

LAS AGUAS SUPERFICIALES Y LA MARISMA DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA

Benigno Bayán Jardín

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

José Dolz Ripollés

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Departamento de Ing. Hidráulica, Marítima y Ambiental. UPC. Barcelona.

RESUMEN

La Marisma del Parque Nacional de Doñana ocupa aproximadamente 27.000 Ha. y constituye uno de los tres grandes ecosistemas existentes en el parque. En el presente siglo se llevaron a cabo actuaciones que redujeron notablemente su extensión y alteraron sustancialmente sus características hidrológicas. A lo largo de las últimas décadas se han tomado decisiones y realizado obras tendentes a la recuperación de la funcionalidad hidrológica original de la marisma y de este modo poder asegurar su conservación. En el presente artículo se analiza el origen, evolución histórica y estado actual de la hidrología de la marisma. También se describen las obras realizadas para su regeneración hídrica y finalmente se hacen unas consideraciones respecto la necesidad de mejorar el conocimiento cuantitativo del funcionamiento hidráulico e hidrológico de este espacio de características que, sin exageración alguna, pueden calificarse de únicas.

ABSTRACT

The marsh area of Doñana, one of the three large eco-systems of the Park, covers some 65.000 acres. It was considerably reduced in size during this century and its hydrological capacity gravely affected. Work has been carried in recent years to restore the original hydrological function of the marshland and to ensure its survival. The origin, the history and the present state of the marshland are examined in this paper, and an account is given of the work of regeneration. Attention is drawn to the need for more information about the quantitative hydraulic and hydrological features of this unique area.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MARISMA. ORIGEN Y EVOLUCIÓN HISTÓRICA

El Parque Nacional de Doñana se sitúa junto a la margen derecha de la desembocadura del río Guadalquivir y ocupa una extensión de aproximadamente 50.000 Ha. perteneciente a las provincias de Sevilla y Huelva. El territorio donde se ubica es de carácter sedimentario, fruto de las acciones eólica, marina y fluvial. A grandes rasgos, puede decirse que las características de dicho territorio definen tres ecosistemas: las arenas estabilizadas, el cordón litoral de dunas móviles y la marisma. La extensión de la marisma es de unas 27.000 Ha., aproximadamente la mitad de la superficie del parque. Estas 27.000 Ha. forman parte de las 140.000 Ha. que abarcaban a principios de este siglo las marismas del Guadalquivir.

La zona ocupada por el Parque Nacional de Doñana ha estado sometida a los diferentes procesos geológicos que han tenido lugar en el Bajo Guadalquivir.

A finales de la era Terciaria se produjo un hundimiento generalizado de lo que ahora es la cuenca del Guadalquivir, con lo que se formó un mar profundo en el que se depositaron las margas azules con espesor que llega a ser de 1.000 metros.

Ya en el Cuaternario se produjo el depósito de arenas rojas con espesor mucho menor, y en un ambiente costero de poca profundidad como es el estuario del Guadalquivir.

La evolución de la cuenca baja del Guadalquivir continuó en el mismo sentido, y además se produjo el avance de una barra costera en dirección NO-SE formada por el aporte de arenas eólicas y materiales procedentes de los ríos Tinto, Odiel, Piedras y Guadiana, transportados por corrientes marinas costeras. Esta barra fue cerrando lentamente el estuario del Guadalquivir y formando en el interior una albufera de aguas tranquilas que existió hasta épocas históricas. Fue el lago Ligur en tiempos de los fenicios, y el lago Ligustinus durante la dominación romana. En el fondo de este lago se depositaron los sedimentos de origen continental que actualmente constituyen la base de la ma-

risma. La parte más superficial de esta capa de 50-100 m. de espesor esta formada por limos finos y arcillas gris-azuladas.

Al mismo tiempo, sobre la barra costera se desarrollaron sistemas de dunas que debieron tener una altura considerable. Las dunas móviles actuales alcanzan una altura de 40 m. sobre el nivel del mar y avanzan entre tres y seis metros por año hacia la marisma. Esta velocidad de avance es favorecida si, como ha ocurrido parcialmente, desaparece la vegetación que fija las arenas.

La marisma se ha producido como resultado de la colmatación de la albufera creada por el cierre del estuario a una velocidad entre 1 y 2.5 milímetros por año en los últimos milenios (Bañza et al., 1984), y hasta el siglo XVIII tuvo una fuerte influencia mareal. Posteriormente perdió esta influencia casi en su totalidad pasando a tener un carácter continental. El aporte continuado de sedimentos procedentes de los arroyos incidentes (La Rocina, El Partido, Cañada Mayor) configura su topografía actual, en la que se observa una gran llanura situada a una cota media de 3.6 metros sobre el nivel del mar y pendiente del orden de 0.01% (Marañón et al., 1988). Esta cota de la marisma condiciona la comunicación con el mar, de tal manera que sólo puede establecerse cuando exista una gran marea y los niveles de agua en la marisma sean muy bajos o nulos. La práctica ausencia de relieve sólo es alterada por pequeñas elevaciones (paciles, vetas) y depresiones (caños, lucios y quebradas) que conforman una sutil red hidrográfica que condiciona el comportamiento hidráulico de la marisma (direcciones de flujo, velocidad del agua, sedimentación, calidad del agua) y propicia la existencia de una gran diversidad de espacios ambientales, lo que permite una fauna y flora muy diferenciadas en el espacio y en el tiempo. Esta diversidad temporal es motivada en gran medida por la acusada variación anual del estado de la marisma. Además de una riqueza faunística en variedad, la marisma también es rica en cantidad. Se estima que en el parque invernan aproximadamente un millón de aves acuáticas que requieren unas 50 toneladas diarias de alimentos (Bayan y Delibes, 1986). Sólo gracias a las especiales caracte-



terísticas climáticas, de suelo e hidrológicas es posible que pueda darse esta elevada productividad en la marisma.

CLIMATOLOGÍA

El Parque Nacional de Doñana está situado en una área de clima mediterráneo semiárido, con una influencia atlántica que suaviza las temperaturas (temperatura media anual 17°C). Las temperaturas medias mensuales máximas (23,5°C) se presentan en Julio y Agosto y las mínimas medias mensuales (9,3°C) en Diciembre y Enero. La precipitación anual media es aproximadamente de 600 mm, siendo máxima en Diciembre y Marzo, aproximadamente 80 mm mensuales y mínima en Julio y Agosto, 5 mm (Aguilar et al., 1986). La altura, distancia al mar y distancia al Guadalquivir condicionan en gran medida las precipitaciones extremas,

precipitación diaria máxima anual (Velasco et al., 1991).

