

# Dinámica de hábitats de los humedales litorales de la laguna del Mar Menor (Murcia, SE de España) asociada a los cambios en el régimen hidrológico de su cuenca drenante.

María Francisca Carreño, María Teresa Pardo (†), Miguel Ángel Esteve & Julia Martínez  
Departamento de Ecología e Hidrología, Facultad de Biología, Campus de Espinardo, 30100 Espinardo, Murcia, España.

Correspondencia  
M. F. Carreño  
E-mail: mariafra@um.es  
Tel.: 968 36 4985  
Fax: 968 36 3963  
**Recibido:** 15 Marzo 2007  
**Aceptado:** 16 Junio 2007

## Resumen

Los humedales de la ribera interna del Mar Menor, se han visto sometidos en las últimas décadas a una serie de transformaciones físico – químicas e hidrológicas a consecuencia del incremento de aporte hídrico procedente de los drenajes agrícolas de la cuenca. En el presente trabajo se ha realizado un análisis de los cambios operados en las comunidades vegetales de dichos humedales, aplicando técnicas de teledetección. Los resultados obtenidos nos han permitido reconstruir, por un lado los cambios en la superficie de estos humedales a lo largo del periodo estudiado, encontrándose un buen grado de ajuste con la evolución de la superficie total de regadío de la cuenca del Mar Menor, claro indicador de la relación entre estos humedales y los cambios en la dinámica hídrica asociada al incremento del regadío. Y por otra parte, ha permitido igualmente reconstruir los cambios internos en la composición de cada humedal, detectándose importantes variaciones en las superficies de los hábitats con una clara disminución de los hábitats prioritarios y de interés comunitario.

**Palabras clave:** Humedales, Cambios de hábitat, Teledetección

## Abstract

*Habitat dynamics of Mar Menor coastal wetlands (Murcia, SE of Spain) driven by watershed hydrological changes.*

During the last decades the wetlands associated to the Mar Menor lagoon (Southeastern Spain) have suffered a series of physico-chemical and hydrological changes due to the increase in the water inputs coming from the agricultural drainages. In this work, it has been carried out an analysis of the changes in the plant communities of such wetlands using remote sensing techniques. Results obtained have allowed the reconstruction of the changes in the total area occupied by the wetlands along the studied period. A close fit with the changes in the area occupied by total irrigated lands was found. This is a good indicator about the relationship between the wetlands and the changes in the water dynamics of the watershed, linked to the increase in irrigated lands. In addition, the remote sensing techniques also allowed the reconstruction of the internal changes along time in the habitat composition of each wetland, where a clear reduction of Priority and European Interest habitats was detected.

**Key words:** Wetlands, Habitat changes, Remote sensing

## Introducción

El Mar Menor es una laguna costera mediterránea hipersalina localizada en el Sudeste de España en cuya ribera interna se disponen una serie de humedales litorales que cuentan con diversas figuras de protección por su interés naturalístico y ecológico, además de presentar una importante funcionalidad ambiental, dada su estratégica localización entre la cuenca y la laguna, en el control de una parte de los nutrientes de origen agrícola que llegan al Mar Menor. Los cambios de uso y especialmente el incremento del regadío a raíz de la llegada en 1979 de las aguas del trasvase Tajo – Segura, han modificado la dinámica hidrológica de la cuenca, lo que a su vez ha inducido cambios significativos en los humedales litorales del Mar Menor, en relación con la superficie y composición de los mismos.

Las comunidades vegetales de los humedales litorales de Marina del Carmolí, Playa de la Hita y Saladar de Lo Poyo, incluidos en el espacio protegido “Espacios abiertos e Islas del Mar Menor”, presentan áreas de saladar, estepa salina y carrizal en los que se incluyen varios hábitats de interés comunitario y prioritarios. El análisis de la dinámica de cambio resulta de máximo interés para comprender las relaciones que se establecen entre los patrones de cambio de los humedales y la biodiversidad que sustentan y para contribuir al desarrollo sostenible del Mar menor y su entorno.

El estudio temporal y espacial realizado en el presente trabajo se ha desarrollado con el uso de una potente herramienta, la teledetección espacial, ampliamente utilizada para la realización de inventarios en humedales (Noriega & Lozano-García 2000), la localización de cuerpos de agua superficiales (Toyrá et al. 2001), la realización de mapas de usos y coberturas de suelo y vegetación (ej. Cihlar et al. 1996; Michelson et al. 2000; Hess et al. 2003, Wang & Tenhunen 2004, Kumar Joshi et al. 2006) y detección de cambios (ej. Narumalani et al. 2004, Cakir et al. 2006, Mundia & Aniya 2006).

Con la aplicación de esta técnicas, se ha analizado la evolución de los humedales objeto de estudio desde 1984 al año 2001, permitiendo la reconstrucción tanto de los cambios en la superficie total de los mismos como en la representación de las comunidades cartografiadas. Estos cambios deben implicar variaciones de la superficie activa de humedal, lo que incide en la funcionalidad de estos sistemas en relación con la interceptación de los flujos de agua y nutrientes procedentes de la cuenca y que llegan a la laguna del Mar Menor. Igualmente se ha caracterizado la relación entre el cambio en los humedales y la superficie total de regadío de la cuenca, puesto que el proceso de

aumento de los regadíos en la cuenca drenante, con el consiguiente incremento de los drenajes agrícolas, podría ser la causa de tales cambios en los humedales. Finalmente, se ha analizado el impacto de los cambios observados en las comunidades vegetales en relación con la conservación de los hábitats de interés comunitario y prioritario presentes en los humedales litorales de la laguna del Mar Menor.

