



## 6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

---

6CFE01-026

---

Montes: Servicios y desarrollo rural  
10-14 junio 2013  
Vitoria-Gasteiz



---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013  
ISBN: 978-84-937964-9-5  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Supervivencia de la vegetación halohidrófila a episodios extremos de inundación: el almajar de la marisma de Doñana en el año hidrológico 2009-10

GARCÍA VIÑAS, J. I.<sup>1</sup>, GASTÓN, A.<sup>1</sup>, ROBREDO SÁNCHEZ, J.C.<sup>2</sup>, HUELIN RUEDA, P.<sup>2</sup>, DE GONZALO ARANOA, C.<sup>2</sup> y MINTEGUI AGUIRRE, J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación Ecogesfor de la Universidad Politécnica de Madrid

<sup>2</sup> U. Hidráulica e Hidrología, Dto Ingeniería Forestal, ETSI Montes de la Universidad Politécnica de Madrid

### Resumen

La vegetación de las zonas húmedas es habitualmente estudiada en relación a sus condiciones medias de inundación pero pocas veces en relación a episodios extremos. Dentro de éstos uno de los menos conocidos son efectos de la inundación excesiva en plantas leñosas.

La vegetación halohidrófila de la marisma del Parque Nacional de Doñana sufrió durante el año hidrológico 2009-10 un episodio de inundación extrema que causó una extensa mortandad en el almajar (agrupación vegetal de *Arthrocnemum macrostachyum*) que es analizada en esta comunicación.

Se presentan un estudio del efecto dicho episodio en el almajo. Se basa en un muestreo de 106 puntos, de cotas obtenidas mediante GPS diferencial y una traslación del hidropereodo de las estaciones de seguimiento de medición de la altura diaria de agua del Parque, en los que se tomaron datos de talla y supervivencia almajos. Se empleó un análisis de regresión logística que permitió generar unas curvas de supervivencia según relaciones tiempo-altura de inundación en las plantas y se realizó un comparación con los niveles medios de inundación de dicha agrupación vegetal.

### Palabras clave

Inundación, episodio extremo, *Arthrocnemum macrostachyum*, mortalidad

### 1. Introducción

La marisma del Parque Nacional de Doñana (PND) es una zona húmeda que se extiende por casi 30.000 ha junto al margen derecho del río Guadalquivir.

Su relieve es extraordinariamente suave, con un intervalo de cotas que apenas supera los 2 m, dentro del cual se sitúan unas unidades geomorfológicas como pequeñas cubetas (lucios), someros cauces (caños), zonas más elevadas (paciles) e intercalaciones de elevaciones arenosas de paleobordes de costa (vetas). El conjunto se encuentra rodeado en su borde occidental por arenas de oriente eólico, al norte principalmente por un muro de tierra (muro de la FAO) sobre una antigua zona de marisma, al este por un muro de tierra paralelo al Brazo de la Torre y al sur por un muro de tierra que sobreeleva el levé natural del río Guadalquivir. En los años húmedos la lámina de agua queda prácticamente confinada por estos elementos que la rodean.

Los suelos son de textura limoso-arcillosa y salinidad variable principalmente según cota y latitud (GARCÍA VIÑAS et al., 2005b) entre los que se encuentran intercalaciones de arenosos en las mencionadas vetas.

La cubierta vegetal se encuentra formada tanto por agrupaciones vegetales dominadas por especies perennes como anuales con especies dominantes diferentes según el patrón de textura y de salinidad. La vegetación perenne sobre suelos limoso-arcillosos está constituida por diferentes agrupaciones vegetales según los Tipos Glicohidrófilo (sobre suelos con hidromorfía variable y no salinos) y Halohidrófilo (sobre suelos con hidromorfía variable y suelos salinos) que se muestran de forma sintética en la tabla 1. La vegetación anual sobre suelos limoso-arcillosos varía desde formas estrictamente acuática (*Ruppia drepanensis* o *Potamogeton pectinatum*) pasando por anfibias (*Ranunculus peltatus*) hasta terrestre sobre suelos no encharcados pero muy húmedos sin carácter nitrófilo (*Salicornia ramosissima*) o con carácter nitrófilo (*Salsola soda* y *Suaeda splendens*).