La evapotranspiración potencial según Thornthwaite es de 840 mm/año (IGME, 1983). La evapotranspiración real se estima entre 400 y 500 mm/año. El régimen de vientos juega un importante papel en el comportamiento hidráulico de la marisma al desplazar el agua de la misma. Según los lugareños el nivel del agua puede variar varios decímetros si se modifica la intensidad y/o la dirección del viento. Los vientos de poniente son claramente dominantes.

RED HIDROGRÁFICA ORIGINAL

El río Guadalquivir, aguas abajo de Sevilla y de La Puebla del Río y cuando todavía faltan unos 60 Km. para su desembocadura junto a Sanlúcar de Barrameda, dividía su cauce formando un brazo por su margen izquierda, el

Figura 1.
La marisma
inundada junto al
Palacio.
Diciembre 1987.

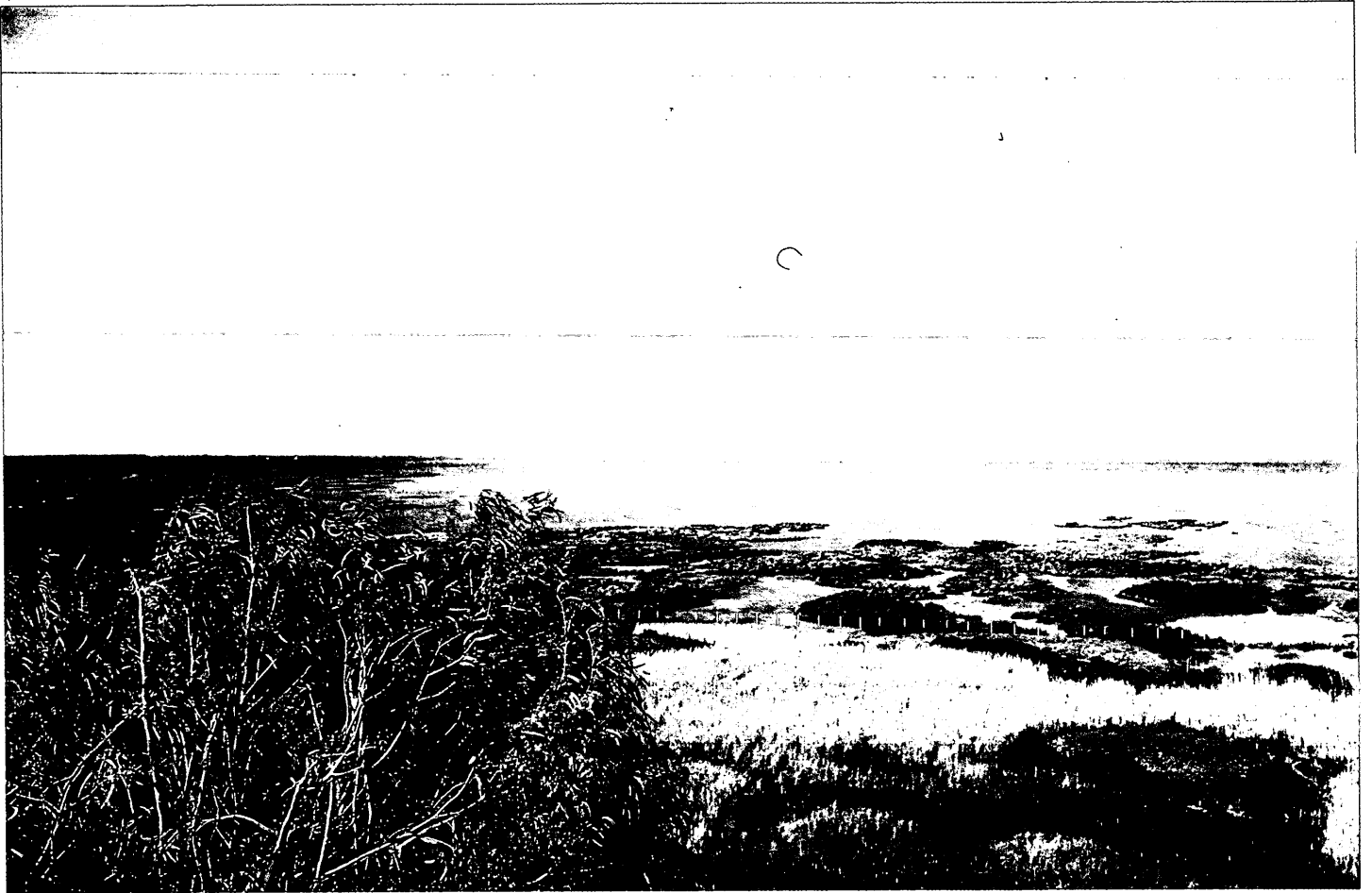


Figura 2.
La marisma junto
al Palacio.
Abril 1989.