## Área de Estudio

Los humedales costeros del Mar Menor, Marina del Carmolí, Playa de la Hita y Saladar de Lo Poyo (Fig. 1) son definidos como criptohumedales litorales (Vidal-Abarca et al. 2003).

En los tres humedales se presentan en mayor o menor medida las unidades de estepa salina, saladar y carrizal, así como arenales. Diferenciamos estas unidades en función del hábitat mayoritario, puesto que en todas las unidades aparecen pequeñas manchas de éstos y otros hábitats. La distribución de estas uni-



Figura 1. Localización de los humedales objeto de estudio. PH: Playa de la Hita, MC: Marina del Carmolí, LP: Saladar de Lo Poyo. Fuente: Elaboración propia a partir de ortofotomapas IGN vuelo 1999.

Figure 1. Location of studied wetlands. PH: Playa de la Hita; MC: Marina del Carmolí; LP: Saladar de Lo Poyo. Source: Own work based on orthophotomaps of IGN (Instituto Geográfico Nacional) year 1999.

dades de vegetación atienden a la disponibilidad de agua y a la salinidad de la misma, desarrollándose la estepa salina en zonas donde la disponibilidad de agua es menor y el carrizal donde el agua es más accesible y menos salada. Aunque las especies pertenecientes a estos hábitats han estado y están presentes en los tres humedales, si la mancha es pequeña no puede ser detectada con las técnicas de teledetección.

La unidad arenal está compuesta mayoritariamente por los hábitats de la Directiva Hábitat (92/43/CEE): 1210 “Vegetación anual sobre desechos marinos acumulados”, que constituye una franja de herbazales asentados en la primera línea de costa de *Cakile maritima* y *Salsola kali* subsp. *kali* y más al interior por el hábitat 2210 “Dunas fijas de litoral del *Crucianellion maritimae*”. En esta primera banda de vegetación aparecerían de igual modo pequeñas manchas de estepa salina (1510) y matorral halófilo (1420). Inmediatamente hacia el interior se dispone la unidad estepa salina, estaría mayoritariamente compuesta (95%) por el hábitat prioritario 1510 “Estepas salinas mediterráneas (*Limonieta*)”, constituyen los albardinales y comunidades de *Limonium* sp. así como pastizales que crecen en verano en áreas de saladar. En el restante 5% encontramos los hábitats 1430 “Matorrales halo-nitrófilos (*Pegano-Salsoletea*)” matorrales típicos de zonas áridas con especies como *Atriplex* sp. pl., *Suaeda vera* y *Lycium intricatum*, y el hábitat 90D0 “Galerías y matorrales ribereños termomediterráneos (*Nerio-Tamaricetea*)” tarayales propios de saladares. La unidad saladar se compone en su mayoría por el hábitat 1420 “Matorrales halófilos mediterráneos y termoatlánticos (*Sarcocornetea fruticosi*)” forma un matorral bajo en zonas salinas denominada almarjales con *Sarcocornia fruticosa*, *Arthrocnemum macrostachyum*, *Halimione portulacoides* y *Limonium cossonianum*. También aparecen pequeñas manchas de juncales y pastizales englobados en el hábitat 1410 “Pastizales salinos mediterráneos”. Por último la unidad carrizal está dominada por la especie *Phragmites australis*, aunque aparecen manchas (10%) del hábitat matorral halófilo (1420), especialmente en las áreas de expansión sobre la unidad saladar.

En definitiva, se diferencian cuatro unidades de vegetación por su hábitat dominante: unidad arenal con los hábitats de interés comunitario 1210 y 2210 así como manchas de los hábitats 1510 prioritario y 1420 de interés comunitario; unidad estepa salina constituida por el hábitat prioritario 1510 con un pequeño porcentaje de los hábitats de interés comunitario 1420, 1430 y 90D0; unidad saladar compuesto por el hábitat de interés comunitario 1420 y pequeñas manchas del hábitat de interés comunitario 1410; y por último la unidad carrizal que no posee hábitats de interés ex-ceptuando pequeñas manchas del hábitat 1420.

## Material y Métodos

Se han aplicado las técnicas de fotointerpretación de ortofotomapas y fotografía aérea, clasificación supervisada, siguiendo el algoritmo de máxima verosimilitud, de imágenes de satélite procedentes de sensores Landsat TM y ETM+, correspondientes a cinco años del período 1984-2001 y validación cruzada de dichas clasificaciones (véase Pardo et al. 2004), para la obtención de una cartografía multitemporal de los tres humedales objeto de estudio (Fig. 2). Todo ello en el SIG (Sistema de información Geográfico) libre GRASS (Geographic Resources Analysis Support System, <http://grass.itc.it>), bajo entorno Linux.

Asimismo con el uso del SIG y del paquete estadístico R (The R Foundation for Statistical Computing, 2005, <http://www.r-project.org>) se ha analizado la cartografía de usos y coberturas de los humedales. Con ello se pretende caracterizar la evolución de los humedales objeto de estudio, tanto por separado como de manera agregada, a nivel de superficie total del humedal así como de la estructura de sus comunidades vegetales naturales (estepa salina, saladar y carrizal) y evaluar el impacto de dicha evolución desde el punto de vista de la Directiva Hábitat (92/43/CEE).

