

# Restauración ecológica de marismas costeras en el Golfo de Cádiz

G. Curado <sup>1,\*</sup>

(1) Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla, Ap. 1095, 41080 Sevilla, España.

\* Autor de correspondencia: G. Curado [guillermocurado@us.es]

> Recibido el 19 de junio de 2012, aceptado el 28 de junio de 2012

Curado, G. (2013). Restauración ecológica de marismas costeras en el Golfo de Cádiz. *Ecosistemas* 22(1):86-88.  
Doi.: 10.7818/ECOS.2013.22-1.19

Las áreas costeras se encuentran altamente afectadas por la degradación ambiental en todo el mundo (Mitsch 2010). Por ello, se han realizado muchos esfuerzos para la restauración de dichas áreas como un método alternativo para mitigar la pérdida de superficies marismas (Velásquez 1992; Masero et al. 1999; Mitsch 2010).

Una vez que los proyectos de restauración se han llevado a cabo, la realización de un seguimiento ambiental para valorar el éxito de la restauración resulta clave. Este trabajo de tesis doctoral mostró los efectos de la restauración de marismas costeras europeas empleando la 'hierba salada', *Spartina maritima* (Curtis) Fernald, la 'sosa de las salinas', *Sarcocornia perennis* (Mill.) A. J. Scott ssp. *perennis*, y la 'seda de mar' *Zostera noltii* Hornem. El objetivo general fue evaluar la evolución de la restauración de marismas costeras desde diferentes perspectivas ecológicas.

Los trabajos de campo fueron realizados en 1) unas marismas restauradas en la ría del Odiel (Huelva), proyecto pionero llevado a cabo en un área gestionada por la Autoridad Portuaria de Huelva (Castillo y Figueroa 2009); 2) unas marismas adyacentes no restauradas e invadidas por la especie sudamericana *Spartina densiflora* Brongn. y 3) marismas de referencia en buen estado de conservación incluidas las dos últimas en el Paraje Natural Marismas del Odiel (Suroeste de la Península Ibérica).

## Evolución de las plantaciones: reservas de nutrientes y metales

Las plantaciones de *S. maritima* y *S. perennis* alcanzaron en 2.5 años coberturas similares a las marismas de referencia, reproduciendo fielmente el patrón de zonación vegetal típico del Golfo de Cádiz. Las trasplantes piloto de *Z. noltii* incrementaron su cobertura y se expandieron activamente mediante semillas. Por otro lado, la biomasa aérea se desarrolló hasta alcanzar valores similares a marismas naturales mientras que la biomasa subterránea no se desarrolló completamente en más de 2 años en comparación con poblaciones naturales maduras.

En cuanto a la captación de nutrientes, *S. maritima* actuó como un importante sumidero de carbono dada su elevada productividad,

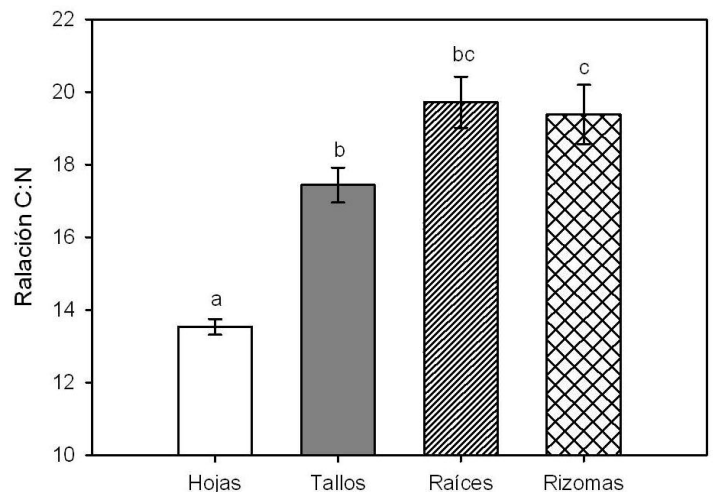


Figura 1. Relación C: N en las distintas estructuras vegetales de *Spartina maritima* en marismas portuarias restauradas en las marismas del Odiel en verano de 2008 (N = 10). Letras diferentes indican diferencias significativas entre estructuras vegetales.

