ecosistemas REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE
Año XI, Nº1 / 2002
Enero - Abril

Investigación

Restauración ecológica de marismas de régimen mareal en el Estuario del Guadalquivir, Parque Natural de Doñana

Juan B. Gallego Fernández y Francisco García Novo
Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla. (http://www.us.es/bioeco)

Un ambicioso proyecto de restauración intenta recuperar un sector de las marismas del Guadalquivir que había sido desecado. El proyecto pretende restablecer los procesos y funciones ecológicas y promover la biodiversidad de organismos, construyendo para ello una gran variedad de hábitats. La restauración se ha realizado en cuatro fases: a) eliminación del material de dragado, b) restauración del flujo mareal, c) diversificación de hábitats, y d) aceleración puntual de procesos sucesionales. Se está llevando a cabo un programa de seguimiento, y los primeros resultados indican que la colonización animal y vegetal de la marisma restaurada está siendo muy rápida.

Introducción

Los humedales costeros en España han disminuido su superficie alrededor de un 60 % a lo largo del siglo XX (Casado y Montes 1995). Su desaparición o alteración se ha debido a la presión humana. Se han rellenado y desecado para transformación en tierras agrícolas y ganaderas, modificado para salinas y balsas de acuicultura o han sido convertidos en áreas industriales o urbanas. Desde final del siglo pasado, debido al cambio de sensibilidad en la sociedad se ha comenzado a valorar estos ecosistemas surgiendo un creciente interés por su conservación y recuperación. Si bien las actuaciones encaminadas a la restauración hasta ahora han sido escasas, se han abordado en numerosas zonas costeras del país como las marismas de Santoña, Urdaibai, Delta del Ebro, Marismas del Barbate, etc., siendo cada vez más numerosos los proyectos de restauración, aunque sólo unos pocos se han llevado a la práctica.

Las marismas del Río Guadalquivir hasta mediados del siglo XX se extendían sobre unas 136.000 ha en ambas márgenes. Desde 1795 se han realizado numerosas cortas en los brazos principales del Guadalquivir para facilitar la navegación (del Moral Ituarte 1991), y desde los años 40 y 60 del siglo pasado gran parte de la marisma ha sido transformada (González Arteaga 1993) para uso agrícola y ganadero, mediante la construcción de diques y sistemas de drenaje que evitasen la inundación, tanto por mareas como por cursos de agua tributarios. Actualmente, si bien el efecto de la marea penetra 108 km río arriba, el flujo mareal sobre la marisma ha sido restringido considerablemente por la construcción de diques, limitándose a una estrecha franja paralela al cauce principal. Las marismas mareales se limitan a los últimos 25 Km de río. Además de la reducción de superficie de marisma, desde los años 80 el volumen procedente de los dragados del canal de navegación del río se ha depositado sobre las orillas, destruyendo parcialmente 8 de los 15 Km de marisma mareal en la margen izquierda del estuario.

El interés por la restauración de estas marismas de la margen izquierda del Río Guadalquivir comenzó en 1993 promovido por el Ministerio de Medio Ambiente y el Departamento de Biología Vegetal y Ecología de la Universidad de Sevilla. Tras los primeros estudios se elaboró un proyecto de restauración (MMA

ecosistemas REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE
Año XI, Nº1 / 2002
Enero - Abril

1994) que contemplaba la restauración del flujo mareal en 600 ha de marisma. Debido a problemas surgidos entre el Estado y propietarios particulares por la titularidad de los terrenos el proyecto inicial fue abandonado. Tras la sentencia que reconoce la titularidad Pública de la banda externa de la marisma, el Ministerio de Medio Ambiente encargó en 1998 al Departamento de Biología Vegetal y Ecología de la Universidad de Sevilla el proyecto de restauración de 52 ha de marismas, cuyo desarrollo (1999-2000) y resultados durante el 2001 se exponen en este trabajo.

Impactos sobre las marismas mareales

Las Marismas de la Algaida se localizan en la margen izquierda del Río Guadalquivir y están incluidas en el Parque Natural de Doñana (**Figura 1**). Hasta los años 50 estas marismas permanecieron prácticamente inalteradas, si bien existen vestigios de salinas romanas. En la primera mitad del siglo XX se transformó una pequeña parte de la marisma mareal en salinas. En los años 1950 se construyó un dique paralelo al cauce principal de río para impedir la inundación de la marisma y posteriormente se procedió a la desecación de una considerable extensión de la misma para su puesta en cultivo y uso ganadero, incremento de la superficie de salinas y construcción de balsas de acuicultura. En los años 80 se realizaron los rellenos con dragados del río. Como consecuencia de éstas actuaciones, durante los últimos 50 años ha desaparecido el 60% de las Marismas de la Algaida (MMA 1994).