El estudio se ha basado en el análisis de las matrices de cambio de uso, realizadas a partir de la información extraída de los mapas del estadio inicial (1984) y final (2001) de la cartografía de usos, tanto de los humedales agregados como por separado para los humedales de Marina del Carmolí, Playa de la Hita y Saladar de Lo Poyo, junto a los gráficos de evolución de las tres unidades de vegetación, estepa salina, saladar y carrizal, para Marina del Carmolí y Playa de la Hita, los dos humedales para los que se dispone de una cartografía multitemporal. También se ha realizado un análisis de regresión entre los datos de evolución de los regadíos en el Campo de Cartagena (Martínez & Esteve 2002) y la evolución de las formaciones de saladar y carrizal.

## Resultados y Discusión

Con la metodología aplicada se han diferenciado los usos: vegetación natural, cultivos, cuerpos de agua (principalmente la laguna del Mar Menor), suelos desnudos (estanques salineros inactivos, cauces de ramblas y antiguos aeródromos sobre tierra) e infraestructuras (suelo urbanizado, carreteras, vertederos). Asimismo dentro de la vegetación natural se diferencian las unidades estepa salina, saladar y carrizal. Los arenales debido a que constituyen una estrecha franja, no son detectables como entidad con el uso de la teledetección en las imágenes Landsat TM y ETM+, por lo que se engloban en las unidades vegetales inmediatas

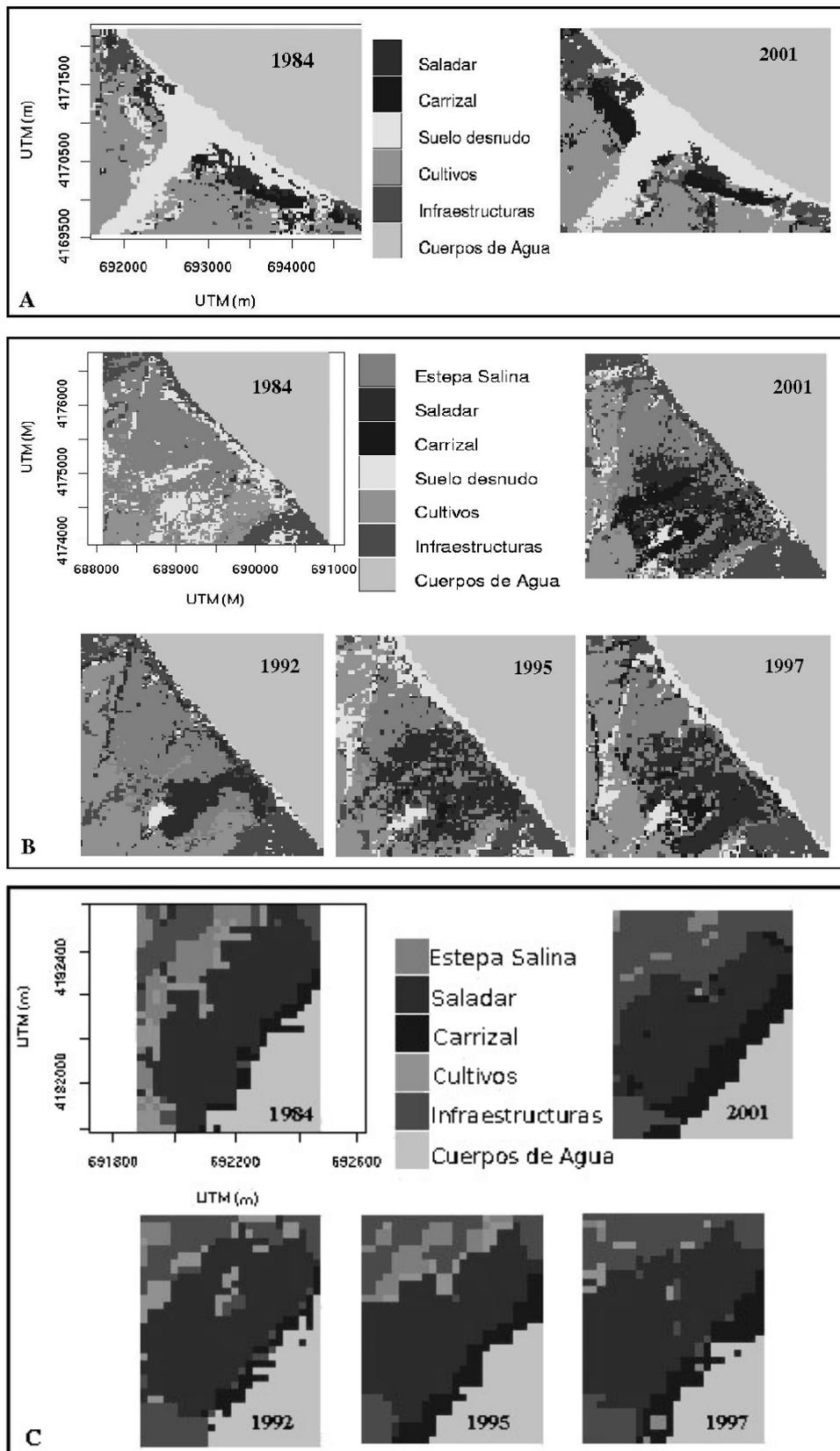


Figura 2. Cartografía de usos de los tres humedales, en la que se muestra su evolución. A) Saladar de Lo Poyo. B) Marina del Carmolí. C) Playa de la Hita.