Tabla 1. Tipos de vegetación en las zonas limoso-arcillosas y agrupaciones vegetales dominadas por especies perennes

Tipo	Agrupación vegetal y especies dominantes
Glicohidrófila	Castañuelar dulce ( <i>Bosboschoenus glaucus</i> )
	Junquillar ( <i>Eleocharis palustris</i> )
	Bayuncar dulce ( <i>Schoenoplectus lacustris</i> )
Halohidrófila	Almajar fino ( <i>Suaeda vera</i> y <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> )
	Almajar (agrupación de <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> )
	Almajar mixto ( <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> y <i>Juncus subulatus</i> )
	Castañuelar halófilo ( <i>Bosboschoenus maritimus</i> )
	Bayuncar halófilo ( <i>Shoenoplectus litoralis</i> )

Los procesos de dinámica vegetal están condicionados por dos factores principales los hidroperiodos o variaciones espacio-temporal intraanual de la lámina de agua y su secuencia interanual (GARCÍA VIÑAS et al., 2005a) y la acción del ganado que sigue pastando desde la antigüedad.

## 2. Los hidroperiodos

A pesar del nombre de “marisma” ésta se encuentra desde hace decenas de años prácticamente desconectada de la influencia mareal y su lámina de agua depende fundamentalmente del régimen hidrológico de los cauces tributarios y de la evapotranspiración. A la marisma vierten a través de distintos puntos un conjunto de arroyos y caños con un patrón espacio-temporal complejo. Como resultado de estos aportes se crea una lámina de agua que presenta dos aspectos principales, una variación intraanual o hidroperiodo (figura 1, izquierda), típicamente con la alternancia de un periodo húmedo (diciembre-enero a mayo-junio) y un periodo seco, de duraciones complementarias y variable según la cota y una variación interanual (figura 1, derecha), con años desde muy húmedos (por ejemplo, 2000-01 y 2003-04) hasta los completamente secos (por ejemplo, 2004-05).

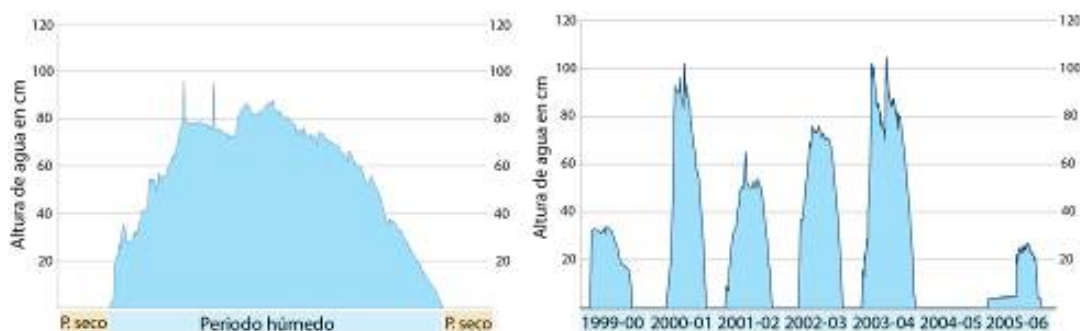


Figura 1. A la izquierda variación intraanual del calado de agua. Hidroperiodo del año 2006-07 en la Escala E28 del paraje lucio del Rey, con un periodo húmedo de 257 días con lámina de agua y un periodo seco de 107 sin lámina de agua. A la derecha Variación interanual del calado de agua. Hidroperiodos en la Escala 28 situada en el paraje lucio del Rey, para los años hidrológicos entre 1999-00 y 2005-06.

Durante el periodo húmedo típico el agua que entra por los cauces se va extendiendo progresivamente desde las áreas de cotas más bajas hacia las de cotas más altas. La lámina queda confinada primero entre los suaves accidentes del relieve y en los años húmedos llega a formar una extensa y continua superficie entre la que emergen las zonas de cotas más altas (los paciles y las vetas). Posteriormente, a medida que se acerca el periodo estival, debido principalmente a la evaporación, el calado de agua va descendiendo hasta desaparecer de las cotas más bajas. Este proceso crea un gradiente de características hídricas que condiciona la presencia de una específica cliserie de comunidades de vegetación perenne (figura 2).



