

Cartografía de lagunas temporales del Parque Nacional de Doñana



2011

Autores:
Carola Gómez-Rodríguez
Carmen Díaz-Paniagua
Javier Bustamante



Agencia Andaluza del Agua
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE

Cartografía de lagunas temporales del Parque Nacional de Doñana

Edita Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía

Consejero de Medio Ambiente José Juan Díaz Trillo

Viceconsejero de Medio Ambiente Juan Jesús Jiménez Martín

Director Gerente de la Agencia Andaluza del Agua Juan Paniagua Díaz

Directora General de Planificación y Participación Isabel Comas Rengifo

Dirección Facultativa José M^a Fernández-Palacios Carmona

Autoría Carola Gómez-Rodríguez; Carmen Díaz-Paniagua y Javier Bustamante. Estación Biológica de Doñana (CSIC).

Fotografía José M^a Pérez de Ayala (pag. 9); Héctor Garrido (portada y páginas 5, 7, 14-15, 17); Margarita Florencio (pags. 20, 42, 50); Carmen Díaz-Paniagua (pags. 18, 23dcha, 24, 25, 26 izda, 27, 28, 29, 30 y 32 izda); Carola Gómez-Rodríguez (pag. 26 dcha); Alexandre Portheault (pags. 10, 23 izda, 32 centro y dcha, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 y 41).

Diseño gráfico y maquetación Artefacto

Autores:

Carola Gómez-Rodríguez

Carmen Díaz-Paniagua

Javier Bustamante

ESTACION BIOLÓGICA DE DOÑANA (CSIC)

El valor de lo efímero

Pasajero, de corta duración, o que tiene la duración de un solo día. Así define el *Diccionario de la Real Academia Española* la palabra “efímero”. Frente a la rotunda permanencia del universo mineral la vida se nos antoja leve, delicada, tenue... Una falsa impresión de fragilidad pues desde que apareció en nuestro planeta, hace más de tres mil millones de años, ha manifestado una tenacidad insólita para perpetuarse y “sobrevivir”. Tanto es así que pone a prueba al mismísimo tiempo, que todo lo diluye en el olvido.

Esta obra de cartografía de lagunas temporales del Parque Nacional de Doñana nos alumbra sobre la importancia de lo efímero en el escenario evolutivo de la vida. Una vez más nos sorprende la tenacidad del fenómeno vital en manifestarse con éxito bajo circunstancias extremas. Cualquier posibilidad, por remota que sea, se convierte en una oportunidad para que la vida florezca. Y así ocurre con las charcas de Doñana: unos hábitats fugaces, imprevisibles, sujetos a la reiterada incertidumbre del encharcamiento o la desecación, que sin embargo han sido capaces de sustentar comunidades biológicas de valor y singularidad muy notables. Nos recuerdan al Ave Fénix, capaces de renacer de sus cenizas resacas al albur del reparto de lluvias.

Este inventario tiene la particularidad de cartografiar “poniendo en el mapa” un fenómeno ecológico evanescente: charcas que a veces están y otras veces no, aunque previsiblemente volverán a formarse en un futuro más o menos inmediato, convirtiéndose, desde este mismo momento en que tiene lugar su publicación, en una herramienta de trabajo muy útil que sin duda contribuirá a investigaciones venideras de estos ecosistemas.

José Juan Díaz Trillo
Consejero de Medio Ambiente



Lagunas temporales en los alrededores del Pinar de San Agustín (Doñana) en Marzo de 2010.

Sumario y contenido del CD

En el Parque Nacional de Doñana existe un importante sistema de lagunas temporales que constituyen hábitats singulares de gran importancia para la conservación de un gran número de especies de flora y fauna, que son características de estos medios. Aplicando técnicas de teledetección a una imagen de un sensor hiperespectral aeroportado tomada en un momento de gran inundación, se han localizado y delimitado unas 3000 lagunas temporales.

En este documento se proporciona una cartografía de las lagunas temporales del Parque Nacional de Doñana así como una breve descripción de los principales tipos de lagunas y de las especies más características. La cartografía está disponible como documento pdf para facilitar su consulta en prospecciones de campo. Este documento consta de 48 hojas cartográficas en las que se ha dividido el Parque Nacional. Asimismo, se incluye la cartografía de lagunas temporales como ficheros en formato “shapefile”, que pueden ser utilizados con programas de SIG, como ArcView, ArcGis y gvSig. Está disponible sin proyectar en coordenadas geodéticas en el datum WGS84 y proyectado en coordenadas UTM del huso 30 en el Datum Europeo de 1950 y en el ETRS89. También se incluyen dos archivos shapefile, uno con la localización de los zacallones y otro con la localización de charcas efímeras no identificadas mediante teledetección, ambos proyectados en coordenadas UTM del huso 30 en el datum Europeo de 1950.

Contenido del CD:

El Sistema de Lagunas Temporales de Doñana: Descripción

Mapa del Sistema de Lagunas Temporales

Archivos Shapefile de Lagunas Temporales

El sistema de lagunas temporales de Doñana: Descripción



Indice:

1. El Parque Nacional de Doñana	
1.1 Localización	11
1.2 Descripción física	12
1.3 Clima	16

2. Descripción del sistema de lagunas temporales	
2.1 Definición de laguna temporal	19
2.2 Características generales del sistema de lagunas temporales de Doñana	21
2.3 Tipos de lagunas temporales en Doñana: Hidroperiodo y extensión	23
2.4 Importancia para la conservación: Flora y fauna asociada a las lagunas temporales de Doñana	31
2.5 Amenazas	40

3. Cartografía de lagunas temporales de Doñana	
3.1 Métodos empleados para elaborar la cartografía	44
3.2 Distribución de los cuerpos de agua en Doñana	49

Referencias	52
--------------------	----



Vista del sistema de dunas de Doñana, entre el mar y la marisma. Diciembre de 2003.

