontes edáficos subsuperficiales muy salinos, como es el caso de Navazo del Toro y Taraje Nuevo (conductividad > 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$);
 - aguas mineralizadas (500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) influidas por las aguas de lagunas próximas debido a la entidad de estos cuerpos de agua y a los procesos biológicos que allí tienen lugar, como es el caso de Taraje y Dulce;
 - aguas poco mineralizadas (< 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) con importante presencia de cloruros debido a la proximidad a la marisma (MANZANO et al. 1991), como las pequeñas lagunas de La Jabata, Martín Pavón y La Algaida; y
 - aguas ligeramente mineralizadas (< 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$), presentes en zonas que funcionan fundamentalmente como zonas de recarga y temporalmente como zonas de descarga, como los corrales dunares.
- Asociadas a la disponibilidad del agua y a sus características fisicoquímicas, los análisis han permitido la detección de 4 comunidades vegetales distintas: por un lado, dos comunidades

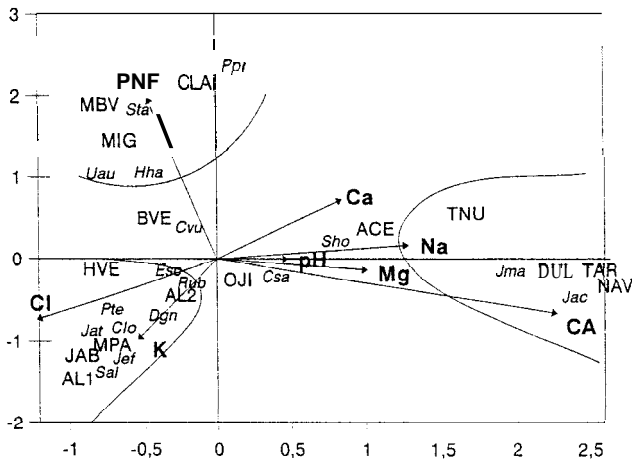


FIGURA 4 Análisis Canónico de Correspondencias. Ordenación conjunta de las especies, los puntos de muestreo y las variables ambientales.

FIGURE 4. Canonical Correspondence Analysis. Ordination of species, sampling points and environmental variables.

Especies/Species: Cvu: *Calluna vulgaris*; Csa: *Cistus salvifolius*; Clo: *Cyperus longus*; Dgn: *Daphne gnidium*; Esc: *Erica scoparia*; Hha: *Halimium halimifolium*; Jat: *Juncus acutiflorus*; Jac: *J. acutus*; Jef: *J. effusus*; Jma: *J. maritimus*; Ppi: *Pinus pinea*; Pte: *Pteridium aquilinum*; Rub: *Rubus ulmifolius*; Sal: *Salix atrocinerea*; Sci: *Scirpus holoschoenus*; Sta: *Stauracanthus genistoides*; Uau: *Ulex australis*.

de especies no freatófitas con distinto grado de higrofitismo y, por otro lado, dos comunidades freatófitas con distinto grado de halofitismo. Estos grupos detectados se corresponden a su vez a 7 asociaciones fitosociológicas.

El primer grupo está formado por especies terrestres xerófitas, representadas por *Halimium halimifolium*, *Stauracanthus genistoides* y *Ulex australis*, que se localizan en lugares generalmente no encharcables, a los que subyace un freático con aguas poco mineralizadas y de baja conductividad (< 300 μ S/cm). Esta comunidad se correspondería con el *monte blanco* de RAMIREZ DIAZ (1973) o el *Halimio halimifolii-Stauracanthetum genistoidis* de RIVAS MARTINEZ *et al.* (1980).

El segundo grupo está compuesto por especies terrestres higrófitas como *Calluna vulgaris*, *Erica scoparia*, *Rubus ulmifolius*, *Cistus salvifolius* y *Daphne gnidium*. El agua freática tiene características fisicoquímicas similares a las del grupo anterior, pero es más somero (< 1.70 m en Julio de 1994). Se corresponde con el *monte negro* de RAMIREZ DIAZ (1973) o el *Erica scopariae-Ulicetum australis* de RIVAS MARTINEZ *et al.* (1980).