Figure 2. Land use in the three wetlands, showing their changes along time. A) Saladar de Lo Poyo. B) Marina del Carmolí. C) Playa de la Hita.

|             | Uso                  | 2001          |               |               |               |               |                  |                 | Total ha 1984 |
|-------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|-----------------|---------------|
|             |                      | Estepa salina | Saladar       | Carrizal      | Suelo desnudo | Cultivos      | Infraestructuras | Cuerpos de agua |               |
| <b>1984</b> | Estepa salina        | <b>92,63</b>  | 51,42         | 23,13         | 10,19         | 42,00         | 23,44            | 0,00            | <b>242,80</b> |
|             | Saladar              | 0,13          | <b>30,16</b>  | 10,56         | 11,81         | 6,75          | 10,06            | 0,00            | <b>69,47</b>  |
|             | Carrizal             | 0,00          | 2,06          | <b>13,88</b>  | 2,256         | 6,88          | 3,88             | 0,25            | <b>29,19</b>  |
|             | Suelo desnudo        | 18,00         | 19,31         | 36,94         | <b>141,31</b> | 31,63         | 25,44            | 3,81            | <b>276,44</b> |
|             | Cultivos             | 9,75          | 23,38         | 38,63         | 17,31         | <b>177,56</b> | 36,69            | 0,00            | <b>303,32</b> |
|             | Infraestructuras     | 2,88          | 0,63          | 1,75          | 14,44         | 12,50         | <b>72,81</b>     | 0,75            | <b>105,75</b> |
|             | Cuerpos de agua      | 0,00          | 0,00          | 1,19          | 4,69          | 0,00          | 5,44             | <b>677,41</b>   | <b>699,73</b> |
|             | <b>Total ha 2001</b> | <b>123,39</b> | <b>126,95</b> | <b>126,08</b> | <b>202,00</b> | <b>277,31</b> | <b>177,75</b>    | <b>682,22</b>   |               |

Tabla 1. Matriz de cambio de usos (en hectáreas) de los tres humedales agregados. 1994-2001.  
Table 1. Matrix of land use changes (in hectares) in the three wetlands. 1994-2001.

o bien quedan incluidos en el suelo desnudo. Por tanto se diferencian finalmente las coberturas estepa salina, saladar, carrizal, suelo desnudo, cultivos, infraestructuras y cuerpos de agua.

### Cambios generales en los hábitats

Atendiendo a la vegetación natural, en los tres humedales los cambios ocurridos son tanto en su extensión como en la representación de las tres unidades de vegetación detectadas. En la matriz de cambios de los tres humedales agregados (Tabla 1) al considerar el humedal activo (estepa salina, saladar y carrizal), en su conjunto se observa un aumento de la superficie en aproximadamente 35 ha, al pasar de 341 a 376 ha. Sin embargo la composición de los humedales ha variado con una disminución de la estepa salina del 50% (de 243 ha a 121 ha) y un aumento tanto del saladar (de unas 69 ha a 130 ha), que ha duplicado su superficie, como del carrizal (de 29 ha a 126 ha), que se ha multiplicado por cuatro. Este aumento de las formaciones carrizal y saladar se produce a expensas de la estepa salina, cultivos y suelo desnudo.

Si se analiza la composición interna, la pérdida de estepa salina se reparte entre el saladar (51 ha), cultivos (42 ha), carrizal (23 ha que previamente se habían transformado en saladar) y parte también ha sido utilizada para la construcción de diferentes infraestructuras (23 ha para carreteras, urbanizaciones, etc.) En cuanto al saladar, en principio hay un aumento neto, procedente de cultivos y estepa salina, sin embargo parte del saladar original también se ha transformado en carrizal. Por último la disposición y superficie de los cultivos también ha variado, aunque el 60% se ha mantenido. De las hectáreas transformadas el humedal ha recuperado 16 ha, y como en los otros casos esa ganancia no se ha producido en el hábitat de mayor interés, desde el punto de vista de la Directiva Hábitat

(92/43/CEE), sino que ha contribuido al aumento del carrizal, no incluido en la Directiva y en menor medida del saladar constituido por matorrales halófilos mediterráneos, hábitat de interés comunitario. Aún con el aumento de la superficie del humedal, se ha registrado una gran pérdida en la estepa salina, unidad que engloba al hábitat prioritario.

### Cambios registrados en cada humedal

#### Marina del Carmolí

La Marina del Carmolí en 1984 se correspondía con una gran estepa salina (Fig. 2B) de *Lygeum spartum* y *Suaeda vera*. En el periodo 1984-1995 se constata un aumento de la categoría saladar con un máximo en 1995, a expensas de la estepa salina principalmente. A partir de ese año la suma de carrizal saladar se estabiliza en unas 130-140 ha y el saladar decrece sustituido por el carrizal (Fig. 3), que se va a expandir en el suelo desnudo asociado a los cauces de las ramblas que atraviesan el humedal (Fig. 2B).

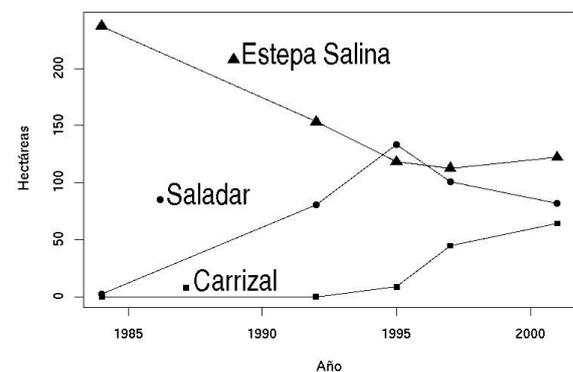


Figura 3. Gráfico de evolución de los hábitats presentes en Marina del Carmolí.  
Figure 3. Changes along time of habitats in Marina del Carmolí.

|             | Uso                  | 2001          |              |              |               |              |                  |                 | Total ha 1984 |
|-------------|----------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|------------------|-----------------|---------------|
|             |                      | Estepa salina | Saladar      | Carrizal     | Suelo desnudo | Cultivos     | Infraestructuras | Cuerpos de agua |               |
| <b>1984</b> | Estepa salina        | <b>91,75</b>  | 49,79        | 23,13        | 10,19         | 41,94        | 20,44            | 0,00            | <b>237,22</b> |
|             | Saladar              | 0,00          | <b>2,03</b>  | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 0,00             | 0,00            | <b>2,03</b>   |
|             | Carrizal             | 0,00          | 0,00         | <b>0,00</b>  | 0,00          | 0,00         | 0,00             | 0,00            | <b>0,00</b>   |
|             | Suelo desnudo        | 18,00         | 12,25        | 29,63        | <b>10,75</b>  | 11,06        | 20,25            | 0,19            | <b>102,13</b> |
|             | Cultivos             | 9,63          | 17,25        | 10,44        | 5,25          | <b>38,31</b> | 8,50             | 0,00            | <b>89,37</b>  |
|             | Infraestructuras     | 2,81          | 0,25         | 0,94         | 9,06          | 6,06         | <b>52,31</b>     | 0,75            | <b>72,19</b>  |
|             | Cuerpos de agua      | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 1,31          | 0,00         | 5,44             | <b>295,44</b>   | <b>302,19</b> |
|             | <b>Total ha 2001</b> | <b>122,19</b> | <b>81,56</b> | <b>64,13</b> | <b>36,56</b>  | <b>97,37</b> | <b>106,94</b>    | <b>296,38</b>   |               |

Tabla 2. Matriz de cambio de usos (en hectáreas) de Marina de Carmolí. 1984-2001.

Table 2. Matrix of land use changes (in hectares) in Marina del Carmolí. 1984-2001.

|             | Uso                  | 2001          |              |             |             |                  |                 | Total ha 1984 |
|-------------|----------------------|---------------|--------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|---------------|
|             |                      | Estepa salina | Saladar      | Carrizal    | Cultivos    | Infraestructuras | Cuerpos de agua |               |
| <b>1984</b> | Estepa salina        | <b>0,88</b>   | 1,63         | 0,00        | 0,06        | 3,00             | 0,00            | <b>5,57</b>   |
|             | Saladar              | 0,13          | <b>13,94</b> | 3,50        | 0,06        | 3,88             | 0,00            | <b>21,51</b>  |
|             | Carrizal             | 0,00          | 0,13         | <b>2,31</b> | 0,00        | 0,00             | 0,25            | <b>2,69</b>   |
|             | Cultivos             | 0,13          | 1,13         | 0,06        | <b>0,00</b> | 2,19             | 0,00            | <b>3,51</b>   |
|             | Infraestructuras     | 0,06          | 0,00         | 0,13        | 0,00        | <b>4,75</b>      | 0,00            | <b>4,94</b>   |
|             | Cuerpos de agua      | 0,00          | 0,00         | 1,19        | 0,00        | 0,00             | <b>8,63</b>     | <b>9,82</b>   |
|             | <b>Total ha 2001</b> | <b>1,20</b>   | <b>16,83</b> | <b>7,19</b> | <b>0,12</b> | <b>13,82</b>     | <b>8,88</b>     |               |

Tabla 3. Matriz de cambio de usos (en hectáreas) de Playa de la Hita. 1984-2001.

Table 3. Matrix of land use changes (in hectares) in Playa de la Hita. 1984-2001.

Si nos fijamos en la matriz de cambios (Tabla 2) el humedal ha crecido en unas 28 ha en 2001 con respecto a 1984. El crecimiento se ha producido en profundidad y lateralmente a expensas de los cultivos inmediatos y de antiguo suelo desnudo. Como ya se ha visto en la tendencia general, el aumento del humedal no conlleva un aumento del valor de sus hábitats, pues la composición interna varía de tal manera que casi la mitad de la estepa salina se transforma (de 239 ha en 1984 pasa a 122 ha en 2001) principalmente en saladar (casi 60 ha), cultivos (unas 42 ha) y carrizal (23 ha).

Si tenemos en cuenta las formaciones susceptibles a variar debido a los cambios en la hidrología, los usos estepa salina, saladar, carrizal, suelo desnudo y cultivos, solamente el 35,5% del humedal ha permanecido invariable en el periodo estudiado.

#### Playa de la Hita

En Playa de la Hita el humedal ha sufrido un retroceso (pérdida de 2,5 ha) a favor del uso infraestructuras

(tales como urbanizaciones, caminos, carreteras y vertederos). Al igual que en Marina del Carmolí, si consideramos los usos susceptibles de modificarse por cambios en el régimen hídrico, el 67% de Playa de la Hita ha permanecido invariable. Tanto la estepa salina como el saladar experimentan esa reducción mientras que el carrizal consigue aumentar en 4,5 ha (Tabla 3). Este crecimiento del carrizal se dirige desde la costa hacia el interior (Fig. 2C), a expensas fundamentalmente del saladar inmediato (3,5 ha) y también de los cuerpos de agua (1,2 ha) por el avance del carrizal sobre laguna del Mar Menor, asociado a una zona de descarga de agua subterránea, como se constata al observar la serie de mapas de usos (Fig. 2C) en la que el carrizal posee una estructura compleja lobulada paralela a la costa y de avance hacia la laguna.

Esta misma tendencia de aumento del carrizal en detrimento del saladar se constata con el gráfico de evolución de las tres formaciones vegetales naturales (Fig. 4), en la que se observa una disminución paulatina del saladar que se acelera pasado 1995, y de manera paralela aumenta el carrizal. Así pues Playa de la Hita

|      | Uso                  | 2001         |              |               |               |                  |                 | Total ha 1984 |
|------|----------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|------------------|-----------------|---------------|
|      |                      | Saladar      | Carrizal     | Suelo desnudo | Cultivos      | Infraestructuras | Cuerpos de agua |               |
| 1984 | Saladar              | 14,19        | 7,06         | 11,81         | 6,69          | 6,19             | 0,00            | 45,94         |
|      | Carrizal             | 1,94         | 11,56        | 2,25          | 6,88          | 3,88             | 0,00            | 26,50         |
|      | Suelos desnudos      | 7,06         | 7,31         | 130,56        | 20,56         | 5,19             | 3,63            | 174,31        |
|      | Cultivos             | 5,00         | 28,13        | 12,06         | 139,25        | 26,00            | 0,00            | 210,44        |
|      | Infraestructuras     | 0,38         | 0,69         | 5,38          | 6,44          | 15,75            | 0,00            | 28,63         |
|      | Cuerpos de agua      | 0,00         | 0,00         | 3,38          | 0,00          | 0,00             | 237,50          | 376,88        |
|      | <b>Total ha 2001</b> | <b>28,56</b> | <b>54,75</b> | <b>165,44</b> | <b>179,81</b> | <b>57,00</b>     | <b>377,13</b>   |               |

Tabla 4. Matriz de cambio de usos (en hectáreas) Saladar de Lo Poyo. 1984-2001.

Table 4. Matrix of land use changes (in hectares) in Saladar de Lo Poyo. 1984-2001.

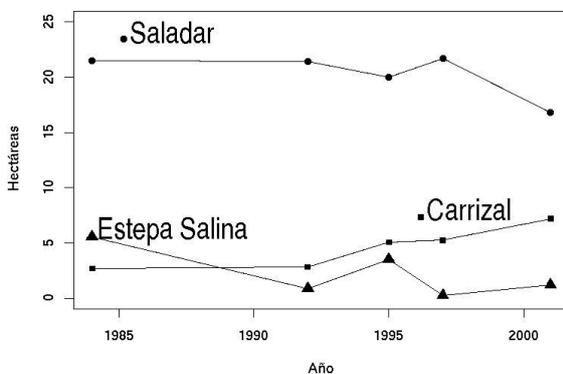


Figura 4. Gráfico de evolución de los hábitats presentes en Playa de la Hita.

Figure 4. Changes along time of habitats in Playa de la Hita.

sigue la tendencia, tanto general como de Marina del Carmolí de disminuir en el valor de sus hábitats en términos de su singularidad a escala europea.

### Saladar de Lo Poyo

Este humedal ha pasado de un predominio del saladar (Tabla 4) a estar constituido mayoritariamente por el carrizal, manteniéndose un 69% del humedal sin alteraciones atendiendo a los usos susceptibles de variación por los cambios hídricos. Como se ha observado tanto en Marina del Carmolí como en las tendencias generales, el aumento en casi 12 ha se ha debido al aumento del hábitat de menor interés desde la Directiva Hábitat, el carrizal.

En Saladar de Lo Poyo la vegetación presenta una zonación clara, interrumpida en diversas zonas por áreas cultivadas. De este a oeste y paralelas a la línea de costa se distribuyen una estrecha franja arenosa, las antiguas salinas abandonadas (suelo desnudo), una banda de saladar y otra de carrizal. Como se observa en la Figura 2A, la parte sur de este humedal experimenta un aumento del carrizal a costa del saladar

mientras que en la parte norte el aumento se produce a costa de los cultivos aledaños, los cuales han disminuido en unas 20 ha.

### Régimen hídrico de la cuenca y cambios en los humedales

El aumento global observado en el conjunto de los humedales no se refleja en cada uno de tales humedales por separado. En primera instancia puede pensarse que dicho cambio global no tiene porqué reflejar cuantitativamente los cambios hídricos ocurridos en la cuenca, al depender de las circunstancias concretas del entorno de cada humedal, como ocurre en Playa de la Hita donde la presencia de determinadas infraestructuras limitan su expansión y en la práctica ha sufrido una reducción neta de su superficie total. Sin embargo, las variaciones en la dinámica interna de cada humedal hacia formaciones más freatófiticas, es decir hacia las unidades saladar y carrizal, sí parece ser un buen indicador de los cambios hídricos de la cuenca, pues no existen restricciones físicas a su expansión interna dentro del humedal.

El proceso de aumento de regadíos en la cuenca y el subsiguiente incremento de los drenajes agrícolas, parece ser la causa determinante de los cambios observados en los humedales. Como se muestra en la Figura 5, la evolución de dichos regadíos y la del saladar y carrizal, muestran un patrón muy similar, caracterizado por un crecimiento sigmoideo que se desacelera en los regadíos en 1991 y en los humedales más tarde, con un retardo de aproximadamente 5 años.