El Parque Nacional de Doñana

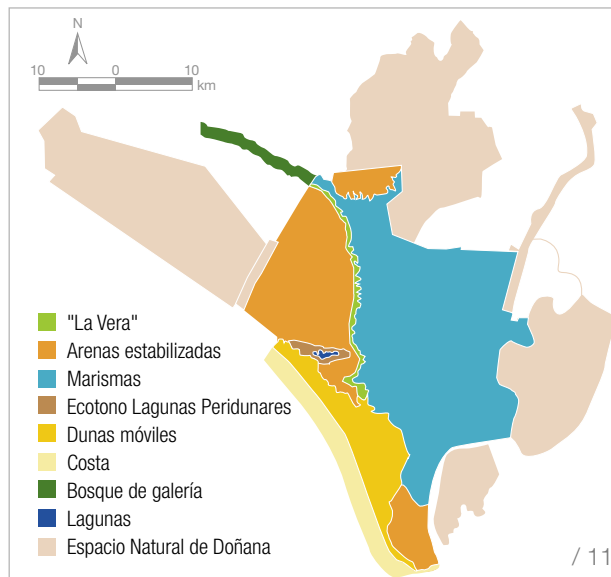
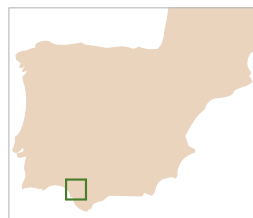
01



1.1

Localización

El Parque Nacional de Doñana es uno de los humedales más importantes de Europa. Se localiza en el suroeste de España (coordenadas 37°00' N 06°38' W), en el margen derecho del estuario del río Guadalquivir. Su extensión es de 54.252 ha, de las que aproximadamente la mitad corresponden a marismas. El resto corresponde a zonas de suelo arenoso, donde se forman un gran número de lagunas temporales durante la época más lluviosa del año. El Parque Nacional está rodeado por otros territorios con menor nivel de protección, constituyendo conjuntamente lo que se denomina como Espacio Natural de Doñana, que engloba una superficie aproximada de 121.000 ha.



Localización del Espacio Natural de Doñana y principales áreas dentro del Parque Nacional.

El Parque Nacional de Doñana se puede dividir en tres regiones morfogénicas: el litoral (línea de costa), el manto eólico (arenas) y el estuario (marismas) (Siljeström y col. 1994).

- > **El litoral (o costa)**, situado en el suroeste del parque, tiene una longitud de 28 kilómetros. Las playas son de arena fina, escasa pendiente y extensas durante la bajamar.
- > **Las marismas** se localizan al este, junto al margen del río Guadalquivir. Su régimen de inundación es estacional y depende, principalmente, del aporte de precipitación. En años lluviosos suelen inundarse en otoño y secarse a finales de primavera o comienzos de verano. Sin embargo, en años secos pueden permanecer secas todo el año. El sustrato está compuesto por limos y arcillas y la vegetación dominante son las castañuelas (*Scirpus maritimus*) y los bayuncos (*Scirpus littoralis*).
- > **El manto eólico** se localiza al oeste del parque y ocupa casi la mitad del territorio. En él se pueden diferenciar las dunas móviles, las arenas estabilizadas y las áreas de contacto:
 - **Las dunas móviles** discurren paralelas a la costa, formando una franja larga (25 km) y estrecha (3-5 km). Se forman por la acción de los vientos que soplan desde el mar hacia el interior. Los cuerpos de agua son prácticamente inexistentes en las dunas, exceptuando algunos de origen antrópico y las charcas efímeras que se forman en los valles interdunares por la descarga de acuíferos colgados.
 - **Las arenas estabilizadas** son el resultado de la estabilización de las dunas móviles por la vegetación y su posterior erosión por deflación eólica y

escorrentía superficial (Clemente y col. 1998). La vegetación dominante es el matorral mediterráneo y las especies arbóreas más comunes son el pino (*Pinus pinea*) y, en las zonas de mayor altitud, localmente denominadas “Las Naves”, el enebro (*J. oxycedrus subsp. macrocarpa*) y la sabina (*J. phoenicea subsp. turbinata*). La composición de la vegetación arbustiva está determinada por la profundidad de la capa freática, que es la responsable de la disponibilidad de agua. En las zonas de mayor altitud, donde la capa freática es más profunda, la vegetación se denomina “monte blanco” y está dominada por *Halimium halimifolium* y *Cistus libanotis*. En las de menor altitud, donde la capa freática es más superficial, la vegetación se denomina “monte negro” y está dominada por *Calluna vulgaris* y *Erica scoparia* (Allier y col. 1974).

- **Las áreas de contacto (o ecotonos)**. Destacan dos grandes zonas de contacto, la existente entre las arenas estabilizadas y las marismas (localmente llamada “La Vera”) y la zona de contacto entre las arenas estabilizadas y las dunas móviles (ecotono de las lagunas peridunares). “La Vera” es una de las zonas más húmedas del parque debido al afloramiento de flujos subterráneos por la diferencia de permeabilidad entre las arenas y el limo y arcilla de las marismas. Gracias a este régimen hídrico, son numerosas las praderas, la vegetación higrofitica y los helechales. En esta zona existen grandes ejemplares de alcornoque (*Quercus suber*). El ecotono de las lagunas peridunares alberga una gran variedad y densidad de lagunas temporales debido a la proximidad de la capa freática y las descargas procedentes de los acuíferos colgados de las dunas. En él se localizan las dos lagunas permanentes del parque, “La laguna de Santa Olalla” y “La Dulce”.



Vista aérea de Doñana en Marzo de 2010 en la que se observa el borde de las marismas, múltiples lagunas en el área de arenas estabilizadas, el cordón de dunas móviles y al fondo la costa Atlántica.

El área presenta un clima mediterráneo suavizado por la influencia oceánica. Los veranos son largos, cálidos y secos, mientras que los inviernos son húmedos y de temperaturas suaves, siendo raras las heladas. La precipitación es muy variable, pudiendo considerarse impredecible de un año a otro. La precipitación anual media es de 550 mm. Sin embargo, la precipitación puede superar los 1000 mm en años muy lluviosos y no llegar a los 300 mm en años secos. En general, el periodo más lluvioso es el otoño, aunque hay años en los que la precipitación otoñal es muy escasa, retrasándose las principales lluvias del año hasta el invierno o incluso a la primavera.



Las grandes lagunas permanentes de la Reserva Biológica de Doñana: La Dulce y Santa Olalla, y a continuación la de las Pajas, además de multitud de lagunas temporales (Marzo 2010).

02

Descripción del sistema de lagunas temporales



2.1

Definición de laguna temporal

Las lagunas temporales son medios acuáticos con una fase seca recurrente que, en áreas mediterráneas, coincide con el verano. Por su peculiar ciclo de inundación constituyen hábitats acuáticos importantes para un gran número de especies de flora y fauna. En el área mediterránea la inundación suele producirse en otoño-invierno aunque, en años muy secos, puede retrasarse hasta la primavera o incluso no llegar a ocurrir, permaneciendo las lagunas secas durante todo el año. Por tanto, el periodo de tiempo que permanece inundada una laguna temporal (denominado “hidroperiodo”) varía entre años y depende de la cantidad de lluvias caídas, de la época del año en la que se producen y de su continuidad a lo largo del año. El hidroperiodo es uno de los atributos más importantes de una laguna temporal, ya que condiciona la flora y/o fauna que puede habitar en ella. Considerando un periodo de tiempo más largo, las lagunas temporales también pueden caracterizarse teniendo en cuenta el número de años en los que se produce su inundación (frecuencia de inundación). En general, el hidroperiodo anual y la frecuencia de inundación de las lagunas están correlacionados, de forma que, por ejemplo, las de mayor hidroperiodo anual son las que suelen inundarse en un mayor número de años.