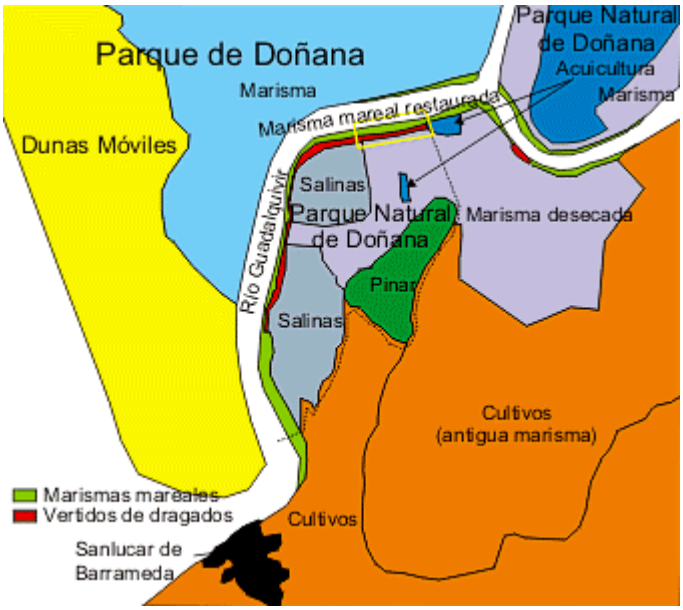

Figura 1. Mapa general de Doñana

El área de marisma mareal restaurada comprende 52 ha, ocupando una banda paralela al río de unos 250 m de anchura y 2 Km de longitud (**Figura 2**). Originalmente, la marisma mareal se extendía entre 300 y 400 m hacia el interior hasta el dique construido en los años 1950. A mediados de los 80 se construyó un dique en la orilla del río, paralelo al ya existente, y se vertieron arenas y limos procedentes del dragado, quedando los suelos de la marisma sepultados entre 0.5 y 2.8 m de profundidad. En 14 años, sobre los vertidos se han desarrollado pastizales y bosquetes abiertos de *Tamarix canariensis*, siendo el uso de la zona ganadero hasta la restauración.

Figura 2. Situación antes de la restauración

Objetivos de la restauración

El objetivo principal de la restauración ha sido restablecer los procesos y funciones ecológicas y las interacciones bióticas y abióticas, de tal manera que permitan el mantenimiento de un ecosistema

autosuficiente integrado en el territorio (*Society of Wetland Scientists* 2000). El segundo objetivo ha sido promover la biodiversidad de organismos construyendo para ello una gran variedad de hábitats. Este proyecto pretende llevar a cabo investigaciones a largo plazo para evaluar y documentar los valores estructurales y funcionales de la marisma mareal restaurada, comparándola con marismas naturales de referencia que puedan dar guías para la restauración de otras áreas en el Estuario del Guadalquivir.

La restauración se ha realizado en cuatro fases: a) eliminación del material de dragado, b) restauración del flujo mareal, c) diversificación de hábitats, y d) aceleración puntual de procesos sucesionales.

Eliminación de vertidos y restauración del flujo mareal

En septiembre de 1999 se eliminó el material de relleno de la superficie de la marisma, manteniendo los diques internos y externos. Se retiraron unos 600.000 m^3 de material que, por su carácter arenoso, se emplearon para la mejora de la textura de suelos agrícolas. Se alcanzó el nivel original de marisma, de forma que la zona podría ser inundada por las mareas alcanzando profundidades máximas que oscilan entre 0.66 y 1.26 cm. El resto de las labores de restauración se realizaron entre Mayo y Noviembre de 2000.

Para permitir la entrada de las mareas se excavaron canales de comunicación con el estuario. Se establecieron dos zonas, separadas por un dique (**Figura 3**), con diferente diseño de actuaciones:

<u>Zona Norte</u>

Se han construido dos canales de comunicación con el río, de 11 m de anchura y cota mínima a 103 cm sobre el nivel de marea baja escorada. En el interior de la marisma restaurada se han construido 2060 m de canales, que recorren toda el área, con las mismas características que los canales de comunicación con el río.

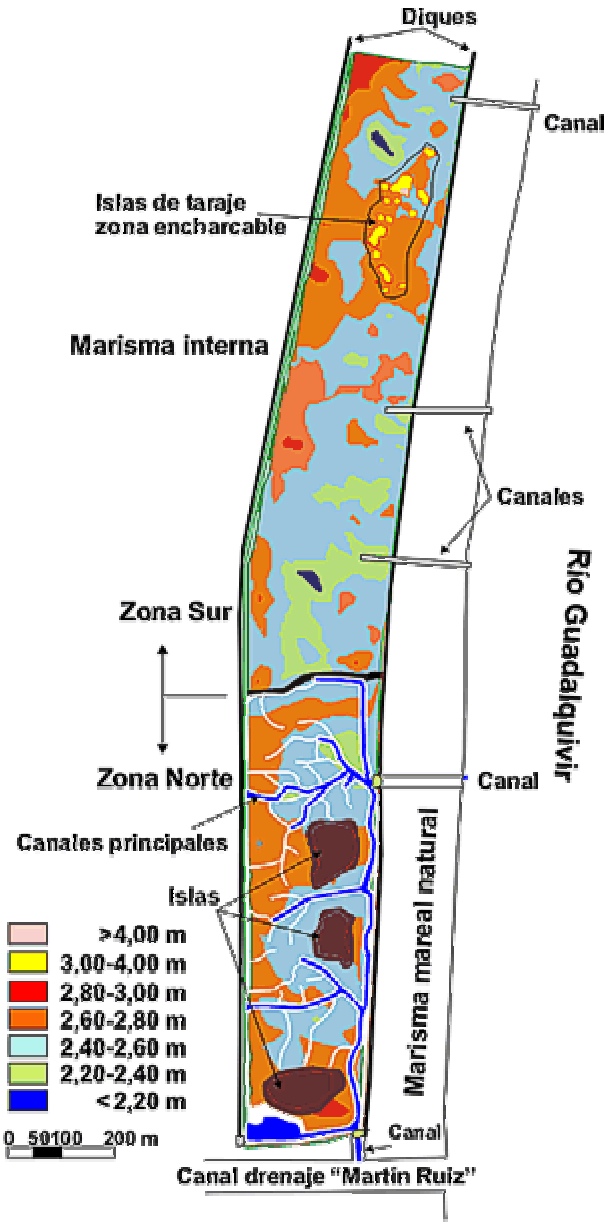

Figura 3. Actuaciones en la marisma

Uno de los criterios de diseño consistió en que la zona restaurada debía mantener agua libre en los canales en todo momento, para permitir el establecimiento de comunidades acuáticas permanentes. Para ello, en los canales de comunicación con el río se construyeron unos azudes de grava gruesa suelta a una cota que mantuviera en los canales una profundidad de agua de 130 cm. De esta forma, se estableció un sistema de regulación pasivo del flujo mareal que sólo permite la entrada de agua en la zona restaurada con mareas que sobrepasen la altura del azud. Esta situación se da en el 67% de las pleamares del año. El diseño hidráulico se validó mediante a) un análisis de la frecuencia de superación de niveles mareales sobre las cotas de los diques, y b) un análisis del funcionamiento hidráulico del sistema frente a mareas extremas mediante simulación (Ayesa

2000). El volumen de agua permanente en la zona norte es de unos 30.000 m^3, pudiendo llegar a alcanzarse los 200.000 m^3 de agua en el interior del área restaurada en los periodos de pleamar máxima anual.

Zona Sur

Se han construido tres canales de comunicación con el río, de 3 m de anchura y cota mínima a 210 cm sobre el nivel de marea baja escorada. En el interior de la zona restaurada se han continuado los canales con una longitud de 20, 50 y 100 m. El objetivo es que en esta zona el flujo y reflujo de la marea excave una red de drenaje de forma natural. En esta zona el agua entra en la zona restaurada en el 98% de las pleamares del año, si bien la superficie inundada es menor que en la zona Norte debido al menor caudal de agua que puede entrar a través de los canales.

Diversificación de hábitats

En la restauración de las marismas mareales de la Algaida uno de los objetivos principales ha sido favorecer a un amplio espectro de organismos. Para ello se ha procurado diversificar en lo posible los hábitats característicos de estos ecosistemas. Con el objetivo de minimizar costes y maximizar la probabilidad de éxito, la restauración del componente natural de la marisma se ha realizado siguiendo la opción del *self-design* (Mitsch 2000) o restauración por colonización natural. La zona en restauración se encuentra bien comunicada con el estuario y otras áreas de marisma para permitir el aporte de propágulos, juveniles, y reproductores de distintas especies.

La hidrología ha sido el factor principal que determina la zonación de especies animales y vegetales y otras características biológicas y físicas del área restaurada (Broome & Craft 2000). La zonación se ha obtenido mediante variaciones en altura y pendiente de la superficie lo que, junto con el régimen mareal, ha determinado la extensión de la zona intermareal, y la profundidad y duración de la inundación.

Los objetivos perseguidos en la zona intermareal ha sido crear un amplio gradiente de niveles de inundación (y salinidad) para el establecimiento de diferentes comunidades de plantas y macroinvertebrados y fauna del suelo, siendo estos últimos un recurso esencial para el mantenimiento de comunidades de aves acuáticas, principalmente limícolas. Con el fin de incrementar la variabilidad de ambientes, también se han introducido de forma puntual diferentes tipos de sustrato (arenas y gravas).

En la zona Norte la zona intermareal ocupa unas 17 ha, 75.3% de la superficie total. La variación topográfica permite la diferenciación entre marisma alta (6 ha), con bajos niveles de inundación poco frecuentes (en pleamares de 3 días, cada 15 días); marisma media (7 ha), con frecuencia y niveles de inundación intermedios (en pleamares de 7 días, cada 7 días) y marisma baja (4 ha), con alta frecuencia y niveles de inundación (en pleamares de 10 días, cada 5 días). No existe entrada de marea en 2 períodos de 5 días al mes. Los 2.060 m de canales interiores constituyen un hábitat de aguas libres permanentes, ocupando 3 ha (13.7 % de la superficie total). Estas zonas constituyen un hábitat adecuado para plantas acuáticas y peces, proporcionando además una fuente de recursos alimenticios para garzas, garcetas, cormoranes, anátidas, golondrinas de mar, etc. Con el material obtenido en la excavación de los canales se han construido 3 islas de 9.580, 8.784 y 5.924 m^2 de superficie (11% de la superficie de la zona Norte). En dos de las islas se ha optado por la introducción de propágulos de especies, principalmente de plantas, recubriéndolas con un suelo arenoso de 10 cm de profundidad procedente de los primeros centímetros de perfiles de suelo cercanos, que contenían el banco de semillas de especies herbáceas, además de insectos y otros invertebrados. Estas zonas libres de inundación, permiten el asentamiento de comunidades plenamente terrestres, además de servir como áreas de cría para algunas especies de aves.

En la Zona Sur, de 30 ha, el 95% de la superficie corresponde con marisma intermareal, zonificada igualmente en Marisma Baja (20%), Marisma media (20%) y Marisma alta (55%). La frecuencia y niveles de inundación son menores que en la Zona Norte. El 5% restante se corresponde con un conjunto de islas con *Tamarix canariensis* y pastizal desarrollados sobre material arenoso de relleno que no se eliminó. Este conjunto de 17 islas se encuentra rodeado por un muro que impide la inundación del interior por agua de marea, y que sólo se inunda con agua de lluvia durante la estación húmeda. Este diseño permite el mantener durante largos períodos al año un hábitat de agua dulce.

Para favorecer la presencia de aves, se han colocado además 5 troncos de árboles muertos repartidos en las 52 ha de marisma en restauración. Estos troncos actúan de posaderos para aves, principalmente rapaces y ardeidas.

Seguimiento de la restauración

El tercer objetivo específico del proceso de restauración consiste en llevar a cabo investigaciones a largo plazo para evaluar y documentar los valores estructurales y funcionales de la marisma mareal restaurada y comparar los resultados con marismas naturales de referencia. Para ello se ha establecido un programa de seguimiento, parte del cual comenzó desde el mismo instante en que se integró la zona restaurada en el flujo de mareas del estuario. Este programa contempla:

i. seguimiento y control de la infraestructura construida, canales, diques, y sistema de regulación del flujo de marea en la zona Norte, y seguimiento de las tasas de sedimentación que se produzcan en el interior de la marisma restaurada;

ii. seguimiento de frecuencias de inundación, caudales, velocidad de la corriente, con objeto de elaborar un modelo numérico de flujo de marea en la marisma restaurada;

iii. seguimiento de parámetros físicos, químicos y biológicos del agua en las zonas de aguas libres (canales) y áreas inundables, comparándolo con las características del agua procedente de las mareas;

iv. seguimiento de la colonización y sucesión vegetal en los diferentes hábitats (producción primaria, riqueza y diversidad de especies); y

v. utilización por la fauna de los diferentes hábitats.

En los 12 meses que lleva funcionando la restauración se ha podido comprobar la estabilidad de canales y diques, incluso en un período de grandes avenidas del río que hicieron temer por la eficacia y resistencia de la infraestructura construida. El flujo mareal se ajusta al modelo numérico desarrollado en el diseño de la restauración, asegurando la inundación periódica de la marisma y facilitando su desarrollo (**Fotos 4 y 5**).

ecosistemas REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE
Año XI, Nº1 / 2002
Enero - Abril

Fotos 4 y 5. El flujo mareal ajustado asegura la inundación periódica de la marisma

La revegetación de la marisma ha sido muy rápida, con la colonización de especies características de marismas mareales y no mareales. Dominan la anual *Salicornia europaea* y las perennes *Sarcocornia perennis* subsp. *perennis* y subsp. *alpini* y *Spartina densiflora*. Esta última especie es un neófito americano muy abundante en las marismas mareales del entorno (Tutin *et al.* 1983). Otras especies colonizadoras son *Suaeda vera*, *Atriplex prostrata*, *Salsola soda*, *Halimione portulacoides*, *Mesembrianthemum coronarium* y *Spergularia salina*, entre otras, también aparecen. Estas especies se han distribuido con diferente cobertura y densidad en tres zonas de vegetación correspondientes a marismas alta-media y baja, existiendo una mayor diversidad en la alta y menor en la baja.

La utilización de la marisma restaurada por la fauna fue inmediata tras la primera inundación con las aguas del estuario. Peces en los canales interiores y aves en toda la marisma han sido los primeros grupos de organismos en utilizar el área como fuente de recursos y refugio. Se han efectuado censos mensuales de aves a lo largo de todo el proceso de restauración y hasta la actualidad. El número de especies e individuos registrados se ha incrementado a lo largo del tiempo, habiéndose registrado un total de 73 especies hasta el momento, si bien el número final, dadas las características del entorno, puede situarse alrededor de 200 especies.

En las zonas de marisma baja y media abundan limícolas como correlimos común, archibebe común y claro, chorlitejo chico grande y patinegro, chorlito gris, agujas, etc. En las zonas de aguas someras abundan las avocetas, cigueñuelas, espátulas, flamencos, cigüeña blanca, ánade real, pato colorado, porrón europeo, silbón. En los canales interiores aparecen garza real e imperial, garceta, cormoranes, ocasionalmente garceta grande y diversas especies de charranes. Sobrevolando toda la zona aparecen aguilucho lagunero y milano negro y real. Incluso se han visto 3 águilas pescadoras a lo largo de todo el año. Las águilas pescan en los canales restaurados y utilizan las perchas como punto de alimentación y descanso. Esta especie está en peligro de extinción en la Península Ibérica debido a la pérdida de hábitats.

Referencias

AYESA 2000. *Estudio de verificación del diseño hidráulico del proyecto de recuperación de la marisma de la Algaida*. Sevilla.

Broome, S.W. & Craft, C.B. 2000. Tidal salt marsh restoration, creation, and mitigation. In: *Agronomy Monograph* nº41. Reclamation of drastically disturbed lands. Pp. 939-959. Madison.

González Arteaga, J. 1993. *Las marismas del Guadalquivir: etapas de su aprovechamiento económico*. Editor Antonio Cuevas. Puebla del Río, Sevilla.

Hey, D.L. & Philippi, N.S. 1999. *A case for wetland restoration*. John Wiley & Sons, Chichester.

Mitsch, W.J. 2000. Self-design applied to coastal restoration. An application of ecological engineering. Pp: 554-564. In: Weinstein, M.P. and Kreeger D.A.(eds.) *Concepts and controversies in tidal marsh ecology*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.

MMA. 1984. *Recuperación de las Marismas de la Algaida*. Asistencia Técnica para el Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

Moral Ituarte, L. 1991. *La obra hidráulica en la cuenca baja del Guadalquivir (siglos XVIII-XX). Gestión del agua y organización del territorio*. Junta de Andalucía y Universidad de Sevilla.

Society of Wetland Scientist. 2000. *Position Paper on the definition of wetland restoration*. http://www.sws.org/wetlandconcerns/restoration.pdf

Tutin, M.G.; Heywood, U.H.; Burgues, N.A.; Moore, D.M.; Valentine, D.H.; Walters, S.M. & Weebb, D.A. 1993. *Flora Europaea*. Cambridge University Press.