Figura 2. Cliserie altitudinal de la vegetación halohidrófila de la marisma del Parque Nacional de Doñana

En dicha cliserie, en las zonas altas, entre la cota 1,582 y 1,837 m, con lámina de agua entre 36 y 83 días y suelos salinos domina principalmente el almajar (GARCIA VIÑAS et al. 2004b; GARCÍA VIÑAS et al. 2005b). En este tipo de comunidad, con un calado medio de 12,8 cm, las matas están sumergidas entorno a menos de un tercio de su talla. Cuando se retira la lámina de agua, a comienzos de primavera, con el suelo todavía húmedo, proliferan multitud de anuales como *Bupleurum semicompositum*, *Coronopus squamatus*, *Spergularia nicaeensis*, *Melilotus sulcatus*, *Medicago minima*, *Plantago coronopus*, *Hordeum marinum*, *Phalaris paradoxa*, *Pucinellia fasciculata*, *Rostraria phleoides*, etc. Es una agrupación vegetal de gran interés para la fauna, especialmente de macroherbívoros, tanto por sus recursos alimenticios, como de tránsito y como zona de nidificación de determinada avifauna.

El patrón interanual, con oscilaciones que varían entre años secos, con prácticamente ausencia de lámina de agua y años muy húmedos, condiciona típicamente la presencia y distribución de especies y comunidades vegetales anuales. Por ejemplo, en los años más secos, en los que apenas se produce una pequeña lámina de agua en las zonas de cotas más bajas, las especies comunidades de anual, como las de *Salicornia ramosissima*, *Suaeda*

*splendens* y *Salsola soda* se localizan principalmente en estas áreas inferiores y están ausentes en las de cotas superiores.

### 3. Los hidroperiodos extraordinarios

Dentro de la escala interanual se producen episodios extraordinarios que llegan tienen efectos letales sobre ciertas las plantas.

Unos lo son por falta de lámina de agua significativa durante un intervalo plurianual, como el ocurrido en el trienio hidrológico 1992-1995, que debido a su prolongado intervalo tuvo un doble efecto. Por un lado causando la muerte de grandes extensiones de las comunidades vegetales más existentes en agua, como son el castañuelar (agrupación de *Bolboschoenus maritimus*) y de bayuncar (agrupación de *Schoenoplectus litoralis*). Pero por otro, favoreciendo la colonización por el almajo de las zonas más bajas.

Otros en cambio, menos conocidos, son extraordinarios por exceso de agua, como el del 2009-10, en el que se produjo una prolongada y persistente expansión de la lámina de agua hacia las áreas de cotas más elevadas, y que produjo grandes mortandades de almajos e impidió tanto la aparición de su cortejo de especies anuales como la nidificación de muchas aves (URDIALES et al., 2010).

Este exceso de inundación tiene un efecto limitante en las plantas terrestres en relación a los procesos de fotosíntesis y respiración aeróbia, que pueden terminar provocando la muerte (MOMMER et al., 2005). Sus efectos depende de la frecuencia, intensidad, turbidez y de ciertas características químicas del agua (VERVUREN et al., 2003).

### 4. El episodio del año 2009-10

En el año hidrológico 2009-10 tuvieron lugar en el bajo Guadalquivir un conjunto de episodios muy seguidos de abundantes precipitaciones que derivó en un aumento de los caudales tributarios. El período de lluvias más significativo comenzó el 16 de diciembre. Hasta entonces apenas habían caído 70,5 mm. A partir de ese día se recogieron 600 mm en 83 días de los que tan solo hubo 17 días sin lluvia, que supone un 80% de días de lluvia en ese periodo (URDIALES et al., 2010). Como consecuencia el agua alcanzó un calado de más de 120 cm y una cota máxima de 2,28 m sobre el nivel del mar, lo que supuso el 98,7% de la superficie de la marisma inundada (URDIALES et al., 2010) y en general un hidroperiodo prolongado con calados de agua muy elevados (figura 3).

La lámina de agua se llegó a extender de forma muy prolongada incluso en las zonas más altas. Cuando se fue retirando se pudieron observar extensas zonas de almajar con diferentes grados de afección, que variaban entre unos con prácticamente todas las plantas desfoliadas (sólo ramillas grises), como muertas, y otras con todas las ramillas sin daños (ramillas terminales verdes). Este episodio de sobreinundación estuvo acentuado por el efecto del muro de tierra (URDIALES et al., 2010) que bordea el contorno este y sur de la marisma del Parque Nacional (figura 4), ya que su cota es algo mayor de 2,5 m, frente al levé natural del río Guadalquivir que está entorno a los 2,0 m (MINTEGUI Y ROBREDO, 2001).