La flora y fauna asociada a las lagunas temporales es, en general, diferente a la que se encuentra en medios acuáticos permanentes (Collinson y col. 1995, Céréghino y col. 2008). Las especies que viven en las lagunas temporales están adaptadas a la impredecibilidad que caracteriza a estos hábitats y, sobre todo, son capaces de soportar los prolongados periodos de desecación. Además, la presión por depredación es menor, sin llegar a ser nula, en las lagunas temporales que en las permanentes, ya que la fase seca impide que se establezcan poblaciones de peces.

2.2

Características generales del sistema de lagunas temporales de Doñana



Aspecto de la misma laguna temporal en dos años de diferente precipitación anual, entre los que se observaron notables diferencias en la extensión de la laguna y en el hidroperiodo.

Las lagunas temporales y, en concreto, las de áreas mediterráneas, son un hábitat prioritario según la Directiva de Hábitats 92/43/EEC (categoría 3170, European Commission 2007). No obstante, el interés por su conservación es muy reciente, lo que ha provocado que muchas lagunas temporales hayan sufrido transformaciones importantes que han llevado en numerosas ocasiones a su desaparición (Williams y col. 2001, Grillas y col. 2004, Williams 2006, Zacharias y col. 2007). En general, el número de lagunas temporales de origen natural que se conservan en Europa es reducido debido a que el origen de la mayoría está asociado a la actividad humana (abrevaderos de ganado, canteras, balsas de explotaciones mineras...). De hecho, el área de Doñana es una excepción, ya que constituye uno de los sistemas de lagunas temporales de origen natural más extensos de Europa.

Las lagunas temporales de Doñana son cuerpos de agua de tamaño muy variable, oscilando entre unos pocos metros cuadrados y varias hectáreas (Gómez-Rodríguez y col. 2009) y pudiendo llegar a ser mucho más extensas en momentos puntuales de gran inundación, cuando lagunas próximas forman un único cuerpo de agua por acción de la escorrentía superficial y/o el desbordamiento de las cubetas. Suelen ser poco profundas (promedio de profundidad máxima = 73 cm en la primavera de 2007, según Díaz-Paniagua y col. 2010) y de escasa pendiente.

A grandes rasgos, presentan una morfometría muy similar, en la que dominan las aguas abiertas o con macrófitos mientras que las zonas con vegetación de helófitos y las muy profundas presentan extensiones reducidas (Gómez-Rodríguez y col. 2009). La composición fisicoquímica del agua varía a lo largo del tiempo, tanto dentro de un mismo año como entre años (García-Novo y col. 1991, Gómez-Rodríguez y col. 2009) y, por tanto, cualquier descripción realizada en base a este tipo de parámetros puede ser a su vez muy variable. En general, la conductividad eléctrica y el pH presentan un amplio rango de variación (conductividad: 58-4180 $\mu\text{S}/\text{cm}$; pH: 5.7-9.3) y la concentración de nutrientes y de iones es baja, con predominio del catión sodio y el anión cloruro (Gómez-Rodríguez y col. 2009, Díaz-Paniagua y col. 2010).

El hidroperiodo de las lagunas temporales de Doñana es extremadamente variable entre años. En general, las lagunas temporales se inundan cuando el aporte de precipitación tras el verano supera los 200 mm aproximadamente (Díaz-Paniagua

2.3 Tipos de lagunas temporales en Doñana: Hidroperiodo y extensión

y col. 2010), lo cual suele producirse en otoño aunque frecuentemente se retrasa. El momento de la desecación depende de las características de la laguna y del aporte de precipitación del año concreto pero, en la mayoría de ellas, no suele ser posterior al inicio del verano. Existe la posibilidad de que la desecación de las lagunas se produzca durante el otoño o el invierno si la lluvia es escasa en los meses posteriores a la inundación. En ese caso, si las lagunas se inundan de nuevo ese mismo año, nos encontramos ante un ciclo de inundación intermitente.

Caracterizar las lagunas temporales en base a su hidroperiodo es complicado debido a su gran variabilidad interanual. De esta forma, es posible que una misma laguna permanezca inundada durante pocos meses en un año seco y su duración sea mucho más prolongada en un año lluvioso. No obstante, se puede establecer una clasificación en función del hidroperiodo relativo de las lagunas, el cual sí suele ser constante, de forma que las lagunas de menor duración son siempre las mismas, tanto en años secos como lluviosos, y lo mismo ocurre con las de mayor duración. Es decir, aunque el hidroperiodo sea diferente entre años, el orden de las lagunas dentro del gradiente de hidroperiodo de cada año es muy similar (Gómez-Rodríguez y col. 2009).

Una clasificación de lagunas temporales de Doñana es una simplificación práctica de un sistema muy variable en el tiempo que se hace con la finalidad de proporcionar una herramienta útil para su descripción. La clasificación se basa en sus características más importantes, como el hidroperiodo. Dependiendo de la duración de su inundación o hidroperiodo, una laguna podrá ser el hábitat idóneo para unas especies y no para otras. Otras características importantes son el tamaño de las lagunas y si tienen o no un origen natural.

> **Lagunas temporales de corta duración:** Estas lagunas son someras y de pequeño tamaño (diámetro 2-15 m, aproximadamente). Presentan una duración inferior a 4-5 meses en años de precipitación media, desecándose durante la primavera. El aporte principal de agua es la precipitación. Normalmente no tienen una cubeta bien definida o con una pendiente marcada. La vegetación dominante son especies de praderas tolerantes a episodios de inundación recurrentes.





Lagunas temporales de corta duración.

Un tipo especial son las lagunas someras (praderas inundadas o charcas efímeras) que, en años extremadamente lluviosos, se forman con posterioridad a las de corta duración y que por ello tienen menor hidroperiodo, pudiendo llegar a permanecer inundadas entre 1.5 y 3 meses. Se inundan cuando las precipitaciones continúan intensamente después de la formación de las lagunas temporales, que inundan entonces ampliamente sus orillas a la vez que se encharcan muchas praderas, dando lugar a este tipo de lagunas muy efímeras, normalmente en la mitad del invierno o en primavera. Son importantes desde un punto de vista ecológico, pues en ellas no suele haber depredadores importantes y la probabilidad de una desecación temprana suele ser el principal riesgo para las especies que las habitan.

- > **Lagunas temporales de duración intermedia:** Este tipo de lagunas es muy abundante en el Parque Nacional de Doñana. En un año con precipitación media suelen permanecer inundadas seis o siete meses, desecándose normalmente al final de la primavera o, excepcionalmente, al principio del verano. Su diámetro suele oscilar entre 15 y 30 metros.

Las especies vegetales propias de praderas crecen en sus bordes y, en las zonas más profundas, se desarrollan especies con mayores requerimientos hídricos, sumergidas o semiflotantes.



Laguna temporal de duración intermedia.