con una concentración de carbono en todos sus tejidos cercana al 40%. *Sarcocornia perennis* resultó más ineficaz como sumidero de carbono, oscilando su concentración entre 20-30 %. Ambas halófitas acumularon entre 700 y 800 g C m<sup>-2</sup> en su biomasa. En el caso del nitrógeno, las plantas de *S. maritima* mostraron una gran concentración en comparación con otras poblaciones en otros estuarios y con respecto a *S. perennis*, sobre todo en sus tejidos aéreos (ca. 3 % N), presentando baja relación C:N (Fig. 1). Así, *S. maritima* contribuyó a la reducción de la eutrofización de las aguas estuarias mediante la captación de nitrógeno. Ambas halófitas acumularon ca. 50-60 g N m<sup>-2</sup> en su biomasa.

En el caso de la concentración de metales (Al, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Fe, Pb y Zn), los tejidos que más concentraron fueron las raíces de ambas halófitas. La mayoría de los metales estuvieron más concentrados en *S. perennis* que en *S. maritima*, acumulando hasta 15 veces más contenido en metales por metro cuadrado.

Por tanto, *S. perennis* funcionó como una buena herramienta fito-extractora.

No obstante, el verdadero reservorio de nutrientes y metales se encontró en los sedimentos de las marismas restauradas, aunque aún no estaban saturados de carbono y nitrógeno en comparación con marismas naturales ( $11 - 16 \text{ mg C g}^{-1}$ ;  $1.6 - 2.1 \text{ mg N g}^{-1}$ ). En el caso de los metales, las plantaciones de *S. maritima* concentraron hasta  $1430 \text{ tm}$  de metales en los primeros  $20 \text{ cm}$  de sedimentos en las  $8.37 \text{ ha}$  que fueron plantadas, mostrando una gran capacidad estabilizadora.

Por otro lado, *S. maritima* mostró una rápida tasa de descomposición (especialmente de las hojas), contribuyendo al incremento del contenido en materia orgánica del sedimento. El incremento de materia orgánica en los sedimentos favorece la biodiversidad y abundancia de diferentes especies de macroinvertebrados (Sacco et al. 1994) que, a su vez, favorecen a la comunidad de aves (Sánchez, 2005). Al mismo tiempo, *S. maritima* estructuró el ecosistema facilitando el desarrollo de la sucesión ecológica a través de la colonización de *S. perennis* (Castellanos et al. 1994; Figueroa et al. 2003).

La activación de diferentes procesos ecológicos así como flujos de materia y energía, puestos en marcha gracias a las plantaciones realizadas en las marismas restauradas, ponen de relieve la recuperación de algunas de las funciones y servicios ecológicos perdidos en áreas degradadas.

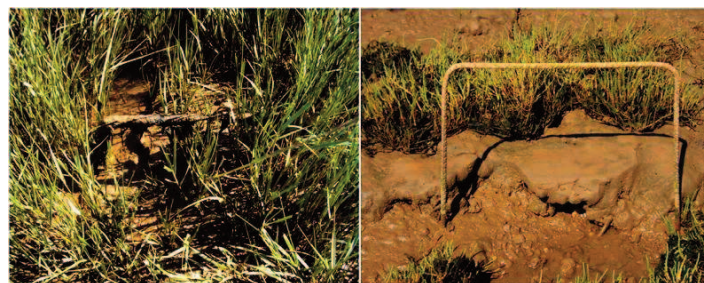
## Bioingeniería mediante plantaciones de *Spartina maritima*

Las especies del género *Spartina* son una alternativa de ingeniería ecológica relativamente barata y viable para mejorar la calidad ambiental mientras se estabilizan los sedimentos. Por ello, en esta tesis doctoral cuantificamos la dinámica vertical del sedimento a lo largo del gradiente mareal en las tres áreas estudiadas.

La dinámica de sedimentación fue independiente de la elevación de la marisma, dependiendo principalmente de la cobertura vegetal. La sedimentación dominó en las zonas de *S. maritima* (tasa media de acreción entre  $+10$  y  $+27 \text{ mm año}^{-1}$ ) mientras que en planicies intermareales desnudas se registró generalmente erosión neta (Fig. 2). Las extensas plantaciones de *S. maritima*, con cobertura relativa de  $62 \%$ , se comportaron de manera similar a las marismas naturales conservadas después de 2 años, siendo una herramienta útil para estabilizar áreas erosivas en marismas europeas. Dichas plantaciones redujeron la erosión e incrementaron la acreción, muy importante en el actual contexto de cambio climático dado que están aumentando las pérdidas de superficies marismas debido a la subida del nivel de mar.