Al realizar un análisis de regresión entre ambas variables se obtiene una relación muy significativa ( $R^2_{ajust.} = 0,9172$ ;  $p = 0,01$ ), lo que demuestra una estrecha conexión entre el incremento de la superficie ocupada por el saladar y el carrizal y la superficie de regadíos del Campo de Cartagena. Realizando esta misma regresión con un retardo para las superficie

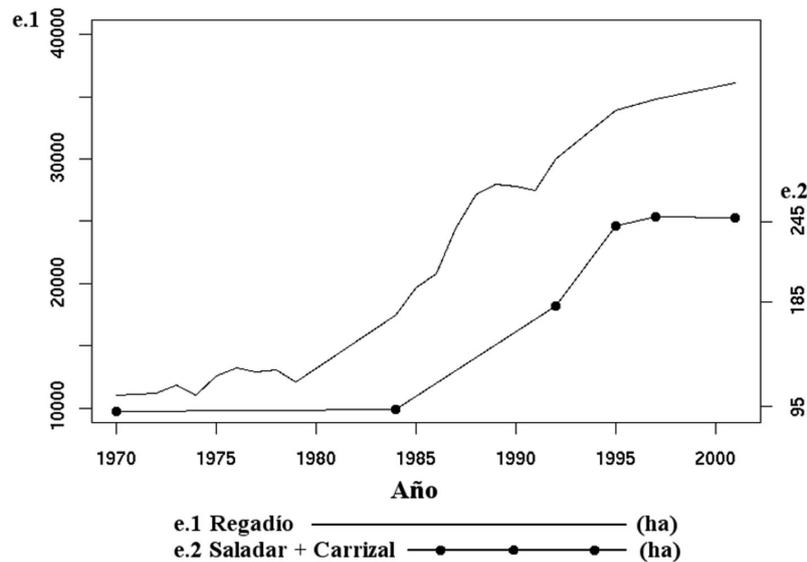


Figura 5. (e1) Evolución de la superficie de regadío en el Campo de Cartagena. (e.2) Evolución de la superficie ocupada por el saladar y el carrizal, de manera agregada en los tres humedales.

Figure 5. (e1) Area of irrigated lands along time in Campo de Cartagena. (e.2) Area occupied by salt marshes and reedbeds in the three wetlands.

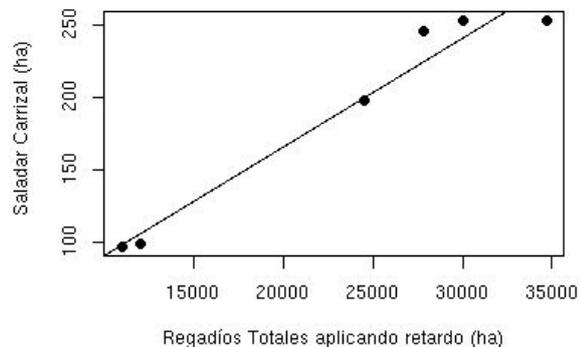


Figura 6. Regresión entre los regadíos totales con un retraso de 5 años y las formaciones saladar más carrizal

Figure 6. Regression plot of the area occupied by salt marshes and reedbeds against the area of total irrigated lands against using a time lag of five years.

de regadío de 5 años (Fig. 6), el ajuste mejora de forma significativa ( $R^2_{\text{ajust.}}=0,9446$ ;  $p=0,0001$ ), lo que refuerza el papel de los drenajes subsuperficiales procedentes del regadío. De dicha regresión se deduce que por cada 1.000 hectáreas de regadío se genera una superficie de saladar y carrizal de unas 8 hectáreas. Ello no descarta una participación secundaria de agua de otros orígenes (urbano, desaladoras) al menos en Marina del Carmolí.

Al realizar un estudio de la procedencia del carrizal se observan diferencias dependiendo del humedal (Tabla 5). El carrizal ha cambiado menos en aquellos

humedales cuyas áreas de drenaje soportaban ya con anterioridad al trasvase Tajo – Segura una cierta proporción de regadíos tradicionales. Los cambios más acusados se presentan en Marina del Carmolí, humedal que recibe los drenajes de la parte central del Campo de Cartagena, cuya puesta en regadío tiene lugar justamente a partir del trasvase Tajo – Segura, parte central que además representa dos tercios del total del Campo de Cartagena.

Por otra parte se aprecian diferencias en la geometría del crecimiento del carrizal en los distintos humedales. Tanto en Playa de la Hita como en Lo Poyo el crecimiento es paralelo a la línea de costa, siguiendo la morfología del antiguo lagoon, evidenciando una entrada difusa de los nuevos recursos hídricos a nivel subsuperficial. Playa de la Hita y Lo Poyo muestran un patrón opuesto: en el primer caso el carrizal se extiende hacia la laguna del Mar Menor y hacia el saladar, reforzando un circuito hídrico subterráneo preexistente, de escala más regional, mientras que en el segundo caso el carrizal se extiende hacia la parte externa del humedal colonizando áreas agrícolas, en respuesta a una circulación del agua de escala local procedente de los drenajes agrícolas. En ambos casos el papel de los vertidos urbanos sería muy reducido.

En la Marina del Carmolí, la dinámica hidrológica es más compleja por lo que el crecimiento del saladar y carrizal se haya asociado tanto a los flujos subsuperficiales, lo que se manifiesta en la forma de expansión del saladar (Figura 2B), como a los tramos finales de los cauces, vía principal de expansión del carrizal.

|                           | Estepa Salina | Saladar | Cultivos | Suelo desnudo | Cuerpos de agua | Carrizal 1984 |
|---------------------------|---------------|---------|----------|---------------|-----------------|---------------|
| <b>Marina del Carmolí</b> | 36%           | 0%      | 16%      | 46%           | 0%              | 0%            |
| <b>Playa de la Hita</b>   | 0%            | 48%     | 1%       | 0%            | 16%             | 32%           |
| Saladar de Lo Poyo        | 0%            | 13%     | 51%      | 13%           | 0%              | 21%           |

Tabla 5. Procedencia del carrizal existente en 2001 en porcentajes, a partir de los usos del suelo en 1984.

Table 5. Contribution (as percentage) of the different 1984 land uses to the existing area of reedbeds in 2001.

## Conclusiones

El aumento del regadío en el Campo de Cartagena y el subsiguiente incremento de los drenajes agrícolas parece estar relacionado con cambios importantes en los humedales asociados al Mar Menor, tanto en su extensión, con un incremento neto de su superficie global, como en su composición interna, con un aumento de los hábitats más freatófilos constituidos por el saladar y carrizal, cuyas superficies se han multiplicado por dos y por cuatro respectivamente, mientras que la estepa salina se ha reducido a la mitad.

El aumento global de superficie de los humedales no parece ser un buen indicador de los cambios hídricos de la cuenca, pero sí el aumento de las formaciones freatófitas, constatable tanto a nivel global como en cada humedal. Se ha encontrado una relación muy significativa entre la evolución del regadío en la cuenca con un retardo de 5 años y la superficie global de saladar y carrizal, retardo que refuerza la hipótesis del papel de los drenajes subsuperficiales procedentes del regadío.

En el periodo estudiado entre 1984 y 2001, los cambios más acusados se presentan en Marina del Carmolí, humedal que recibe los drenajes de la parte central del Campo de Cartagena, la cual constituye una gran parte de la cuenca (dos tercios de su superficie total) y además es la zona cuya proporción de regadío ha aumentado más a raíz del trasvase Tajo-Segura.

Los hábitats favorecidos por el aumento del regadío y los cambios hídricos en la cuenca son los menos singulares desde el punto de vista de la Directiva Hábitats. Así, el hábitat que más crece es el carrizal, no incluido en la Directiva, seguido del saladar, considerado hábitat de interés comunitario, a expensas de un sustancial retroceso de la estepa salina, considerado de interés prioritario por su singularidad y grado de amenaza en el contexto europeo.

## Agradecimientos

El presente trabajo es en memoria de nuestra querida amiga y compañera Maite Pardo. El estudio se ha llevado a cabo en el marco del proyecto europeo DITTY,

*Development of Information Technology Tools for the Management of European Southern lagoons under the influence of river-basin runoff* (EVK3-CT-2002-00084) cuyo soporte agradecemos enormemente. Así mismo agradecemos el soporte del Ministerio de Educación y Ciencias a través del proyecto *Estado ecológico de los humedales mediterráneos semiáridos: propuesta de indicadores para su evaluación*, con el que parcialmente se ha sustentado este trabajo.

## Referencias

- Cakir HI, Khorram S & Nelson SAC. 2006. Correspondence analysis for detecting land cover change. *Remote Sensing of Environment* 102: 306-317.
- Cihlar J, Ly H & Xiao Q. 1996. Land Cover Classification with AVHRR Multichannel Composites in Northern Environments. *Remote Sensing of Environment* 58: 36-51.
- Hess LL, Melack JM, Novo EMLM, Barbosa CCF & Gastil M. 2003. Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon basin. *Remote Sensing of Environment* 87: 404-428.
- Kumar Joshi, PK, Roy PS, Singh S, Agrawal S. & Yadav D. 2006. Vegetation cover mapping in India using multi-temporal IRS Wide Field Sensor WIFS data. *Remote Sensing of Environment* 103: 190-202.
- Martínez J & Esteve MA 2002. El regadío del Campo de Cartagena y la exportación de fertilizantes agrícolas al Mar Menor. In *Agua, regadío y sostenibilidad en el Sudeste ibérico* (Martínez J & Esteve MA, coords.) Bilbao: Bakeaz, pp. 133-150.
- Michelson DB, Liljeberg BM & Pilesjö P. 2000. Comparison of Algorithms for Classifying Swedish Landcover Using Landsat TM and ERS\_1 SAR Data. *Remote Sensing of Environment* 71: 1-15.
- Mundia CN & Aniya M. 2006. Dynamics of landuse/cover changes and degradation of Nairobi City, Kenya. *Land Degradation and Development*, 17: 97-108.
- Narumalani S, Mishra DR & Rothwell RG. 2004. Change detection and landscape metrics for inferring anthropogenic processes in the greater EFMO area. *Remote Sensing of Environment* 91: 478-489.
- Noriega J & Lozano-García DF. 2000. Spatial filtering of radar data RADARSAT for wetlands Brackish mars-

- hes classification. *Remote Sensing of Environment* 73: 143-151.
- Pardo MT, Esteve MA, Carreño MF, Martínez J, Miñano J & Rodríguez S. 2004. Análisis de los cambios paisajísticos en los humedales costeros del Mar Menor Murcia, SE Ibérico mediante técnicas de teledetección ambiental. In *Medio Ambiente, Recursos y Riesgos Naturales. Análisis mediante Tecnología SIG y Teledetección. Volumen I* (Conesa C et al., eds.). Murcia: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, pp 421-434.
- Töyrä J, Pietroniro A & Martz LW 2001. Multisensor hydrologic assessment of a freshwater wetland. *Remote Sensing of Environment* 75: 162-173.
- Vidal-Abarca MR, Esteve Selma MA & Suárez Alonso ML. 2003. *Humedales y Ramblas de la región de Murcia*: Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente.
- Wang Q. & Tenhunen JD. 2004. Vegetation mapping with multitemporal NDVI in North Eastern China Transect NECT. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 6: 17-31.