Lagunas temporales de duración intermedia.

- > **Lagunas temporales de larga duración:** En un año con precipitación media, estas lagunas suelen permanecer inundadas durante el inicio o gran parte del verano (ocho meses o más). En un momento de gran inundación, su diámetro puede ser superior a los 100 metros. Suelen presentar una zonificación interna muy marcada, con microhábitats claramente diferenciados (ej. zonas profundas, zonas con vegetación de macrófitos, zonas con vegetación helofítica, zonas someras, etc.).

Además de la vegetación descrita en los otros grupos, se desarrollan juncales en los que predominan especies como *Scirpus holoschoenus* o *Juncus acutus*.



Laguna de larga duración: Laguna del Pajarillo.



Laguna de larga duración: Rincón del Guerrero.

- > **Zacallones:** Son cuerpos de agua excavados artificialmente con el fin de garantizar la disponibilidad de agua para el ganado o fauna silvestre durante todo el año, especialmente en el verano. Por ello, suelen ser los de mayor profundidad, aunque de reducido tamaño. En ellos se desarrolla la vegetación acuática sumergida descrita en los anteriores tipos de lagunas, al igual que otras especies con mayores requerimientos hídricos como *Potamogeton natans* o *Potamogeton lucens*. En las áreas más secas del parque, como los Pinares de Marismillas, aparecen aislados y son los únicos cuerpos de agua existentes en la mayoría de los años, desempeñando así un papel muy importante como reservorio de especies, muchas de ellas singulares.



Zacallones: charcas excavadas por el hombre para que el ganado y la fauna silvestre las usen como abrevaderos.

- > **Caños:** Los caños son pequeños arroyos temporales que conducen el agua desde las arenas hacia las marismas durante los periodos posteriores a fuertes precipitaciones. Cuando no existe esa escorrentía superficial, quedan fragmentados en lagunas de distintas dimensiones e hidroperiodo, siendo las de mayor duración las que se encuentran en el borde de las marismas, donde algunas de ellas pueden permanecer inundadas durante todo el verano.



Caño de la Caquera.

La flora y la fauna asociada a las lagunas temporales es diferente a la de las lagunas permanentes ya que las especies tienen que ser capaces de sobrevivir durante la fase seca de estos sistemas acuáticos. Además, las especies adaptadas a este tipo de hábitats poseen requerimientos ecológicos específicos que hacen que determinados tipos de lagunas temporales sean más favorables que otros para especies concretas, produciéndose así una segregación espacial de estas. Por ejemplo, el hidroperiodo de una laguna determina las especies que pueden sobrevivir en ella (al menos en el caso de las que no tienen la capacidad de dispersarse), ya que es necesario que la laguna permanezca inundada durante la fase acuática obligada de las especies. De esta forma, la gran variedad y abundancia de lagunas temporales en Doñana ha permitido que, en su conjunto, la flora y fauna asociada a estos cuerpos de agua sea muy diversa.

Por otro lado, la dinámica natural y, en especial, la gran variabilidad interanual en el sistema (Gómez-Rodríguez y col. 2009, Gómez-Rodríguez y col. 2010a), también favorecen la diversidad de especies, ya que propician que una laguna determinada sea el hábitat adecuado de diferentes especies a lo largo de los años (Gómez-Rodríguez y col. 2010b).

Flora y vegetación

Muchas lagunas temporales se forman sobre praderas inundables y, por tanto, especies como *Agrostis stolonifera*, *Illecebrum verticillatum*, *Mentha pulegium* o *Baldellia ranunculooides* son frecuentes en la cubeta o, por lo menos, en los bordes de la misma. En las zonas más profundas son frecuentes los macrófitos sumergidos o semiflotantes, entre los que las especies más frecuentes son *Ranunculus peltatus*, *Myriophyllum alterniflorum*, *Callitriche obtusangula* o *Callitriche brutia*. En los zacallones o en las lagunas temporales más profundas, que pueden tener agua durante el verano, aparecen especies con mayores requerimientos hídricos como *Potamogeton natans* o *Potamogeton lucens*.

En las lagunas temporales de Doñana aparecen especies singulares por su rareza o vulnerabilidad, como son *Hydrocharis morsus-ranae*, *Callitriche regis-jubae*, *Callitriche lusitanica*, *Lemna trisulca*, *Wolffia arrhiza* o *Thorella verticillato-inundata* (Díaz-Paniagua y col. 2010). Las alianzas fitosociológicas más comunes son *Isoetion*, *Nanocyperion flavescens*, *Preslion cervinae*, *Eleochoion* y *Lythron tribracteati*, todas ellas incluidas en la Directiva de Hábitats de la Unión Europea.



Potamogeton natans



Lemna trisulca



Ranunculus peltatus

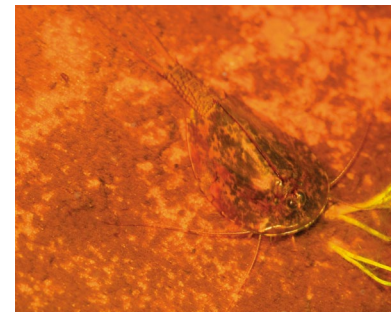
Fauna

En Doñana se han registrado numerosas especies de crustáceos y rotíferos planctónicos, entre las que destacan algunos endemismos importantes, como el rotífero *Lecane donyanaensis* (Galindo y col. 1994) o los crustáceos *Daphnia hispanica* y *Dussartius baeticus* (Fahd y col. 2009). En particular, las lagunas de corta duración de Doñana tienen mayor riqueza de especies de crustáceos y rotíferos que las de mayor hidroperiodo (Fahd y col. 2009).

En las lagunas temporales de Doñana, Florencio y col. (2009) registraron más de 122 especies de macroinvertebrados, incluyendo bajo este término a especies de crustáceos, insectos, ácaros, gasterópodos e isópodos. Los coleópteros acuáticos constituyen el orden con mayor número de especies y, dentro de ellos, las familias Dytiscidae e Hydrophilidae. Sin embargo, las especies que alcanzan mayor abundancia en las lagunas temporales se incluyen en los órdenes Ephemeroptera (*Cloeon spp.*) y Heteroptera (*Anisops sardeus* y *Corixa affinis*).



Branchipus cortesi



Triops mauritanicus

Estos hábitats son también importantes para la reproducción de especies que en su fase adulta no son acuáticas, como los odonatos (16 especies) o los dípteros (14 familias). Las charcas someras de muy corta duración son hábitats importantes para los macrocrustáceos, como *Triops mauritanicus*, o los anostráceos *Tanytarsus stagnalis* o *Chirocephalus diaphanus*. En la comunidad de macroinvertebrados destacan algunas especies por su especial interés de conservación, como los odonatos *Coenagrion scitulum* y *Lestes macrostigma*, catalogadas como vulnerables en la lista roja ibérica (Verdú y Galante 2005).