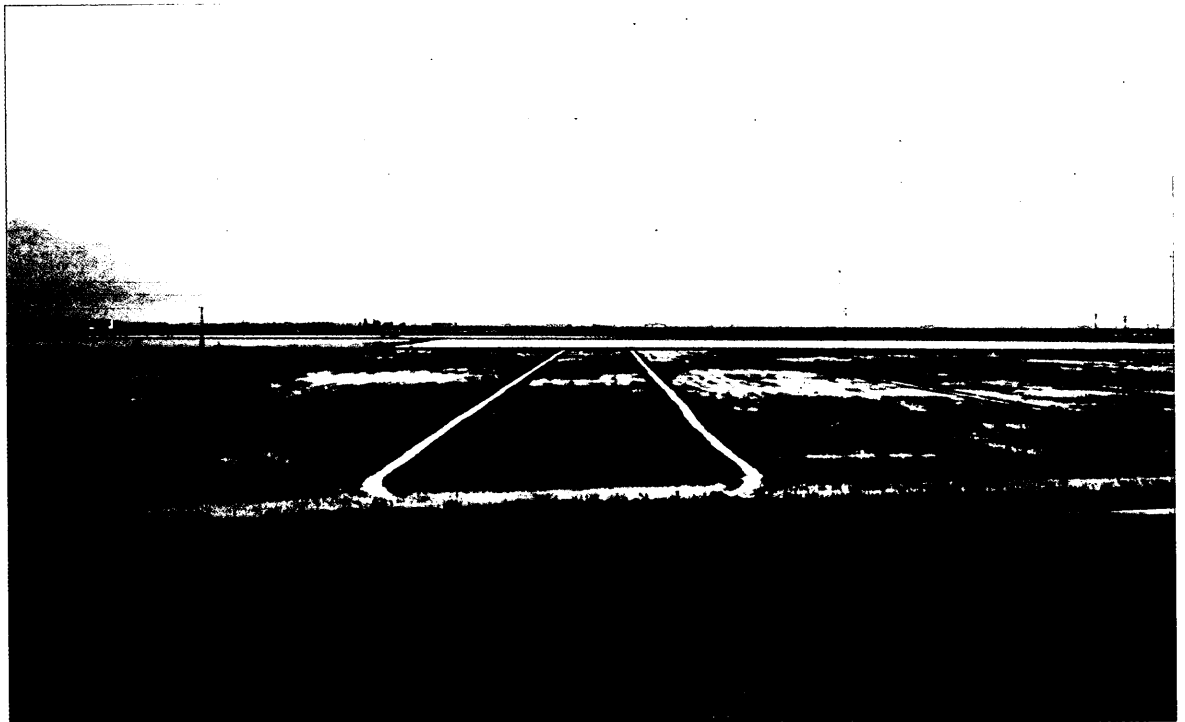
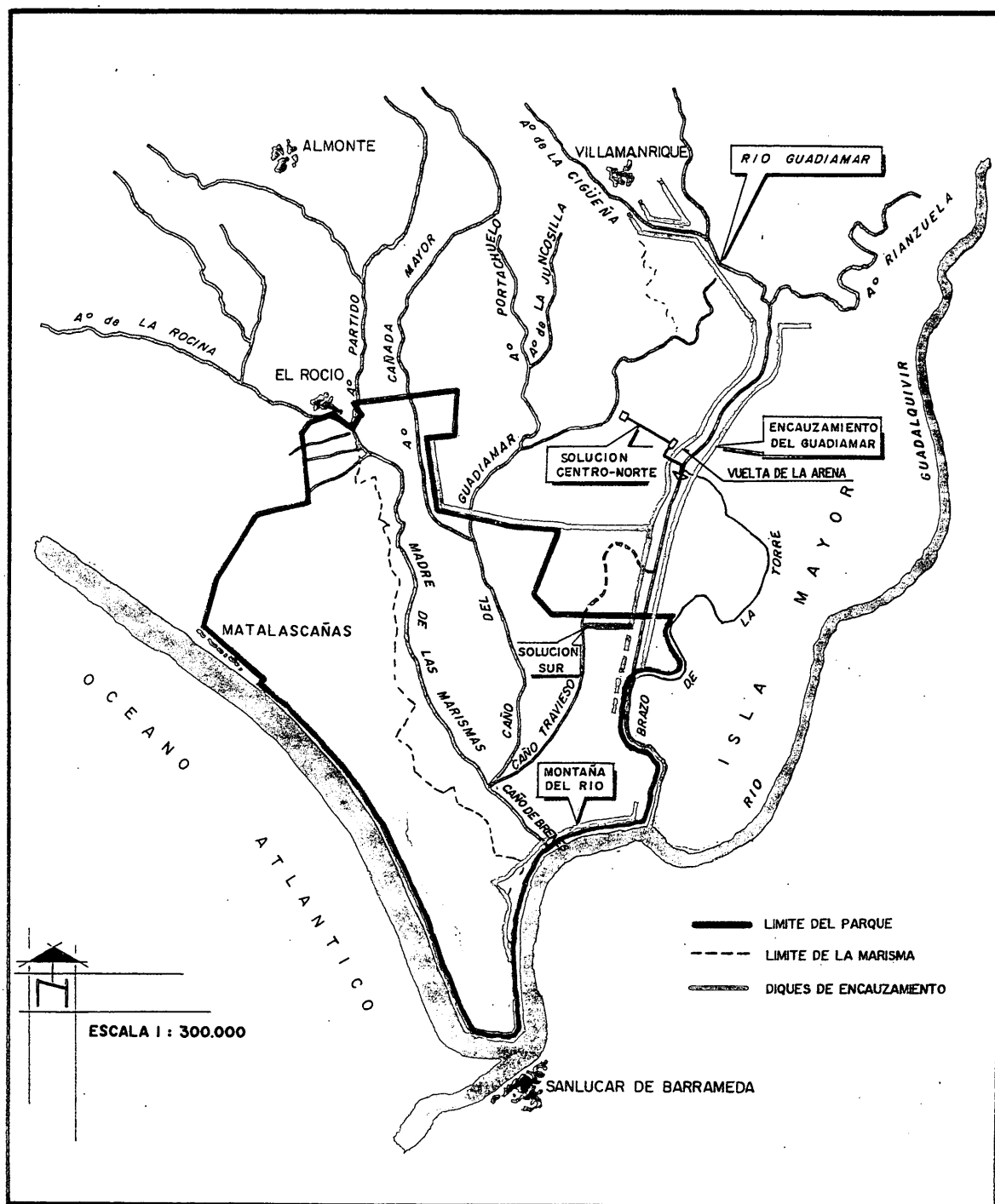


Figura 3.
Antigua
marisma, hoy zona
de cultivo.
Observar la red de
drenaje.
Diciembre 1989.

Figura 4.
El Parque Nacional
de Doñana.
Límites e
Hidrografía.



Brazo del Este, que da lugar a la Isla Menor, y otro brazo por su margen derecha, el Brazo de la Torre o del Noroeste, que forma la Isla Mayor, figura 4.

La zona original de marismas comprende toda la zona situada entre los citados brazos del Guadalquivir, así como amplias zonas hacia el

Este del Brazo del Este y hacia el Oeste del Brazo de la Torre.