Figura 3. Hidroperiodo del año 2009-10 en la escala E28

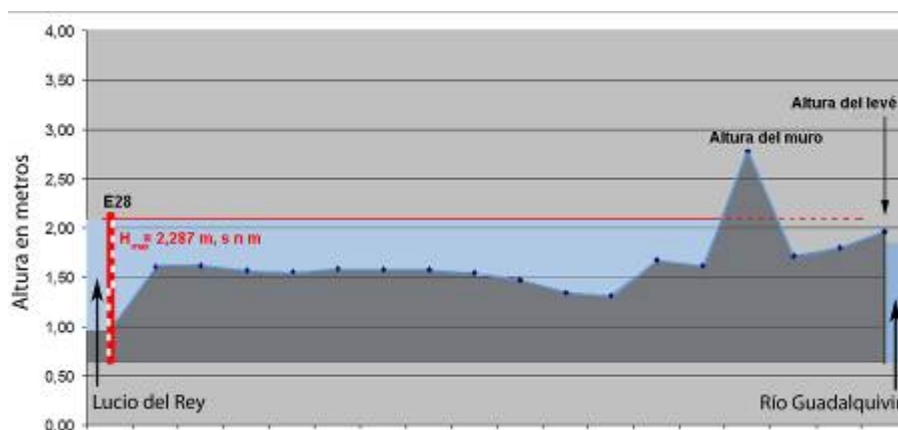


Figura 4. Esquema de un perfil de la marisma y el calado máximo de agua en el episodio 2009-10 y su relación con la altura del muro y la altura natural del levé del río Guadalquivir

## 5. Objetivos

Identificar los parámetros del hidroperiodo y determinar los valores que han condicionado la supervivencia de los almajos a partir de los daños observados en el episodio extraordinario de inundación del año 2009-10.

## 6. Material y métodos

Se diseñó un sistema de muestreo utilizando como base la red de nivelación de la marisma del Parque Nacional de Doñana realizada mediante nivelación geométrica (MINTEGUI Y ROBREDO, 2001). Sobre dicha red se apoyó un retículo cuadrado de 200 m de lado. En sus nodos se constituyeron puntos de parcelas.

Las parcelas se eligieron de forma dirigida a modo de transectos (figura 5) procurando reflejar diferentes gradientes de efecto de la inundación que incluyesen desde puntos que presentaban la totalidad de sus almajos vivos, hasta los que mostraban la totalidad de ellos muertos.

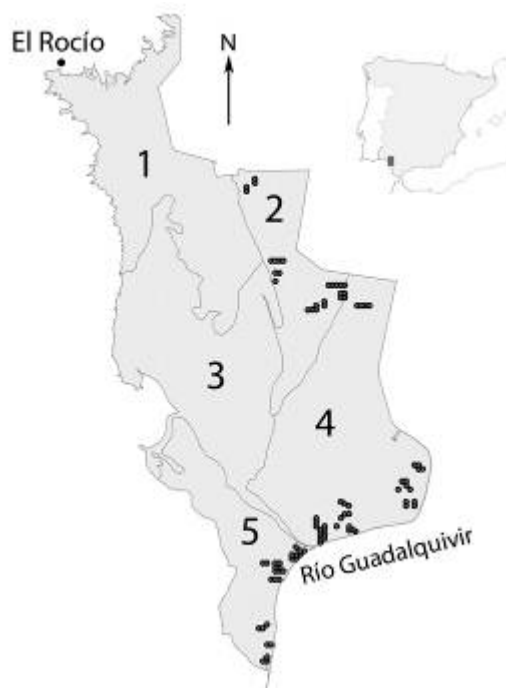


Figura 5. Croquis de situación y localización de las parcelas de inventario

En cada parcela se tomaron en al menos las 10 plantas de almajó más próximas al centro 3 tipos de parámetros:

- a) talla de la planta ( $h$ ), en centímetros.
- b) estado (se le asignó el carácter vivo (al menos una ramilla viva) o muerto, (ninguna ramilla viva).
- c) cota, estimada mediante un sistema GPS diferencial (modelo Leica 1200) con precisión de centímetro.

En total tomaron datos en 106 parcelas y 1.233 plantas.

Posteriormente, a cada una de las parcelas se asoció a una zona de comportamiento del hidropereodo homogéneo, de acuerdo con la división en zonas establecidas por el Parque Nacional (zonas 2, 4 y 5 de la figura 5). Cada zona se vinculó con una escala automática (de cota conocida) de la Infraestructura Científica y Tecnológica (ICTS) de la Estación Biológica de Doñana del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, que registra el calado medio diario de agua (en centímetros). La altura de agua en el centro de la parcela ( $h_x$ ) se estimó teniendo en cuenta el calado medio diario de agua en la escala ( $h_E$ ), la de cota de la escala ( $z_E$ ), y la cota de parcela ( $z_x$ ) se estimó el calado medio diario en cada parcela mediante la ecuación  $h_x = h_E + z_E - z_x$  (figura 6).

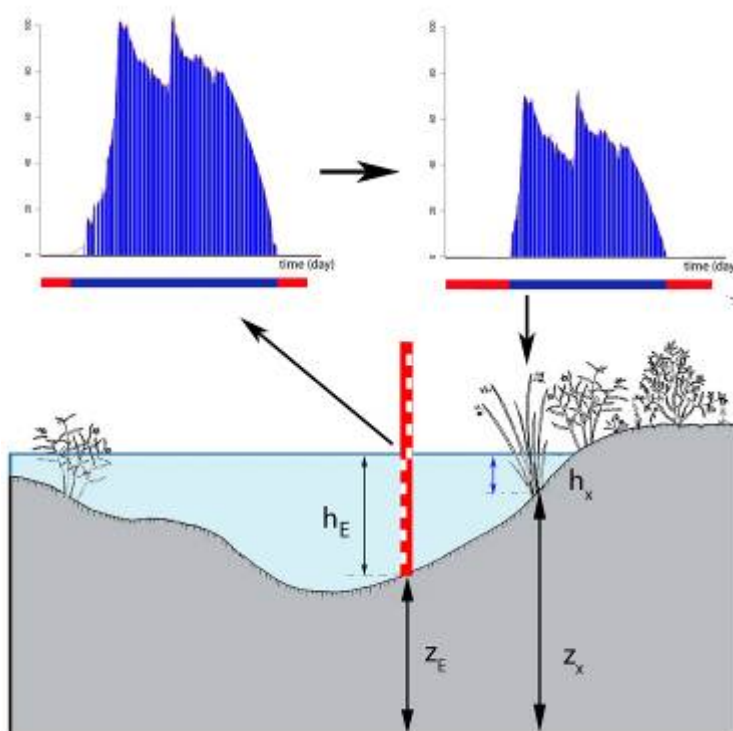


Figura 6. Croquis de situación y localización de las parcelas de inventario

Se estimó la probabilidad de supervivencia de las plantas en función del número de días de inundación usando regresión logística penalizada. Se aplicó penalización para reducir el riesgo de sobreajuste (GASTÓN Y GARCÍA-VIÑAS, 2011). La penalización consiste en reducir los grados de libertad efectivos del modelo, consiguiendo así el mismo efecto que si se redujeran el número de parámetros estimados (ya sea reduciendo número de variables independientes o limitando la flexibilidad de la curva de regresión). Para conseguirlo se reducen los coeficientes de regresión originales según un coeficiente de penalización, obteniendo un modelo sesgado para la muestra de entrenamiento, pero que obtendrá mejores resultados cuando se aplique a nuevos datos. La cantidad óptima de penalización se determina en cada caso, tanteando diferentes valores y comparando con una versión modificada del índice de información de Akaike (HARRELL, 2001). Se usaron splines cúbicos restringidos con tres nodos para permitir una respuesta no lineal de la supervivencia a la duración de la inundación.

Se ajustó un modelo de regresión logística para cada uno de los cinco porcentajes de altura de planta sumergida. La bondad de ajuste de cada modelo se estimó usando el índice de información de Akaike para identificar el porcentaje de altura de planta sumergida que mejor explica las diferencias observadas de supervivencia.

Los cálculos se realizaron usando las funciones lrm y pentrace de la librería rms del entorno de cálculos estadístico R (R Development Core Team, 2011; HARRELL, 2011).



## 7. Resultados y discusión

El tamaño de las plantas analizadas osciló en los 15 cm y los 126 cm de altura, con un valor medio de 63 cm (Tabla 1), el mismo valor que se puede deducir de los datos de GARCÍA VIÑAS et al. (2005a).

La muestra analizada se distribuyó en el intervalo de cota entre 1,250 m y 1,940 m que se incluye en el hábitat central del almajo en el PND y la parte de los marginales menos próximos definidos por GARCÍA VIÑAS et al. (2005a). El 66 % fueron plantas analizadas estaban vivas y el 34 % muertas.

En la Tabla 2 se muestran los principales resultados. Una parte de la muestra nunca llegó a estar completamente sumergida (DC100=0 días) y otra lo estuvo durante un tiempo muy prolongado que se estimó en algo más de 5 meses y medio (DC100=166 días). Todas las plantas estuvieron un intervalo con una lámina de agua superior a la del hábitat central (entre 36 y 83 días, según GARCÍA VIÑAS et al., 2005a) ya que con un 20 % de su altura sumergida estuvieron como mínimo durante algo más de mes y medio (DC20=47días) y otras hasta algo más de 6 meses (DC20=186 días).

*Tabla 2. Principales resultados del análisis estadístico de los datos de los almajos de las parcelas. La talla de la planta en centímetros. DC100 : días con el 100 % de la talla sumergida; DC80: días con el 80 % sumergida; DC60: días con el 60 % sumergida; DC40: días con el 40 % sumergida; DC20: días con el 20 % sumergida*

	Talla de la planta	DC100	DC80	DC60	DC40	DC20
<b>Mínima</b>	15	0	0	0	7	47
<b>1<sup>er</sup> Cuartil</b>	50	0	21	61	79	113
<b>Mediana</b>	63	15,00	51,00	78,00	105,00	134,00
<b>Media</b>	65	28,32	50,24	76,46	103,00	128,10
<b>3<sup>er</sup> Cuartil</b>	79	50	69	92	130	148
<b>Máxima</b>	126	166	171	177	181	186

Las curvas de probabilidad de supervivencia para porcentajes de inundación de la altura de la planta del 20, 40, 60, 80 y 100%, generadas mediante regresión logística para los 5 porcentajes de altura de inundación de las plantas, se muestran en la figura 7. En ella se puede observar que la combinación creciente de días de inundación y porcentaje de la altura de la planta cubierta de agua disminuyen la probabilidad de supervivencia. Con una lámina media de agua de pequeño calado relativo, que no sobrepase el 20 % de la altura de la planta, y hasta 75 u 80 días, la probabilidad de supervivencia de la planta es muy alta (prácticamente 1). Este resultado es coherente con el intervalo del hábitat central con lámina de agua para el almajo determinado por GARCÍA VIÑAS et al. (2005).

Entre el 60 y 80% de la altura de la planta sumergida es cuando el modelo explica mejor la supervivencia de las plantas en función de la duración de la inundación (mejores valores del índice de Akaike. La probabilidad de supervivencia de 0,5 se alcanza entre los 80 y 60 días con lámina de agua.

Si se alcanza el 100 % de la altura de la planta sumergida se produce un rápido y casi uniforme descenso de la probabilidad de supervivencia. Con unos 40 días con un calado medio que sumerja completamente la planta la probabilidad de supervivencia se sitúa entorno a 0,5.

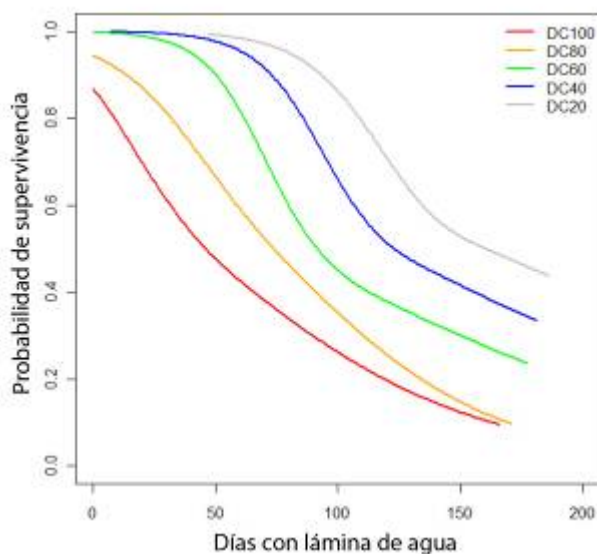


Figura7. Curvas de probabilidad de supervivencia en relación a los días con lámina de agua según diferentes porcentajes medios de altura de la planta sumergida. DC100 : días con el 100 % de la talla sumergida; DC80: días con el 80 % sumergida; DC60: días con el 60 % sumergida; DC40: días con el 40 % sumergida; DC20: días con el 20 % sumergida

## 8. Conclusiones

La relación entre el intervalo de días de inundación en combinación con la altura de agua y la altura de la planta son determinantes en la supervivencia del alcajo, sin que sea necesario el que la planta esté completamente sumergida. La combinación creciente de días de inundación y porcentaje de la altura de la planta cubierta de agua disminuyen la probabilidad de supervivencia.