Larvas de *Hygrobia hermanni*.



Larva de *Hyphydrus aubei*.



Larva de *Aeshna mixta*.



Coleópteros acuáticos: *Rhantus hispanicus*, larva de *Cybister lateralimarginalis* depredando un odonato, *Helochares lividus* y *Eretes griseus*.

También son destacables las de distribución restringida al norte de África y mitad sur de la Península Ibérica, como *Hygrotus lagari*, *Hydroporus lucasi*, *Cybister tripunctatus africanus* y *Laccobius revelierei*, o los endemismo ibéricos *Haliplus andalusicus* y *Rhantus hispanicus* (Díaz-Paniagua y col. 2010).



Adulto de *Corixa affinis*.



Adulto de *Naucoris maculatus*.



Adulto de *Colymbetes fuscus*.



Adulto de *Hydrochara flavipes*.

Entre los vertebrados destacan los anfibios y los quelonios acuáticos. También se observan ocasionalmente algunos peces, aunque posteriormente no son capaces de sobrevivir durante la fase de la desecación. Los peces colonizan estos medios en años muy lluviosos, cuando las lagunas llegan a conectarse entre ellas y con las marismas. El pez más frecuente es *Gambusia holbrooki*, una especie alóctona muy abundante en las marismas.

Los galápagos son muy abundantes en Doñana, donde se encuentran poblaciones de las dos especies ibéricas, *Mauremys leprosa* y *Emys orbicularis*, ambas en buen estado de conservación, a pesar de que en otras áreas de España se consideran bajo distintos grados de amenaza (Pleguezuelos y col. 2002). Se encuentran en las lagunas permanentes, zacallones y en las lagunas de larga o intermedia duración, pero no en las más efímeras o de corta duración (Keller y col. 1995).



Adultos de *Bufo calamita* y *Pelobates cultripes*.

En Doñana viven 11 de las 13 especies de anfibios del suroeste de España. Las nueve especies que se reproducen en medios acuáticos temporales son abundantes, siendo raras el sapo común (*Bufo bufo*), que se reproduce en las lagunas permanentes, y el sapo partero ibérico (*Alytes cisternasii*), al que sólo se encuentra en los arroyos situados al norte del Parque Nacional. El sapo corredor (*Bufo calamita*) o el sapillo pintojo ibérico (*Discoglossus galganoi*) utilizan pequeñas lagunas someras donde sus larvas pueden completar su desarrollo en uno o dos meses. La ranita meridional (*Hyla meridionalis*) y el tritón pigmeo (*Triturus pygmaeus*) son las especies más abundantes y se reproducen en la mayoría de las lagunas, tanto de corta, intermedia o larga duración. Similares requerimientos reproductivos tiene el tritón ibérico (*Lissotriton boscai*), aunque su distribución no está tan extendida por todo el parque. El sapo de espuelas (*Pelobates cultripes*) y el gallipato (*Pleurodeles waltl*) son las especies que requieren mayor tiempo para poder completar su desarrollo y, por tanto, utilizan lagunas temporales de



Pareja en amplexo de *Hyla meridionalis*.

larga duración. El sapillo moteado meridional (*Pelodytes ibericus*) se reproduce principalmente en las marismas, pero también lo encontramos en las lagunas temporales próximas a estas. La rana común, *Pelophylax perezi*, es la única especie asociada a medios permanentes, como los zacallones y caños, aunque también es capaz de reproducirse en medios temporales (Díaz-Paniagua 1990, Díaz-Paniagua y col. 2005, Díaz-Paniagua y col. 2006).



Macho adulto de *Triturus pygmaeus*.

Esta segregación espacial en el uso de los hábitats se complementa con una marcada segregación temporal, de forma que unas especies se reproducen inmediatamente después de la inundación de las lagunas (el sapo de espuelas o el sapillo moteado), otras comienzan la reproducción varios meses más tarde, cuando ya han pasado los meses más fríos (el sapo corredor, la ranita meridional y los tritones) y otras, como la rana común, se reproducen al final de la primavera (Díaz-Paniagua 1988, Díaz-Paniagua 1992).



Larvas de *Lissotriton boscai* y de *Pleurodeles waltl*.



Huevos de *Pelobates cultripes*.

A pesar de que las lagunas temporales son hábitats acuáticos muy vulnerables, frecuentemente sometidos a grandes transformaciones (Williams y col. 2001, Grillas y col. 2004, Zacharias y col. 2007), el sistema de lagunas de Doñana se ha conservado gracias al alto grado de protección bajo el que se encuentra todo el área. A pesar de ello, también está sometido a amenazas importantes que pueden tener grandes repercusiones sobre la estabilidad de sus comunidades y sobre la dinámica del sistema.

Una de las principales amenazas es la sobreexplotación del acuífero para usos agrícolas o abastecimiento de urbanizaciones próximas, que puede causar la desecación de las lagunas o el acortamiento de su hidroperiodo (Manzano y Custodio 2005). En particular, el daño que provoca la extracción para el abastecimiento urbano se detecta principalmente en el área de las lagunas peridunares (Serrano y Serrano 1996), donde ya se ha producido la desecación permanente de las lagunas más próximas a las bombas de extracción.

Una amenaza importante para las comunidades que habitan estos medios temporales es la presencia de especies exóticas, como el cangrejo rojo americano, *Procambarus clarkii*, que, aunque no tiene poblaciones estables en las lagunas temporales, las puede colonizar desde las marismas en momentos de gran inundación. Entre las especies vegetales introducidas destaca *Azolla filiculoides*, que se encuentra principalmente en las marismas y en las lagunas próximas a estas. Los cambios globales que actualmente afectan a todo el planeta pueden tener asimismo importantes repercusiones sobre la dinámica temporal de estas lagunas, ya que el ciclo anual de precipitaciones parece estar alterándose y se ha incrementado la intensidad de los periodos de sequía en los últimos años.



La planta exótica invasora *Azolla filiculoides* entre lentejas de agua.

03



Cartografía de lagunas temporales de Doñana

La distribución espacial de los hábitats en general y, en particular, de las lagunas temporales debe ser tenida en cuenta en las estrategias de conservación, puesto que condiciona la distribución de las especies que viven en ellas (Semlitsch y Bodie 1998). Una cartografía detallada de estos hábitats permite conocer el número de ellos existente en el Parque Nacional de Doñana y a la vez constituye una herramienta valiosa para su gestión y protección. Además, es una información útil para el estudio de las comunidades que albergan, ya que, por ejemplo, permite evaluar la conectividad entre hábitats para garantizar que las especies dispongan de hábitats adecuados accesibles (Fortuna y col. 2006) o identificar zonas con gran diversidad de hábitats de reproducción que favorecerán la diversidad de flora y fauna asociadas (ver Díaz-Paniagua y col. 2006).