En la parte Norte del Brazo de la Torre desembocaba el Arroyo de la Rianzuela o Majaberraque, y muy cerca también el río Guadamar, que cerca de su desembocadura tenía un cauce de escasa capacidad y casi todos los años se

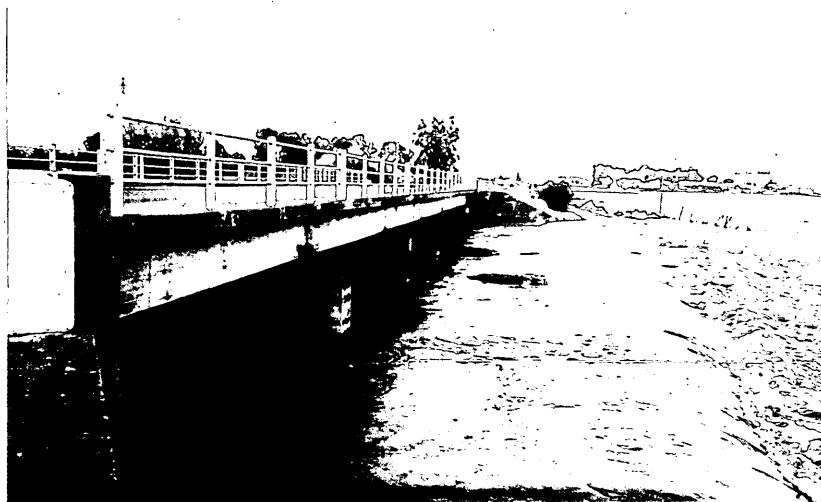


Figura 5.
Desagüe del Arroyo
de la Rocina a la
marisma.
Diciembre 1989.

producía su desbordamiento por la margen derecha. Este desbordamiento alimentaba al Caño del Guadiamar que es un cauce muy amplio y de funcionamiento estacional.

El cauce del Caño del Guadiamar se dirige sensiblemente al Sur y recibe, por su margen derecha, las aguas del Arroyo de la Cigüeña, y más adelante las de los Arroyos del Portachuelo, de la Juncosilla y de la Cañada Mayor.

Cabe citar ahora el Caño Travieso, así llamado por discurrir con un trazado aproximadamente transversal por la marisma, que sale de la margen derecha del Brazo de la Torre, en la zona conocida como Vuelta de la Arena, y desemboca en el Caño del Guadiamar por su margen izquierda. También el Caño Travieso funcionaba solamente como un derramadero de las crecidas del Brazo de la Torre.

Al oeste de la marisma se encuentra el Arroyo de la Rocina que, junto a la aldea del Rocío (figura 5), se junta con el Arroyo del Partido, dando lugar al Arroyo Madre de la Marisma. Este arroyo se une al Caño Guadimar y al Caño Travieso dando lugar al Caño de Brenes, que va a desembocar al río Guadalquivir, aguas abajo de la confluencia con el Brazo de la Torre.

Una vez que las aguas inundaban la marisma, estaba impedido el desagüe libre y rápido hacia el Guadalquivir y el final del Brazo de la Torre, porque el terreno formaba un borde alto junto al cauce, que obligaba a que el drenaje se produjera lentamente y a través de algunos caños como el de Brenes, el de la Figuerola, o el del Buen Tiro. Este borde, con una altura lige-

ramente superior a un metro, era conocido como la Montaña del Río, y aunque el nombre pueda parecer exagerado, no lo es tanto en aquel entorno formado por inmensas llanuras casi horizontales.

La Montaña del Río también controlaba la entrada del agua salada del Guadalquivir durante las mareas altas. Como hemos ya visto esta aportación mareal era, y sigue siendo, mínima.

2. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS E HIDROLÓGICAS DE LA MARISMA EN SU ESTADO ACTUAL

ALTERACIONES DE LA RED HIDROGRÁFICA ORIGINAL

En 1816 se realizó la Corta Fernandina de manera que el Brazo de la Torre quedaba aislado del Guadalquivir y sólo recibía, por tanto, los aportes del Guadiamar.

Las diversas obras realizadas en el entorno del Parque Nacional de Doñana por el MOPT-MA a través de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, comenzaron en 1947 y se dieron por terminadas en 1977.

La obra más importante fué el encauzamiento del río Guadiamar, que también podría llamarse encauzamiento del Brazo de la Torre. Consistió fundamentalmente en la construcción de dos largos muros o diques paralelos separados alrededor de un kilómetro. Entre ellos se limita la zona de posibles inundaciones, encauzando el agua directamente hacia el tramo bajo del Brazo de la Torre.

El muro derecho comienza antes de la desembocadura del río Guadiamar en el Brazo de la Torre, impidiendo cualquier aportación del río Guadiamar al Caño del mismo nombre. Asimismo, en el primer tramo de este muro derecho se ha encauzado el Arroyo de la Cigüeña, que también alimentaba el Caño Guadiamar. Por su parte, el muro izquierdo recoge al comienzo las aguas del Arroyo de la Rianzuela o Majaberraque. Se suele considerar como el punto final del primer tramo del encauzamien-

to el lugar donde el río Guadiamar desemboca en el Brazo de la Torre.

En todo el segundo tramo los muros siguen el trazado del Brazo de la Torre, llegando así a la Vuelta de la Arena, dónde comienza el tramo o parte tercera. Aquí los muros abandonan el cauce natural del Brazo de la Torre y se dirigen hacia el Sur con un trazado recto, culminando su función al alcanzar de nuevo el Brazo de la Torre, ya muy cerca de su desembocadura. Además, en este tercer tramo se ha construido un muro transversal en dirección Oeste, hacia El Rocío, que interrumpe el antiguo cauce del caño Guadiamar, mientras un poco más al Sur el muro derecho interrumpe el cauce natural del Caño Travieso, que, por otra parte, ha sido eliminado a su paso por la finca denominada Los Caracoles, que está dedicada a prácticas agrícolas.

Por otra parte, el Guadalquivir ha venido erosionando la Montaña del Río, especialmente durante las avenidas, pero este proceso natural se ha visto acelerado durante el presente siglo por el oleaje producido por el paso de barcos cada vez mayores y con mayor velocidad, durante la marea alta. En las últimas décadas la Montaña del Río quedó prácticamente destruída a causa de este proceso, y por ello el desagüe de la marisma era mucho más rápido.