## Estado de las comunidades de aves y macroinvertebrados

En total se registraron 60 especies animales en las marismas restauradas (34 de aves y 26 de macroinvertebrados). Entre estas, 8 especies de aves protegidas: el chorlito negro (*Charadrius alexandrinus*), el águila pescadora (*Pandion haliaetus*), el charrancito (*Sterna albifrons*), la espátula (*Platalea leucorodia*), el cormorán moñudo (*Phalacrocorax aristotelis*), el aguilucho lagunero (*Circus aeruginosus*), el zarapito real (*Numenius arquata*), la aguja colinegra (*Limosa limosa*) y el Martín pescador (*Alcedo atthis*) se alimentaban en las marismas restauradas. El mantenimiento de una comunidad de aves saludable implica a su vez mejoras en las relaciones ecológicas entre diferentes localizaciones, dado que la población local de invertebrados y plantas parecen ser parcialmente sostenidas por la dispersión de las aves entre poblaciones (Amézaga et al. 2002). La mayoría de las especies de aves registradas en las marismas pertenecieron a las familias Charadriidae, Scolopacidae, Laridae y Sternidae. La diversidad ecológica ( $H'$ ) de la comunidad de aves varió entre 1.13 y 1.77. Durante las bajamareas,



**Figura 2.** Marcadores de erosión/sedimentación en áreas colonizadas por *Spartina maritima* con predominio de acreción (izquierda) y en áreas con escasa cobertura vegetal y signos erosivos evidentes (derecha). Los marcadores fueron ubicados inicialmente en zonas sin signos de erosión.

las marismas restauradas mostraron mayor  $H'$  y equitatividad ( $J$ ) y menor dominancia ( $D$ ) en la comunidad de aves que las marismas no restauradas.

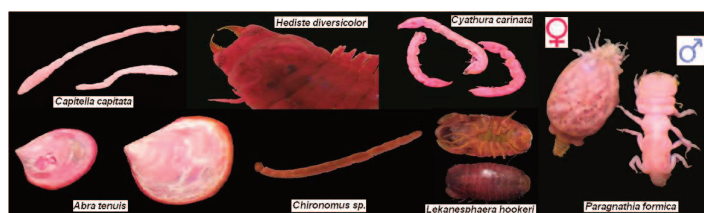
La comunidad de macroinvertebrados en las marismas restauradas 3 años después de las plantaciones alcanzó valores similares de diversidad ecológica, e incluso mayores de riqueza específica, que las marismas preservadas (Tabla 1), aunque con diferencias en la composición de especies. Las marismas no restauradas invadidas por *S. densiflora* mostraron la menor diversidad. La abundancia total y biomasa de macroinvertebrados no difirieron entre las marismas restauradas y preservadas, siendo en ambas mayores que en las marismas no restauradas. Nuestros resultados muestran que la restauración de marismas costeras usando *S. maritima* incrementa la complejidad y la abundancia de la comunidad bentónica de macroinvertebrados (Fig. 3).

En resumen, este trabajo muestra los beneficios de los proyectos de restauración ecológica de marismas costeras basados en plantaciones de las especies nativas *S. maritima* y *S. perennis* que combaten las pérdidas de superficies marismas y su degradación. Además, este tipo de restauración mejora los servicios del ecosistema, la diversidad de plantas y animales, así como la calidad ambiental de las marismas y las relaciones ecológicas en este ecosistema amenazado y protegido por la directiva hábitat (92/43/CEE) (Fig. 4).

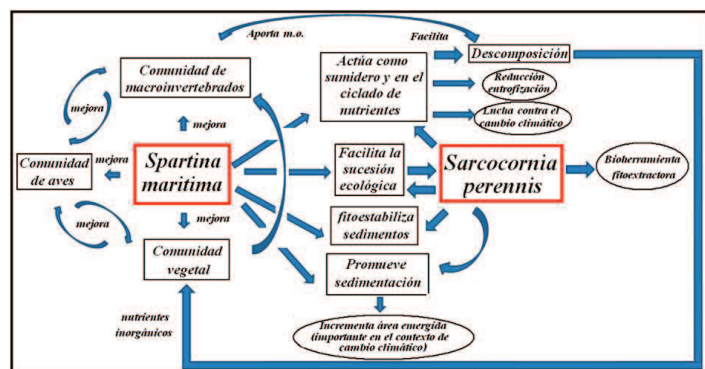
**Tabla 1.** Riqueza específica total ( $S_{total}$ ), número medio de especies por muestra ( $S_{media}$ ) y número medio de individuos por muestra ( $N_{media}$ ) en la comunidad de macroinvertebrados en tres zonas marismas en las Marismas del Odiel

Área	$S_{total}$	$S_{media}$	$N_{media}$
Marismas Restauradas	26	$5.6 \pm 0.4^a$	$45.5 \pm 6.16^{ab}$
Marismas No Restauradas	18	$3.6 \pm 0.5^b$	$26.6 \pm 4.9^a$
Marismas Preservadas	23	$6.1 \pm 0.5^a$	$47.5 \pm 6.5^b$

Letras diferentes indican diferencias significativas entre áreas (ANOVA o Kruskal-Wallis,  $p < 0.05$ ) ( $N = 15-26$ ).



**Figura 3.** Fotografías de algunas de las especies de macroinvertebrados más abundantes en las Marismas del Odiel teñidas con Rosa de Bengala. A la derecha, se muestran el dimorfismo sexual del isópodo *Paragnathia formica* (véase las crías en el abdomen de la hembra).



**Figura 4.** Esquema de las relaciones abióticas y bióticas derivadas de las plantaciones de *Spartina maritima* y *Sarcocornia perennis* en las Marismas del Odiel.

## Referencias

Amezaga, J.M., Santamaría, L., Green, A.J. 2002. Biotic wetland connectivity supporting a new approach for wetland policy. *Acta Oecologica* 23:213-222.

Castellanos, E.M., Figueroa, M. E., Davy, A. J. 1994. Nucleation and facilitation in saltmarsh succession: interactions between *Spartina maritima* and *Arthrocnemum perenne*. *Journal of Ecology* 82:239-248.

Castillo, J.M., Figueroa, E. 2009. Restoring Salt Marshes Using Small Cordgrass, *Spartina maritima*. *Restoration Ecology* 17:324-326.

Figueroa, M.E., Castillo, J.M., Redondo, S., Luque, T., Castellanos, E.M., Nieva, F.J., Luque, C.J., Rubio-Casal, A.E., Davy, A.J. 2003. Facilitated Invasion by Hybridization of *Sarcocornia* Species in a Salt-Marsh Succession. *Journal of Ecology* 91:616-626.

Masero, J. A., Pérez-González, M., Basadre, M., Otero-Saavedra, M. 1999. Food supply for waders (Aves: Charadrii) in an estuarine area in the Bay of Cádiz (SW Iberian Peninsula). *Acta Oecologica* 20:429-434.

Mitsch, W.J. 2010. Conservation, restoration and creation of wetlands: a global perspective, pp. 175-187; En: Comín F.A., (eds.), *Ecological Restoration: A Global Challenge*. Cambridge University Press, Cambridge. UK.

Sacco, J.N., Seneca, E.D., Wentworth, T.R. 1994. Infaunal community development of artificially established salt marshes in North Carolina. *Estuaries* 17:489-500.

Sánchez, M. 2005. *Relaciones ecológicas entre limícolas e invertebrados en las salinas de las marismas del Odiel*. Tesis doctoral, Universidad de Huelva-Estación Biológica de Doñana, España.

Velásquez, C.R. 1992. Managing artificial salt pans as a waterbirds habitat: species responses to water level manipulation. *Colonial Waterbirds* 15:43-55.

### GUILLERMO CURADO

#### Restauración ecológica de marismas costeras en el Golfo de Cádiz

Tesis doctoral.

Area de Ecología, departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla.

Abril 2012

Dirección: Jesús M. Castillo, Alfredo E. Rubio Casal y Enrique Figueroa.