3.1 Métodos empleados para elaborar la cartografía

La teledetección es una herramienta útil para el seguimiento de los cuerpos de agua (Revenga y col. 2005). Su aplicación para la identificación y delimitación de cuerpos de agua es de especial interés en áreas extensas, donde la identificación de cuerpos de agua mediante métodos tradicionales (p.ej. visitas de campo o fotointerpretación) puede ser muy costosa. Además, en sistemas de lagunas temporales, los métodos tradicionales pueden resultar ineficaces si la toma de datos se lleva a cabo en épocas del año inadecuadas, como puede ser la estación seca, cuando las lagunas temporales no tienen agua. En el caso de la fotointerpretación, la identificación de lagunas secas es difícil al no haber diferencias entre la reflectividad del sustrato de la laguna y la de los alrededores (Lathrop y col. 2005) y, además, por carecer muchas de ellas de una cubeta bien diferenciada.

Cabe destacar que, en el caso de las lagunas temporales, el momento de adquisición de las imágenes es clave tanto para estudios de fotointerpretación manual como de análisis automático de imágenes (obtenidas por satélite o sensor aeroportado), ya que determina el número de lagunas que están inundadas y son, por tanto, detectables. Por ello, es recomendable que la imagen que se adquiera corresponda a un momento de máxima inundación para que la cartografía que se elabore a partir de ella sea una representación de todos los cuerpos de agua que pueden existir en el área.

La presente cartografía de lagunas temporales de Doñana ha sido elaborada a partir de una serie de cinco imágenes hiperespectrales adquiridas mediante el sensor aeroportado AHS (ver Sobrino y col. 2006 para detalles del sensor) por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) para el Instituto Geológico y

Minero de España (IGME) el 27 de abril de 2004 (Antón-Pacheco y col. 2006). Esta fecha coincidió con un momento de gran inundación en el Parque Nacional de Doñana. Las imágenes no incluyen el área al norte del parque conocida como “Coto del Rey”. La resolución espacial de las imágenes es de 5 x 5 metros. El Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial realizó la corrección radiométrica de las imágenes, convirtiendo así los niveles digitales a valores de radiancia absoluta en función de los coeficientes de calibración del sensor. Las imágenes proporcionadas por el INTA fueron georreferenciadas usando como base la Ortofotografía Digital de Andalucía (Junta de Andalucía 2003), que fue elaborada a partir de un vuelo realizado en 2001-2002, tiene una resolución de 0.5 x 0.5 metros y proyección UTM en el huso 30 (Datum Europeo de 1950 para España y Portugal).

En total, las cinco imágenes proporcionadas por el INTA se subdividieron en 19 porciones y cada una fue corregida con 80-100 puntos de control mediante la aplicación de una transformación polinómica de segundo orden y un muestreo de vecino más próximo usando el programa ENVI 4.0 (RMS < 1 píxel).

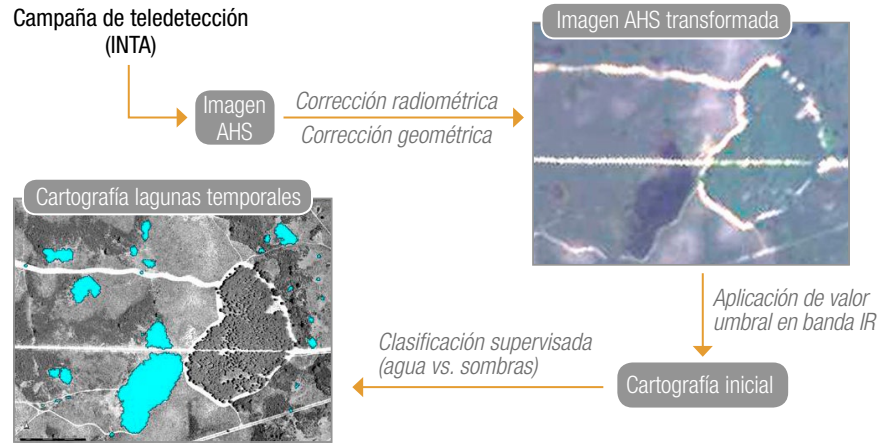
La metodología aplicada para la construcción de la cartografía a partir de la imagen pre-tratada consistió básicamente en tres pasos: Análisis exploratorio, delimitación de cuerpos de agua y evaluación de la cartografía.



Análisis exploratorio

En una porción de imagen se identificaron unidades de paisaje conocidas (duna, pinar, matorral, juncos, sendero, borde de sendero, agua profunda en lagunas permanentes, agua en lagunas temporales de larga duración, agua en otro tipo de lagunas temporales) para calcular su valor mínimo y máximo de radiancia en las 21 bandas espectrales que cubrían el espectro visible e infrarrojo (entre $0.445 \pm 0.027 \mu\text{m}$ y $1.622 \pm 0.159 \mu\text{m}$). Con ello se pudieron identificar las bandas en la que no existía solapamiento en los valores de radiancia entre las cubiertas terrestres y acuáticas. Se seleccionó la banda 20, en el infrarrojo cercano ($\lambda = 1.004 \pm 0.030 \mu\text{m}$), y el valor de radiancia que separaba de forma más efectiva ambas categorías (radiancia = $3.4 \text{ nW/cm}^2 \text{ sr nm}$).

Campaña de teledetección (INTA)



Esquema de los métodos para cartografiar las lagunas temporales Doñana.