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LAS CUENCAS VERTIENTES

Las cuencas vertientes presentan unos comportamientos hidrológicos diferenciados a lo largo de ellas, lo que condiciona su respuesta frente a una determinada lluvia. De forma resumida pueden ser descritos dichos comportamientos considerando las siguientes unidades hidrológicas (Dolz y Velasco, 1990):

▼ La Rocina. Extensa área arenosa de pendientes suaves con plantaciones de eucaliptos y pinos, también se cultivan frutales. En la respuesta frente a las lluvias predomina el almacenamiento de agua en extensas, pero someras, depresiones con descarga por puntos bajos, que suelen coincidir con los desagües transversales o con la explanación de los caminos forestales.

Esta unidad conforma en gran medida la cuenca del Arroyo de La Rocina.

▼ Agricultura intensiva. Área situada alrededor de la red básica de carreteras de conexión entre Sevilla y Huelva, en la que se asientan la mayor parte de las poblaciones. Su topografía es alomada sin grandes desniveles; el suelo es fértil, con profusión de finos. Abunda la agricultura de alto rendimiento (frutales) y la tradicional (olivos). Su permeabilidad es mucho menor que en la zona arenosa de La Rocina. Actúa como elemento de paso del cauce del río Guadiamar. La red de drenaje presenta cauces claramente marcados.

▼ Agricultura extensiva. Situada al Norte de la carretera Sevilla-Huelva. Tiene pendientes muy suaves y retiene gran cantidad de agua en la capa subsuperficial del terreno. Es altamente erosionable por la escasez de cobertura vegetal durante períodos posteriores a la recolección. Una parte importante de la cuenca del río Guadiamar presenta características que se identifican con lo anteriormente descrito.

▼ Zona premontañosa. Presenta pendientes suaves con la morfología marcada. Se sitúa en la parte alta del río Guadiamar, desarrollándose más extensamente en su margen derecha y al Norte de la cuenca de La Rocina. La cobertura vegetal es continua, tipo forraje, matorral bajo y arbórea no muy densa (básicamente compuesta de encinas y alcornoques). Su base es metamórfica recubierta de un sustrato de suelo donde se intercalan los finos con materiales más granulares. La erosión en general es baja. Los cauces están bien marcados y tienen un funcionamiento básicamente de transporte, con inundaciones tan solo en puntos muy locales y en situaciones de aguas altas. Fuera del cauce de aguas bajas crecen arbustos y algunos árboles. En el río Agrío (afluente más importante del río Guadiamar), se sitúa la presa del Agrío (embalse de Aznalcóllar) que, con una capacidad de unos 40 Hm³ y un contraembalse con un desvío del cauce por túnel, modifica claramente las condiciones naturales de drenaje de una extensa área.

▼ Zona montañosa. El relieve es abrupto, con cotas no superiores a los 500 m. Corresponde a una formación metamórfica joven, de

erosión únicamente fluvial. La cobertura vegetal tradicional de encinas y alcornoques con matorrales como sotobosque, ha sido sustituida en grandes área por repoblación forestal de mayor rendimiento pero menor protección del suelo, como son el pino y el eucalipto. Tiene como red de drenaje principal el río Crispinejo y el arroyo Cañaveroso, cauces que se unen formando el río Agrio.

CALIDAD DE LAS AGUAS

La Confederación Hidrográfica del Guadalquivir se ocupa de la vigilancia sistemática de la calidad del agua de Doñana desde 1.989 mediante una red de vigilancia con 18 puntos que incluye todos los cursos superficiales incidentes o alimentadores de Doñana, más algunos puntos en el interior de la marisma.

Durante el verano, la intensa evaporación dentro de la marisma provoca un gran aumento de la conductividad en el agua encharcada, y valores elevados de pH. Durante la época de lluvias, todos estos rasgos se suavizan por la dilución.

En los arroyos que aportan sus aguas a Doñana tanto la evaporación como la conductividad está mitigadas respecto a la marisma.

Con los índices de actividad ecológica, se aprecia una notable diferencia entre los bajos contenidos de clorofila en los arroyos incidentes y los muchos mayores registrados en la marisma, lo que indica una gran actividad de organismos fotosintetizadores.

La contaminación orgánica se aprecia en el arroyo del Partido y en el río Guadiamar, ya que reciben aguas residuales urbanas. En breve plazo se va a construir una depuradora cerca del Rocío, y otras dos en el río Guadiamar que deben solucionar este problema.

Respecto a los metales analizados, se ha comprobado que las concentraciones de hierro, manganeso y zinc pueden ser muy altas en el río Guadiamar, por la influencia de las explotaciones mineras en su cuenca alta. Por este motivo, pueden ser problemáticas las aportaciones a la marisma procedentes de este río, cuando los caudales son bajos y por tanto elevadas las con-

centraciones de dichos metales. En situación de crecida normalmente la dilución es suficientemente importante como para que sea aceptable la calidad de las aguas. No obstante, la primera avenida después del verano (y sobre todo los caudales iniciales de esta avenida) pueden presentar elevados contenidos de metales debido al efecto "limpieza del cauce" que se produce después de un largo periodo con caudales mínimos.

APORTE DE MATERIALES SÓLIDOS

Se ha visto que uno de los principales factores que han propiciado la existencia de la marisma es la sedimentación de los aportes sólidos transportados por los cauces que vierten a ella. Por tanto la evolución natural de la marisma conlleva su progresiva colmatación y, en consecuencia, desaparición. No obstante, las actuaciones en los cauces y en las cuencas de los ríos que desaguan a la marisma han alterado sustancialmente la dinámica natural de dicho proceso.

La deforestación y las nuevas prácticas agrícolas han disminuido la resistencia a la erosión y, por tanto, se ha incrementado el caudal sólido. Por otra parte la alteración de la red hidrográfica de la marisma ha modificado su ubicación espacial y las características hidráulicas de los cauces (velocidad del agua y capacidad de transporte sólido). Como consecuencia de todo ello ha aumentado la aportación sólida a la marisma y se ha modificado la distribución espacial de estos sedimentos dentro de ella. Cabe enfatizar la gran importancia que a medio plazo pueden tener estos hechos en la evolución de un sistema hidráulico como la marisma cuya existencia, funcionalidad hidráulica y evolución temporal son consecuencia directa de los delicados mecanismos que rigen el transporte y sedimentación de las aportaciones sólidas, figura 6. Ejemplo de ello es la situación creada en el último tramo del Arroyo del Partido que fue rectificado y encauzado. Anteriormente este arroyo desagaba a la marisma junto a la confluencia con el Arroyo de la Rocina. Esta entrada a la marisma se realizaba con un frente muy

amplio de manera que los sedimentos transportados se distribuían y sedimentaban en una extensa zona de la marisma. Al ser encauzado el desagüe se realiza en un menor espacio y, por tanto, la sedimentación también se ha producido de una forma mucho más localizada, alterando la hidrografía del entorno de la zona de desagüe del Arroyo del Partido. Por otra parte el encauzamiento y rectificación del antiguo cauce ha propiciado que la velocidad del agua sea mayor, lo que incrementa su capacidad de erosión y de transporte. Ello es tanto más preocupante si tenemos en cuenta que el encauzamiento se ha realizado excavando en arenas no estabilizadas y por tanto fácilmente erosionables. Como resumen de lo anteriormente expuesto podemos decir que las actuaciones en el Arroyo del Partido han provocado un notable incremento de los sólidos aportados a la marisma y una colmatación junto a su desagüe a la misma. Además, estos depósitos han disminuído la capacidad de desagüe del Arroyo de la Rocina en la zona de entrada a la marisma, lo que ha modificado la dinámica hidráulica de toda esta área.

FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO

Dada la elevada impermeabilidad de los limos que constituyen el suelo de la marisma, a efectos de analizar las entradas y salidas de agua puede considerarse que se encuentra aislada del acuífero sobre el que se sitúa. Por tanto, una vez casi perdida la influencia mareal, el balance hídrico de la marisma de Doñana queda fijado por la lluvia directamente caída sobre ella, las aportaciones fluviales, la evapotranspiración y las salidas a través de los diferentes caños.

La marisma, que actualmente ocupa 27.000 Ha. dentro del parque, tiene un ciclo de funcionamiento en su dinámica anual. El proceso comienza con el llenado, que normalmente ocurre en los meses de Octubre-Noviembre. En esta situación, en la que sólo quedan emergidas las zonas más altas (paciles, vetas), se encharcan un máximo de 17.000 Ha., con un volumen de agua que se ha estimado en 35 Hm₃, lo que su-

pone una profundidad media de unos 20 cm. Esta etapa, fase de encharcamiento, dura hasta Marzo-Abril, en este momento está equilibrada aproximadamente la relación aportes/evapotranspiración. Las pérdidas por evapotranspiración la van desecando progresivamente hasta que al final del verano solamente las zonas más deprimidas (lucios, quebradas, ojos de las marismas), retienen algo de agua, muy salina.

Después del conjunto de actuaciones en la red hidrográfica que han sido descritas anteriormente, las aportaciones fluviales a la marisma de Doñana quedaron reducidas a las procedentes del Arroyo Madre de las Marismas (cuenca 620 Km₂) y de la Cañada Mayor (cuenca 70 km₂). La aportación anual media del arroyo Madre de las Marismas se evalúa aproximadamente en 140 Hm₃, siendo el valor mínimo 31 Hm₃ y el máximo 475 Hm₃ (Bayan y Delibes, 1986). Estos recursos proceden en gran medida de los acuíferos libres de las dunas que constituyen la mayor parte de su cuenca.

Es clara, la importante disminución que sufrieron los recursos hídricos disponibles en la marisma al impedir las aportaciones del Caño Guadamar y del Caño Travieso. Para poner en evidencia este hecho, cabe señalar que las lluvias caídas en Noviembre y Diciembre de 1989 dieron lugar a una aportación del río Guadamar al inicio de su encauzamiento (cuenca 1070 Km₂) estimada en 325 Hm₃, mientras que la de los arroyos que vierten directamente a la marisma se evaluó aproximadamente en 125 Hm₃. La precipitación total caída durante esos dos meses en el Parque y su entorno fué de 600-700 mm. Visto esto, probablemente alguien se preguntará sorprendido por las razones que movieron a realizar obras tan costosas en detrimento del funcionamiento natural de la marisma. A quien lo haga habría que recordarle que unos pocos decenios atrás uno de los desafíos a los que se enfrentaba la humanidad era conseguir desecar las zonas húmedas, que históricamente habían sido focos de enfermedades y cuyo suelo se presumía favorable para el cultivo. Hoy han cambiado los tiempos, la preocupación y el interés social por la naturaleza han crecido y el desafío a que los hombres se enfrentan es precisamente el contrario, esto es,

Figura 6.
Acusada erosión
de los cauces
que desaguan a
la marisma.
Diciembre 1989.



salvar los humedales. Este cambio de mentalidad impulsó una serie de acciones encaminadas a recuperar la funcionalidad del Caño Travieso, del Caño Guadamar y de la Montaña del Río que se encontraba, como hemos dicho, gravemente dañada.

3. OBRAS DE LA REGENERACION HÍDRICA

El Plan de Regeneración Hídrica de Doñana contiene una serie de medidas conducentes a que las aguas superficiales vuelvan a llegar a la marisma por los cauces que solía utilizar, devolviéndoles así su funcionalidad.

La primera obra construída fue la restauración de la Montaña del Río, que ha consistido en la construcción de un muro utilizando como material las arcillas de la marisma más próxima. Dicho muro tiene una longitud de 14 Kms. y discurre paralelo a la margen derecha del río Guadalquivir y a 250 m. de la misma, excepto cuando rodea a una salina. De Sur a Norte, comienza en la zona de dunas próxima a la desembocadura del río y se prolonga hasta la confluencia de éste con el Brazo de la Torre. A par-

tir de ahí, y a lo largo de un kilómetro, sigue aguas arriba el margen derecho de este Brazo.

El muro tiene en su coronación una anchura de cuatro metros y su altura es de aproximadamente metro y medio. A diferencia de lo habitual en obras de ingeniería "clásica", en ésta se han evitado las alineaciones rectas, respetando las zonas con más vegetación y tratando de integrar el conjunto en el paisaje.

Aprovechando la extracción de tierra para el muro se han construído cuatro depresiones o lucios de aproximadamente tres hectáreas cada uno, con una profundidad próxima al metro y una zona sin excavar en el centro que hará las funciones de isla cuando el lucio se inunde durante el invierno. El resto del material necesario se ha extraído de una franja paralela al muro y discontinua, con tramos de 300 m. de longitud y 50 m. de anchura y una separación entre tramos de aproximadamente 100 m., así como de un antiguo y poco estético muro que cruzaba el lucio del Membrillo de Norte a Sur.

La ejecución de la obra de la Montaña del Río terminó en Diciembre de 1983, y conviene hacer notar que en la actualidad la vegetación natural, en particular los almajos, ya ha colonizado los taludes, de tal forma que solamente muy cerca del muro se le puede distinguir.

La segunda obra construída, dentro del Plan de Regeneración Hídrica de Doñana, es la denominada solución Centro-Norte.

En esencia se trata de un trasvase de hasta 6 m_/seg. de aguas del río Guadiamar al Caño Guadiamar, que las vierte directamente a la marisma.

Las obras se han realizado en la zona del encauzamiento del Guadiamar conocida como Vuelta de la Arena, donde el I.R.Y.D.A. había construído una estación de bombeo. En esencia, las modificaciones llevadas a cabo son tres: construcción de un grupo de compuertas de derivación en el cauce de aguas mínimas del Brazo de la Torre para llevar el agua hacia el muro derecho por el Canal de Vertido de la Estación de Bombas de I.R.Y.D.A., construcción junto al muro citado de un nuevo canal de derivación que permite al agua pasar del Canal de Vertido a un desagüe (el D-II-1) del sector III del Plan Almonte Marismas, y construcción de una estación de bombeo que eleva las aguas desde este desagüe hasta el antiguo cauce del Caño del Guadiamar, aproximadamente a 8 Km. del borde del Parque Nacional. A partir de ahí el agua se dirige hacia el Parque por gravedad, y penetra en el mismo pasando a través de unos tubos bajo el muro transversal al que antes nos referimos.

Estas obras se terminaron en Mayo de 1985.

Para que la solución Centro-Norte funcione correctamente hay que construir otras obras, como son las de devolución de su perfil natural al Caño del Guadiamar, o la de construcción de un canal paralelo al desagüe D-II-1 para evitar que las aguas que circulan por el hacia la marisma cuando está en funcionamiento la solución Centro-Norte, sean contaminadas por los depósitos salinos originados por las aguas salobres procedentes del lavado del suelo del Sector III y transportadas hacia el interior del encauzamiento por dicho desagüe D-II-1 cuando no funciona la solución Centro-Norte.

En la actualidad se esta estudiando la Solución Norte que también pretende devolver su funcionalidad al Caño del Guadiamar, llevando hasta él las mismas aguas que con la solución anterior, es decir, las del río Guadiamar y del

Arroyo de la Cigüeña, pero con la solución Norte podrían llegar a Doñana por gravedad.

La Solución Norte puede ser alternativa o complementaria con la solución Centro-Norte.

La tercera obra construída del Plan de Regeneración Hídrica de Doñana, es la denominada solución Sur, y con ella se ha querido devolver su funcionalidad al Caño Travieso.

Las obras han consistido en la construcción de un canal en tierra con 0,50 metros de profundidad y 250 metros de anchura, que justo al Sur de la finca Los Caracoles y dentro de los límites de Doñana, pone en comunicación el encauzamiento del Guadiamar con el Caño Travieso. Tiene una longitud de 2.100 metros y su trazado en planta es a base de curvas amplias para evitar que sea un elemento discordante en su entorno.

Estas obras finalizaron en Septiembre de 1987.

La Solución Sur sólo funciona durante las avenidas del río Guadiamar que son capaces de llenar el encauzamiento, pero se ha observado que una vez pasada la avenida, una buena parte del agua que entró por la solución Sur regresa otra vez al encauzamiento del Guadiamar, siguiendo el mismo camino pero en sentido inverso.

Para solucionar este problema se está debatiendo el modo concreto de hacer un control de la entrada del agua que resulte compatible con su situación en el interior de Doñana, que podría ser la instalación de una presa inflable, o de un alto número de compuertas.

Hacia el Sur de la Solución Sur todavía había una longitud de 5.200 metros del muro derecho del encauzamiento del Guadiamar, y como este trozo de muro no tenía ninguna función, ha sido desmontado para facilitar también la entrada masiva de agua durante las avenidas hacia el Caño Travieso y los lucios de los Ansares y el Buen Tiro, dejando el terreno natural en su situación primitiva.

La finca de Los Caracoles desagua, mediante una estación de bombeo, al encauzamiento del Guadiamar y pocos metros aguas arriba de la entrada de agua a la solución Sur, y como las aguas del desagüe son salinas provocaban un foco de contaminación que era preciso eliminar.

Para ello se ha construido una obra que recoge en una arqueta el agua salina del desagüe y mediante una tubería enterrada en una zanja, y con un kilómetro de longitud, se la lleva atravesando el encauzamiento del Guadiamar, hasta el cauce de aguas mínimas, situado junto al muro izquierdo.

El cauce de aguas mínimas, que recibe el vertido salino de la finca Los Caracoles, está sometido a la influencia de las mareas y suele tener agua salina, por lo que se ha hecho otra obra que consiste en mejorar en ciertas zonas la sección del citado cauce de aguas mínimas para evitar que con las mareas altas el agua desborde y ocupe gran parte del encauzamiento, siendo agua salina y por ello no deseable.

4. CONSIDERACIONES FINALES

A lo largo de este artículo ha quedado patente que la marisma es un elemento fundamental del Parque Nacional de Doñana y, por tanto, su conservación es una responsabilidad que bajo ningún concepto podemos eludir. Esta conservación va íntimamente ligada a la preservación de las características hidrológicas naturales que condicionaron su formación y evolución. No obstante, en el inmediato pasado y atendiendo a demandas sociales perfectamente justificadas en su momento, se llevaron a cabo actuaciones que redujeron notablemente la extensión de la marisma a la vez que alteraban sustancialmente su régimen hídrico: volumen aportado, calidad del agua, colmatación, red hidrográfica, etc.

Desde hace años ha habido una clara sensibilización de nuestra sociedad hacia la conservación de los espacios naturales y muy especialmente cuando reúnen las singulares características que se dan en Doñana. Por este motivo se han tomado decisiones y realizado obras tendentes a la recuperación de la funcionalidad hidrológica original de la marisma. No obstante, creemos importante señalar que las profundas modificaciones que ha sufrido el entorno del parque (por ejemplo, presencia importante de la agricultura intensiva, profunda alteración de la red hidrográfica, etc.) hacen inviable la

recuperación del estado natural. Pero hay que dejar muy claro que es posible y, además, tenemos la obligación de tomar las oportunas medidas para asegurar la mejora y conservación de este reducto natural que la UNESCO acaba de declarar patrimonio de la humanidad. Ya en su informe de 1977 el Colegio de Ingenieros de Caminos analizaba y proponía una serie de actuaciones para restaurar el régimen de aportaciones hídricas.

Una vez asumida la imposibilidad de retornar al estado natural y por tanto ser indispensable la toma de decisiones para el control de una serie de procesos que antes estaban bajo el absoluto dominio de la naturaleza, cabe hacerse dos preguntas: ¿En qué medida es admisible la intervención del hombre en el control de la dinámica de la marisma? y ¿En base a qué criterios se tomaron las decisiones para dicha intervención?. En algunos casos las respuestas a estas preguntas pueden parecer más claras de lo que realmente son. Por ejemplo, en principio, nadie puede poner en duda la necesidad de realizar las actuaciones precisas para asegurar unos mínimos en la cantidad y calidad de los recursos hídricos puestos a disposición de la marisma, o la importancia que tiene el evitar actuaciones que incrementen el aporte de sólidos y la consiguiente aceleración de la colmatación. Ahora bien, y siguiendo con estos mismos supuestos, no hay que olvidar que la marisma en su estado natural estaba sometida a severas sequías y a una colmatación progresiva. Por tanto: ¿Las decisiones a tomar, cómo deben de contemplar la pérdida de capacidad y las situaciones de sequía? Estas cuestiones, que se refieren a una pequeña muestra de los factores que intervienen en la dinámica de la marisma, sólo podrían ser contestadas de una forma responsable si se conocieran con rigor los mecanismos que controlan su funcionamiento hidrológico. En este sentido, y teniendo en cuenta la gran importancia que el agua tiene en la conservación de la marisma, llama la atención el pobre conocimiento de carácter cuantitativo que actualmente se tiene sobre sus características hidráulicas e hidrológicas. En efecto, los aspectos cualitativos del funcionamiento hidráulico, pasado y presente, de la marisma son relativamente bien conocidos

mientras que es muy escasa la información disponible para cuantificar y analizar con rigor los diferentes fenómenos que condicionan dicho funcionamiento. Cabe señalar que son pobremente conocidos aspectos de tanto interés hidrológico como: relación altura de agua-superficie inundada, caudales entrantes y salientes, evaporación y evapotranspiración, evolución temporal y espacial de los niveles de agua, evolución temporal y espacial de las características físico-químicas del agua, análisis probabilístico de las aportaciones fluviales y de lluvia, microtopografía y su evolución temporal. Todos estos parámetros son precisos para poder hacer uso de las potentes herramientas (modelos numéricos) que el actual estado del conocimiento de la Hidrología pone a nuestra disposición para estudiar sistemas hidráulicos tan complejos como la marisma. De este modo se podría establecer de una forma precisa su balance hídrico (a lo largo de un año tipo y desviaciones esperables) y su hidrodinámica (vías preferentes de flujo, transporte de solutos, evolución temporal y espacial de la colmatación). Ello es del todo necesario para poder definir con rigor las actuaciones (obras y criterios de gestión) necesarias para garantizar la pervivencia de la marisma. De lo aquí expuesto no debe deducirse que la actual escasez de información recomiende paralizar toda actuación. Lo que si creemos de interés es que las diferentes iniciativas actualmente previstas se prioricen en el tiempo, de manera que

se lleven primero a la práctica aquellas que comporten menores actuaciones estructurales. De este modo observando la respuesta de la marisma podrán definirse con mayor seguridad las actuaciones con una incidencia en el territorio más importante. Ahora bien, tampoco la necesidad de tomar medidas con cierta urgencia debe de ser un obstáculo para priorizar ante todo las iniciativas que permitan mejorar el conocimiento de la marisma. En este sentido, a nuestro entender cabe enfatizar la gran responsabilidad que se adquiere al sustituir una "gestión y control hídrica" en manos de la naturaleza, por otra en la que interviene el hombre. Sólo es posible asumir este reto de una forma responsable si ello se realiza en base a un profundo conocimiento de los diferentes mecanismos que rigen el comportamiento hidráulico de la marisma.

Finalmente no debe ser olvidado que la marisma se encuentra en el extremo aguas abajo de las diferentes cuencas que le aportan el agua precisa para asegurar su funcionalidad y por tanto la cantidad y calidad de estos recursos hídricos estará condicionada por actividades y actuaciones que se realicen en territorios ajenos al parque pero pertenecientes a esas cuencas. Parece aconsejable, y quizás necesario, que en la definición y puesta en práctica de las actuaciones tendente a preservar la marisma se incorporen criterios que tengan en cuenta la ordenación territorial del entorno del parque. ●

BIBLIOGRAFIA

- **Aguilar, J.; C. Montes del Olmo, A. Torres** (1986). Parque Nacional de Doñana. Mapa ecológico. ICONA.
- **Baonza, E.; A. Plata, A. Silgado** (1984). Hidrología isotópica de las aguas subterráneas del Parque Nacional de Doñana y zona de influencia. CEDEX.
- **Bayan, B.; M. Delibes** (1986). Doñana, con el agua al cuello. Cauce 2000, nº 16.
- **Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos** (1977). Informe sobre los problemas del Parque Nacional de Doñana. Revista de Obras Públicas. Febrero 1977.
- **Dolz, J.; E. Velasco** (1990). Análisis cualitativo de la hidrología superficial de las cuencas vertientes a la marisma del Parque Nacional de Doñana. Escuela T.S. de Ing. de Caminos, Canales y Puertos. UPC. Barcelona.
- **IGME** (1983). Hidrogeología del Parque Nacional de Doñana y su entorno.
- **Marañón, T.; L.V. García, J.M. Murillo, L. Clemente** (1988). Las Marismas del Guadalquivir, reserva biogenética de plantas tolerantes a la salinidad. Symposium sobre salinización de aguas y suelos. Granada.
- **Velasco, E.; M. Sánchez, J. Dolz** (1991). Análisis de la Hidrología superficial de las cuencas vertientes a la marisma del Coto de Doñana. III Simposio sobre el agua en Andalucía. Córdoba.