Cuando el calado de la lámina de agua sumerge entre el 60 y 80 % de la planta se alcanzan los valores más críticos en relación a prolongación del periodo de inundación y de tolerancia a la supervivencia del alcajo.

La presencia del muro artificial que recorre el margen este y sur de la marisma, que permitió que en el año 2009-10 se alcanzara un calado superior al que hubiera permitido el levé natural del río Guadalquivir, influyó negativamente en la supervivencia del alcajo al favorecer la extensión del periodo de inundación y un mayor calado en las cotas más altas, propias del dominio del alcajo.

## 9. Bibliografía

GARCÍA VIÑAS, J.I.; MINTEGUI AGUIRRE, J.A.; ROBREDO SÁNCHEZ, J.C.; 2005a. La vegetación en la marisma del Parque Nacional de Doñana en relación con su régimen hidráulico. Serie Técnica. Organismo Autónomo Parques Nacionales.

GARCÍA VIÑAS, J.I.; MINTEGUI AGUIRRE, J.A.; ROBREDO SÁNCHEZ, J.C.; 2005b. Relación entre la vegetación y la conductividad edáfica en la marisma del Parque Nacional de

Doñana. IV Congreso Forestal Español. Libro de resúmenes, conferencias y ponencias. Sociedad Española de Ciencias Forestales, p 285. Zaragoza.

GARCÍA VIÑAS, J.I.; MINTEGUI AGUIRRE, J.A.; ROBREDO SÁNCHEZ, J.C.; 2004a. Propuesta de tres parámetros hidráulicos para el análisis del comportamiento de la vegetación en áreas de marisma, Resumos 4ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica, Figueira da Foz (Portugal) 3-7 de fevereiro 2004, Sección 13-2: *Hidrología*, pp. 719-720.

GARCÍA VIÑAS, J.I.; MINTEGUI AGUIRRE, J.A.; ROBREDO SÁNCHEZ, J.C.; 2004b. Relation between the hydro-period and vegetation dynamics in wetland areas. Application to Doñana National Park (Spain).IAHR-UPM Congress, Proceedings of Fifth International Symposium on Eco-hydraulics, September 12-17, 2004, Aquatic Habitat: Analysis & Restoration, Madrid (Spain), Vol. 1, pp 257-261

GASTÓN, A.; GARCÍA-VIÑAS, J.I.; 2011. Modelling species distributions with penalised logistic regressions: a comparison with maximum entropy models. *Ecological Modelling* vol 222: 2037-2041.

HARRELL, F.E.; 2001. Regression Modeling Strategies: With Applications to Linear Models, Logistic and survival análisis.Springer.

MINTEGUI AGUIRRE, J.A.; ROBREDO SÁNCHEZ, J.C.; 2001. Bases para la elaboración de un modelo del terreno en la Marisma del Parque Nacional de Doñana.Serie Técnica. Organismo Autónomo Parques Nacionales.

MOMMER, L.; VISSER, E.J.W.; 2005. Underwater Photosynthesis in FloodedTerrestrial Plants: A Matter of Leaf Plasticity. *Annals of Botany* nº 96, 581–589.

URDIALES ALONSO, C.; GARCÍA DÍAZ, D.; VALERO LANCHO, A.; FERNÁNDEZ PALACIOS, J.M.; 2010. Seguimiento de la inundación en la marisma de Doñana: resultados del ciclo 2009/2010 y efecto del dique de la Montaña del Río en el proceso de inundación. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 1.146-1.156.

VERVUREN, P.J.A.; BLOM, C.W.P.M; DE KROON, H.; 2003. Extreme flooding events on the Rhine and the survival and distribution of riparian plant species. *Journal of Ecology* nº 91, 135-146.