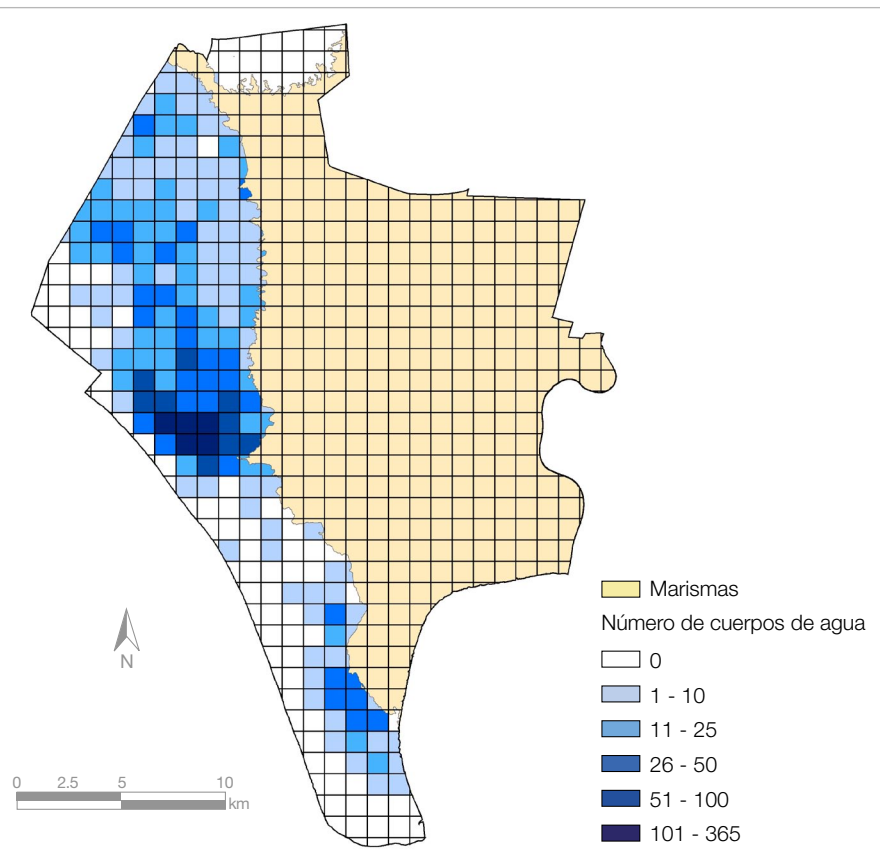
Delineación de cuerpos de agua

El valor umbral seleccionado se aplicó a todas las imágenes, con pequeños ajustes para garantizar una máxima discriminación entre agua y cubiertas terrestres y corregir por posibles diferencias en radiancia de las imágenes debidas a la hora de adquisición. Esta cartografía inicial de cuerpos de agua identificaba, de forma errónea, sombras de árboles como cuerpos de agua. Para eliminar los errores producidos por las sombras, se le aplicó una clasificación supervisada con distancia de Mahalanobis usando todas las bandas espectrales disponibles mediante el programa ENVI 4.0. EL clasificador supervisado de distancia de Mahalanobis es sensible a la dirección que usan los estadísticos de cada clase de verdad-terreno. Es similar a un clasificador de Máxima Verosimilitud pero asume que las covarianzas en las clases definidas son iguales. Todos los píxeles son asignados a la clase de la que se encuentran más próximos a menos que se defina una distancia umbral.

Evaluación de la cartografía

En marzo y abril de 2006 se muestrearon dos áreas de 1.5×1.5 kilómetros para verificar la exactitud de la cartografía realizada. Se identificaron tanto los cuerpos de agua que no aparecían en la cartografía como los polígonos de la cartografía que no se correspondían con lagunas temporales en el campo. La cartografía identificó correctamente el 85% de las lagunas presentes en las áreas de control. Los polígonos que no se correspondían con cuerpos de agua (17 polígonos) tenían un tamaño pequeño (tamaño medio = 35 m^2 ; tamaño máximo = 50 m^2) y habían sido causados por sombras de árboles. Un total de 13 lagunas efímeras no fueron identificadas mediante el método utilizado para elaborar la cartografía. Por tanto, los errores de omisión y comisión están equilibrados.

3.2 Distribución de los cuerpos de agua en Doñana



Densidad de lagunas en el Parque Nacional de Doñana.

El número de cuerpos de agua identificados en Doñana es de 2867, incluyendo las dos lagunas permanentes y excluyendo las marismas. El método aplicado presenta un porcentaje de correcta identificación del 85% (Gómez-Rodríguez 2009). La presente cartografía también incluye la localización de 162 zacallones y de 147 lagunas efímeras de las que se conoce su existencia aunque no han sido identificadas mediante teledetección. La localización y perímetro de las lagunas temporales se muestra sobre la Ortofotografía Digital de Andalucía (Junta de Andalucía 2003), a la cual se le ha añadido el límite aproximado de las marismas según Castroviejo (1993). La toponimia utilizada para nombrar las lagunas recoge el uso tradicional en el parque. Para su elaboración se ha consultado a los Guardas de la Reserva Biológica de Doñana (en particular a Jaime Robles en la Reserva Biológica y Rafael Vázquez en el Parque Nacional), y se ha completado con la información de los mapas cartográficos de Doñana (Castroviejo 1993, Instituto Geográfico Nacional 2010) y de los cuadernos de campo de Doñana publicados en internet por la Fundación BBVA (Fundación BBVA-Estación Biológica de Doñana 2010). El número de errores debido a las lagunas identificadas erróneamente y el debido a las no detectadas está compensado, por lo que no se espera que el número total de lagunas sea muy variable en el área. Los errores de comisión (lagunas identificadas erróneamente) desaparecen prácticamente si no se tienen en cuenta los cuerpos de agua de dos píxeles o menos (50 m²). Además de la presente cartografía, existe un mapa de zonas palustres en el Espacio Natural de Doñana realizado por el IGME (Antón-Pacheco y col. 2007).

En general, las lagunas temporales del Parque Nacional de Doñana son cuerpos de agua de pequeño tamaño (el 60% de las lagunas temporales tiene un tamaño

igual o inferior a 150 m²). Su distribución no es uniforme en el parque. La mitad más septentrional tiene mayor número de lagunas temporales que la meridional, como se aprecia en el hecho de que en el sur no existen prácticamente lagunas y los principales cuerpos de agua son los zacallones. La mayor densidad de lagunas se encuentra en los alrededores de las grandes lagunas permanentes, donde se observan cuadrículas con más de 50 y de 100 lagunas/km², incluyendo lagunas temporales de duración y extensión muy variable. Otra zona importante es la Vera, donde en determinados puntos se alcanzan densidades entre 26 y 50 lagunas/km², y se caracteriza además por la presencia de caños que vierten hacia las marismas. Las zonas de dunas móviles y las Naves son las más secas, ya que sólo tienen lagunas temporales en las proximidades de las arenas estabilizadas.



Laguna del Zahillo.

Clasificación de las lagunas temporales del Parque Nacional de Doñana en función de su extensión.



Referencias

Allier C, González-Bernáldez F, Ramírez-Díaz L (1974). Mapa Ecológico de la Reserva Biológica de Doñana. Sevilla: División de Ciencias del CSIC, Estación Biológica de Doñana.

Antón-Pacheco C, Moreno MT, Gómez JA, Jiménez M, Mediavilla C, Gumiel JC, Prado E, Rejas JG, Gutiérrez O, Rebollo A (2006). Contribución al estudio de los humedales del manto eólico litoral de el Abalario-Doñana a partir de imágenes AHS. Revista de Teledetección, 26: 48-58.

Antón-Pacheco C, Moreno Álvarez MT, Gumiel Gutiérrez JC, Mediavilla C (2007). Estudio de los humedales y de los usos del suelo en la comarca de Doñana y su entorno mediante técnicas de teledetección. Informe interno IGME. 162 pp y anexos.

Castroviejo J (1993). Memoria. Mapa del Parque Nacional de Doñana, escala 1/50.000. Sevilla: CSIC y Agencia de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

Céréghino R, Biggs J, Oertli B, Declerk S (2008). The ecology of European ponds: defining the characteristics of a neglected freshwater habitat. Hydrobiologia, 597:1-6.