El tercer grupo está compuesto por especies como *Pteridium aquilinum*, *Cyperus longus*, *Juncus effusus*, *J. acutiflorus* y *Salix atrocinerea*, acompañadas en los lugares más conservados e higrófilos por *Erica ciliaris* y *Ulex minor*. Se trata de juncales higrófilos de pequeñas lagunas de agua dulce, con leñosas que soportan el encharcamiento temporal, con

aguas de conductividades menores a 500 μ S/cm y contenidos relativamente altos en cloruros. Se corresponde con el *Juncetum rugoso-effusi* y *Erica ciliaris-Ulicetum lusitanici* de RIVAS MARTINEZ *et al.* (1980) y los juncales con monte negro higrofitico de RAMIREZ DIAZ (1973).

El cuarto grupo está compuesto por *J. acutus*, *J. maritimus* y *Scirpus holoschoenus*, especies presentes en lagunas de mayor superficie y relacionadas con aguas subterráneas mineralizadas (GONZALEZ BERNALDEZ & MONTES 1989), aunque según RIVAS MARTINEZ *et al.* (1980) *J. acutus*, *J. maritimus* y *Scirpus holoschoenus* se asocian a comunidades no halófilas en el área de Doñana. Se corresponde con las comunidades *Galio palustri-Juncetum maritimi* y *Holoschoeno-Juncetum acuti*. En general, se trata de aguas con conductividades superiores a 500 μ S/cm y contenidos altos en carbonatos. Según LOPEZ *et al.* (1994), esto último puede ser debido a la actividad fotosintética de las lagunas, cuyas aguas se mezclan con las del acuífero, como han demostrado VELA *et al.* (1987).

Mención aparte merecen Navazo del Toro y Taraje Nuevo, únicos puntos muestreados donde aparecen tarajes (*Tamarix canariensis*), con aguas freáticas con conductividades superiores a 1500 μ S/cm y altos contenidos en cloruros y sodio, lo cual puede ser debido a que en ambos emplazamientos subyacen lagunas enterradas, como ha indicado SILJESTRÖM (1985) para Navazo del Toro estudiando su suelo y GARCÍA SÁNCHEZ (com. pers.) para Taraje Nuevo al encontrar restos de diatomeas en el sedimento. La asociación fitosociológica correspondiente sería la *Polygono-Tamaricetum africanae*.

Los resultados obtenidos sobre las características del agua freática de la zona no saturada están en consonancia con los obtenidos por otros autores en la misma área, en la que se dan sistemas de flujos regionales, semilocales y locales (VELA 1984, LÓPEZ *et al.* 1994) y existe una gran heterogeneidad espacial en el sustrato debido a la génesis e historia reciente del territorio.

En el área de Doñana, las comunidades vegetales pueden asociarse a las características hidroquímicas del agua de la zona no saturada. La detección de alteraciones en la vegetación puede indicar alteraciones importantes en la disponibilidad y en las características fisicoquímicas del agua freática, adquiriendo las especies un valor como indicador biológico (BERNALDEZ *et al.* 1990).

AGRADECIMIENTOS

Dolores Jordano realizó los análisis de agua. Agustín Cortés solucionó las dudas taxonómicas. El Dr. García Novo realizó una lectura crítica del manuscrito y la Dra. Toja realizó

interesantes sugerencias. La colaboración de J.B. Gallego fue fundamental para la realización de la Figura 1.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLIER, C.; F. GONZÁLEZ BERNÁLDEZ y RAMÍREZ 1974. *Mapa ecológico de la Reserva Biológica de Doñana*. C.S.I.C. Estación Biológica de Doñana.
- APHA 1985. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 16th Ed. Am. Publ. Health Assoc. Washington D.C.
- BAONZA, E.; A. PLATA y A. SILGADO 1984. Hidrología isotópica de las aguas subterráneas del Parque Nacional de Doñana y su zona de influencia. *Cuadernos de Investigación*. C7.CEDEX. Madrid. 139 pp.
- BERNÁLDEZ, F.G.; J.M. REY BENAYAS, B. PECO & C. LEVASSOR 1990. Groundwater indicators plants in the tertiary aquifers of central Spain. *Hydrogeology, Selected Papers*. Vol. 1: 301-312.
- BERNÁLDEZ, F.G. & J.M. REY BENAYAS 1992. Geochemical relationships between groundwater and wetland soils and their effects on vegetation in central Spain. *Geoderma* 55: 273-288.
- BOEYE, D. & R.F. VERHEYEN 1994. The relation between vegetation and soil chemistry gradients in a ground water discharge fen. *J. Veg. Sci.* 5: 553-560.
- BRAVO, M.A. y C. MONTES 1993. Inventario de las formaciones palustres del manto eólico del Parque Nacional de Doñana (SW Spain). *Actas VI Congreso Español de Limnología*, Granada: 31-43.
- CUSTODIO, E.; J. DOLZ, J. GUIMERÁ, M. MANZANO, R. PONCELA, J. SAMPER, M. SÁNCHEZ y E. VELASCO 1992. Aportaciones al conocimiento hidrogeológico de los acuíferos del Parque Nacional de Doñana y su entorno. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*. XVI: 425-439.
- F.A.O. 1970. *Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalquivir: informe técnico*. 1 AGL. SF/SPA 9, Roma: 115 pp (informe inédito).
- GARCÍA MURILLO, P.; M. BERNÚES y C. MONTES 1993. Los macrófitos acuáticos del Parque Nacional de Doñana (SW España). Aspectos florísticos. *Actas VI Congreso Español de Limnología*, Granada: 261-267.
- GARCÍA NOVO, F. 1979. The ecology of vegetation of the dunes in Doñana National Park (South West Spain). In: Jefferies, R.L. and A.J. Davy (ed) *Ecological Processes in Coastal Environments*. Blackwell, Oxford, pp 571-592.
- GARCÍA NOVO, F.; D. GALINDO, J.A. GARCÍA SÁNCHEZ, C. GUISANDE, J. JÁUREGUI, T. LÓPEZ, N. MAZUELOS, J.C. MUÑOZ, L. SERRANO y J. TOJA 1991. Tipificación de los ecosistemas acuáticos sobre sustrato arenoso del Parque Nacional de Doñana. *Actas III Simposio del Agua en Andalucía*, Córdoba: 165-176.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F.; L. RAMÍREZ, A. TORRES y F. DÍAZ PINEDA 1977. Estructura de la vegetación de marisma de la Reserva Biológica de Doñana (Huelva). II. Estudio de un gradiente de salinidad. *Anales Edaf. Agrob.* 36 (9-10): 1005-1017.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. y C. MONTES (coord.) 1989. *Los humedales del acuífero de Madrid. Inventario y Tipología basada en su origen y funcionamiento*. Canal de Isabel II. Madrid. 92 pp.
- GROOTJANS, A.P.; R. van DIGGELEN, M.J. WASSEN & W.A. WERSINGA 1988. The effects of drainage on groundwater quality and plant species distribution in stream valley meadows. *Vegetatio* 75: 37-48.
- GUIMERÁ, J.; E. CUSTODIO y L. CANDELA 1991. Caracterización de la recarga de los acuíferos mediante trazador químico artificial en el Parque Nacional de Doñana (Huelva, España). *Rev. Geofísica* 47: 135-147.
- GUIMERÁ, J.; E. CUSTODIO y L. CANDELA 1991. Caracterización de la recarga de los acuíferos mediante trazador químico artificial en el Parque Nacional de Doñana (Huelva, España). *Rev. Geofísica* 47: 135-147.
- HOLLIS, T.; J. MERCER and P. HEURTEAUX 1989. *The implications of groundwater extraction for the longterm future of the Doñana National Park*. Report of the WWF/UIICN/ADENA. Mission to Doñana National Park, November 1988, 60 pp.
- I.G.M.E. 1983. *Hidrogeología del Parque Nacional de Doñana y su Entorno*. Serv. Publ. Min. Industria y Energía. Madrid. 120 pp + 1 mapa.
- LÓPEZ, T.; N. MAZUELOS y J.C. MUÑOZ REINOSO 1994. Spatial and temporal variation in the ionic composition of shallow water table in Doñana National Park (SW Spain). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 1438-1444.
- LÓPEZ, T.; J. TOJA & N. GABALLONE 1991. Limnological comparison of two peridunal ponds in the Doñana National Park (Spain). *Arch. Hydrobiol.* 120: 357-378.
- MANZANO, M.; E. CUSTODIO y R. PONCELA 1991. Contribución de la hidrogeoquímica al conocimiento de la hidrodinámica de los acuíferos en el área de Doñana. *Actas III Simposio del Agua en Andalucía*, Córdoba: 457-486.
- MERINO, J.; L. RAMÍREZ, F. SANCHO y A. TORRES 1980. Estudio ecológico de la vegetación de ecotono (vera) de la Reserva Biológica de Doñana (Huelva). II. Tipificación ecológica de las comunidades vegetales. *Anales*

- Edaf. Agrob.* 39(11-12): 1867-1878.
- OLÍAS, M. 1995. *Evaluación de la recarga y comportamiento de la zona no saturada del acuífero Almonte-Marismas (Huelva)*. Tesis Doctoral. Univ. Granada.
- OLÍAS, M.; J. CRUZ SAN JULIÁN, J. BENAVENTE y C. ALMEIDA 1994. Evolución hidroquímica temporal en algunos puntos de observación en el acuífero Almonte-Marismas (Huelva). *Bol. Geol. Min.* Vol 105-4: 362-371.
- PLATA, A.E., BAONZA y A. SILGADO 1983. Hidrología isotópica de las aguas subterráneas del Parque Nacional de Doñana y su zona de influencia. *Isotopes in Hydrology*. IAEA.SM-270/57. Viena: 321-340.
- RAMÍREZ DÍAZ, L. 1973. *Estudio ecológico cuantitativo del matorral de la Reserva Biológica de Doñana*. Tesis Doctoral. Univ. de Sevilla. 394 pp.
- RAMÍREZ DÍAZ, L.; F. GARCÍA NOVO, J. MERINO ORTEGA y F. GONZÁLEZ BERNÁLDEZ 1975 Sistemas de dunas y arenas estabilizadas de la Reserva Biológica de Doñana. En: *Doñana. Prospección e inventario de ecosistemas*: 159-193. Monografía 18. ICONA-MAPA. Madrid.
- REY BENAYAS, J.M.; F.G. BERNÁLDEZ, C. LEVASSOR & B. PECO 1990. Vegetation of groundwater discharge sites in the Douro basin, central Spain. *J. Veg. Sci.* 1: 461-466.
- RIVAS MARTÍNEZ, S.; M. COSTA, S. CASTROVIEJO y E. VALDÉS 1980. Vegetación de Doñana (Huelva, España). *Lazaroa* 2: 1-189 pp.
- SACKS, L.A.; J.S. HERMAN, L.F. KONIKOW and A.L. VELA 1992. Seasonal dynamics of groundwater-lake interactions at Doñana National Park, Spain. *J. Hydrology* 136: 123-154.
- SERRANO, L. & J. TOJA 1995. Limnological description of four temporary ponds in the Doñana National Park (SW Spain). *Arch. Hydrobiol.* 133: 497-516.
- SILJESTRÖM, P. 1985. *Geomorfología y edafopénesis de las arenas del Parque Nacional de Doñana*. Tesis Doctoral. Univ. Sevilla. 515 pp.
- SUSO, J. y R. LLAMAS 1990. El impacto de la extracción de aguas subterráneas en el Parque Nacional de Doñana. *Estudios geológicos* 46: 317-345.
- SUSO, J. and R. LLAMAS 1993. Influence of groundwater development on the Doñana National Park ecosystems (Spain). *J. Hydrology* 141: 239-269.
- ter BRAAK, C.J.F. 1987. The analysis of vegetation environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio* 69: 69-77.
- ter BRAAK, C.J.F. 1991. *CANOCO v. 3.12*. Agricultural Mathematics Group, Wageningen.
- TOJA, J.; T. LÓPEZ & N. GABALLONE 1991. Successional changes in two dune ponds (Doñana National Park). *Verh. Internat. Verein. Limnol* 24: 1556-1559.
- VELA, A. 1984. *Estudio preliminar de la hidrogeología e hidrogeoquímica del sistema de dunas móviles y flecha litoral del Parque Nacional de Doñana*. Tesis de Licenciatura. Univ. Complutense. Madrid. 256 pp.
- VELA, A., I. HERRÁEZ y J.L. TENAJAS 1987. Relaciones isotópicas entre las aguas superficiales y subterráneas en el área peridunar del Parque Nacional de Doñana. *II Congreso de Geoquímica de España*.