Clemente L, García LV, Siljeström P (1998). Los Suelos del Parque Nacional de Doñana. Madrid: Organismo Autónomo de Parques Nacionales.

Collinson NH, Biggs J, Corfield A, Hodson MJ, Walker D, Whitfield M, Williams PJ (1995). Temporary and permanent ponds: An assessment of the effects of drying out on the conservation value of aquatic macroinvertebrate communities. Biological Conservation, 74:125-133.

Díaz-Paniagua, C (1988). Temporal segregation in larval amphibian communities in temporary ponds at a locality in SW Spain. Amphibia Reptilia, 9: 15-26.

Díaz-Paniagua C (1990). Temporary ponds as breeding sites of amphibians at a locality in southwestern Spain. Herpetological Journal, 1:447-453.

Díaz-Paniagua C (1992). Variability in timing of larval season in an amphibian community in SW Spain. Ecography, 15:267-272.

Díaz-Paniagua C, Gómez-Rodríguez C, Porthault A, de Vries W (2005). Los Anfibios de Doñana. Madrid: Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente.

Díaz-Paniagua C, Gómez-Rodríguez C, Porthault A, de Vries W (2006). Distribución de los anfibios del Parque Nacional de Doñana en función de la abundancia y densidad de los hábitats de reproducción. Revista Española de Herpetología, 20:17-30.

Díaz-Paniagua C, Fernández-Zamudio R, Florencio M, García-Murillo P, Gómez-Rodríguez C, Porthault A, Serrano L, Siljeström P (2010). Temporary ponds from the Doñana National Park: A system of natural habitats for the preservation of aquatic flora and fauna. Limnetica, 29:41-58.

European Commission 2007. Interpretation Manual of European Union Habitats. Natura 2000, Nature and Biodiversity. European Commission.

Fahd K, Arechederra A, Florencio M, León D, Serrano L (2009). Copepods and branchiopods of temporary ponds in the Doñana Natural Area (SW Spain): a four-decade record (1964-2007). Hydrobiologia, 634:219-230.

Florencio M, Serrano L, Gómez-Rodríguez C, Millán A, Díaz-Paniagua C (2009). Inter- and intra-annual variations of macroinvertebrate assemblages are related to the hydroperiod in Mediterranean temporary ponds. Hydrobiologia, 634:167-183.

Fortuna M, Gómez-Rodríguez C, Bascompte J (2006). Spatial network structure and amphibian persistence in stochastic environments. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273:1429-1434.

Fundación BBVA-Estación Biológica de Doñana 2010. Cuadernos de campo de Doñana. Documento web: <http://www.cuadernosdecampo.es/>

Galindo MD, Serrano L, Segers H, Mazuelos N (1994). *Lecane donyanaensis* n. sp. (Rotifera: Monogononta, Lecanidae) from the Doñana National Park (Spain). *Hydrobiologia*, 284:235-239.

García-Novo F, Galindo D, García Sánchez JA, Guisando C, Jaúregui J, López T, Mazuelos N, Muñoz JC, Serrano L, Toja J (1991). Tipificación de los ecosistemas acuáticos sobre sustrato arenoso del Parque Nacional de Doñana. III Simposium de Aguas de Andalucía:165-176.

Gómez-Rodríguez C (2009). Condicionantes ecológicos de la distribución de anfibios en el Parque Nacional de Doñana. Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca.

Gómez-Rodríguez C, Bustamante J, Díaz-Paniagua C (2010a). Evidence of hydroperiod shortening in a preserved system of temporary ponds. *Remote Sensing*, 2:1439-1462.

Gómez-Rodríguez C, Díaz-Paniagua C, Bustamante J, Porthault A, Florencio M (2010b). Inter-annual variability in amphibian assemblages: Implications for diversity assessment and conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20:668-677.

Gómez-Rodríguez C, Díaz-Paniagua C, Serrano L, Florencio M, Porthault A (2009). Mediterranean temporary ponds as amphibian breeding habitats: The importance of preserving pond networks. *Aquatic Ecology*, 43:1179-1191.

Grillas P, Gauthier P, Yavercovski N, Perennou C (2004). *Mediterranean Temporary Pools. Volume 1- Issues Relating to Conservation, Functioning and Management*. Arlés: Station Biologique de la Tour du Valat.

Instituto Geográfico Nacional (2010). Doñana. Parque Nacional. Mapa 1: 25.000. Serie Parques Nacionales de España nº9. Ministerio de Fomento y Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Junta de Andalucía (2003). Ortofotografía Digital de Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.

Keller C, Díaz-Paniagua C, Andreu A, Bravo MA (1995). Distribution of freshwater turtles in the Doñana National Park (SW Spain). Implications for the management of an isolated population. *Proceedings of the International Congress of Chelonian Conservation*:192-195.

Lathrop RG, Montesano P, Tesauro J, Zarate B (2005). Statewide mapping and assessment of vernal pools: A New Jersey case study. *Journal of Environmental Management*, 76:230-238.

Manzano M, Custodio E (2005). El acuífero de Doñana y su relación con el medio natural. In: Doñana Agua y Biosfera. Editado por García Novo F, Marín Cabrera C. Madrid: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Ministerio de Medio Ambiente: 133-142.

Pleguezuelos JM, Márquez R, Lizana M (2002). Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente.

Revenga C, Campbell I, Abell R, de Villiers P, Bryer M (2005). Prospects for monitoring freshwater ecosystems towards the 2010 targets. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 360(1454):397-413.

Semlitsch RD, Bodie JR (1998). Are small, isolated wetlands expendable? *Conservation Biology*, 12:1129-1133.

Serrano L, Serrano L (1996). Influence of groundwater exploitation for urban water supply on temporary ponds from the Doñana National Park (SW Spain). *Journal of Environmental Management*, 46:229-238.

Siljeström PA, Moreno A, García LV, Clemente LE (1994). Doñana National Park (south-west Spain): geomorphological characterization through a soil-vegetation study. *Journal of Arid Environments*, 26:315-323.

Sobrino JA, Jiménez-Muñoz JC, Zarco-Tejada PJ, Sepulcre-Cantó G, de Miguel E (2006). Land surface temperature derived from airborne hyperspectral scanner thermal infrared data. *Remote Sensing of Environment*, 102:99-115.

Verdú JR, Galante E (2005). Libro Rojo de los Invertebrados de España. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza.

Williams DD (2006). *The Biology of Temporary Waters*. Oxford, New York: Oxford University Press.

Williams P, Biggs J, Fox G, Nicolet P, Whitfield M (2001). History, origins and importance of temporary ponds. *Freshwater Forum*, 17:7-15.

Zacharias I, Dimitrou E, Dekker A, Dorsman E (2007). Overview of temporary ponds in the Mediterranean region: Threats, management and conservation issues. *Journal of Environmental Biology*, 28:1-9.



Agencia Andaluza del Agua

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE