

MANUAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS HUMEDALES. EL CONTEXTO ESPAÑOL

Rafael Sánchez y María José Viñals



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



Fundación Biodiversidad

MANUAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS HUMEDALES. EL CONTEXTO ESPAÑOL

Rafael Sánchez y María José Viñals



Madrid, 2012

Autores:

Rafael Sánchez y María José Viñals

Coordinación por la Fundación Biodiversidad:

Ignacio Torres y Victoria Pérez

Coordinación técnica:

Pau Alonso-Monasterio

Este libro ha sido resultado de un proyecto de investigación llevado a cabo por la Fundación Biodiversidad en colaboración con la Confederación Hidrográfica del Júcar. A este proyecto hay que añadir los trabajos adicionales llevados a cabo por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir que complementan esta primera fase de investigación y cuyos avances se esbozan en este documento.

Comité científico:

Carmen Antón-Pacheco, Bruno Ballesteros, Magdalena Bernués, Cesar Borja, Antonio Camacho, Vicente Caselles, Víctor J. Cifuentes, Santos Cirujano, Emilio Custodio, M^a José Checa, José Antonio Domínguez, Rosario Escudero, Rafael Fernández Gutiérrez, Javier Ferrer, Silvia González Castro, Rafael Hidalgo, Guillermo Martínez, Bárbara Mora, Antoni Munné, Manuel Oñorbe.

Autores de las Fotografías:

P. Alonso-Monasterio, A. Asencio, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Confederación Hidrográfica del Júcar, C. González, Fundación Global Nature, M. Oñorbe, J. Ramos, A. Rodríguez, M. Rodríguez, Biopauker, Tragsa, E. Viñals, M.J. Viñals.

Foto Portada:

Enric Viñals

Agradecimientos:

Agencia Catalana del Agua, Centro Español de Humedales, Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Confederación Hidrográfica del Júcar, Instituto Geológico y Minero Español, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Secretariado de la Convención Internacional sobre Humedales o de Ramsar, Tragsatec, INTECSAINARSA, Universidad Politécnica de Cataluña, Universitat Politècnica de València, Universidad de Sevilla, Universitat de València-Estudí General y WWF.

A Eugenio Barrios, Delmar Blasco, Reyes del Río, Arantxa Fidalgo, Rafael Hidalgo, Juan Martínez Rubio, Pablo Sánchez González.

Declaración de responsabilidad

Los autores son responsables de las afirmaciones y los datos presentados en esta publicación, así como de las opiniones expresadas, que no son necesariamente las de la Fundación Biodiversidad.

Citar este libro como: Sánchez, R. y Viñals, M.J. (2012). *Manual para la determinación de las necesidades hídricas de los humedales*. El contexto español. Ed. Fundación Biodiversidad, 68 pp.

Está disponible electrónicamente en español y en inglés en el sitio: http://www.fundacion-biodiversidad.es/images/stories/recursos/proyectos/2012/necesidades_hidricas_humedales.pdf

**Edita:**

© Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría Gneral Técnica
Centro de Publicaciones

Distribución:

Paseo de la Infanta Isabel, 1
28014 Madrid
Teléfono: 91 347 55 41
Fax: 91 347 57 22

© Fundación Biodiversidad
Calle Fortuny, 7
28010 Madrid
www.fundacion-biodiversidad.es

Tienda Virtual: www.magrama.es
centropublicaciones@magrama.es

Impresión y encuadernación:

Diseño Gráfico: Soporte Creativo
Imprime y encuaderna: Punto Gráfico Impresores

NIPO 280-12-139-2

Depósito Legal M-24398-2012

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:
<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

Datos técnicos:

Formato: 20x28cm Caja de texto: 16,3x22,9cm
Tipografía: MetaOT Encuadernación: Rústica cosida con hilo vegetal



El papel utilizado para la impresión de este libro ha sido fabricado a partir de madera procedente de bosques y plantaciones gestionadas con los más altos estándares ambientales, garantizando una explotación de los recursos, sostenible con el medio ambiente y beneficiosa para las personas. Por este motivo, Greenpeace acredita que este libro cumple los requisitos ambientales y sociales necesarios para ser considerado un libro "amigos de los bosques". El proyecto "Libros amigos de los bosques" promueve la conservación y el uso sostenible de los bosques, en especial de los bosques primarios, los últimos bosques vírgenes del planeta.

Índice

1. LOS HUMEDALES Y EL AGUA	6
2. CONSIDERACIONES LEGALES SOBRE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS HUMEDALES	9
2.1. La Convención de Ramsar y las necesidades hídricas	9
2.2. Las necesidades hídricas en las directivas europeas	11
2.3. Legislación española	13
3. COMPONENTES BÁSICOS DEL ESTUDIO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS	17
3.1. La hidrología de los humedales	19
3.2. Los componentes biológicos de los humedales en el estudio de las necesidades hídricas	25
4. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS HUMEDALES	27
4.1. Métodos de cálculo	29
4.2. Fases del análisis para la determinación de las necesidades hídricas	34
5. CASOS DE ESTUDIO	37
5.1. Marisma de Doñana	37
5.2. Laguna de Fuente de Piedra	44
5.3. Albufera de Valencia	50
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
7. ANEXO. Protocolo para la medición del nivel del agua en humedales	59

Presentación

Este es un trabajo que hacía falta, tanto en España como a nivel internacional.

Afortunadamente, ya hemos superado aquella percepción que estuvo arraigada en la conciencia colectiva de que los humedales son espacios inservibles, y hasta peligrosos, que era mejor suplantar por otros usos más útiles del espacio que ocupan. Poco a poco, esa concepción ha sido reemplazada por una gran aceptación social de la importancia y valor de los ecosistemas de humedales. Y en la medida en que nuestros científicos y expertos van aportando más datos sobre las funciones y servicios ecológicos que ellos prestan, ya casi nadie se atreve a poner en duda la necesidad de su conservación y uso sostenible. Al contrario, en muchos casos ya muchos se preocupan genuinamente por tratar de restaurar los humedales degradados e incluso por recuperar, en la medida de lo posible, humedales históricos que desaparecieron debido a la intervención humana.

En este proceso de cambio positivo ha ayudado mucho la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional (Convención de Ramsar), el tratado firmado ya en 1971 y que poco a poco ha ido influenciando las políticas de los Estados miembros (en la actualidad 160), políticas que se han traducido, entre otras cosas, en campañas de educación y sensibilización acerca del valor e importancia de estos ecosistemas. Y dentro de la Unión Europea hemos dado un paso decisivo con la adopción de la Directiva Marco del Agua cuya transposición, a veces lenta y no siempre lineal, a las legislaciones nacionales está asegurando, por fin, que el agua no siga siendo considerada como un bien que está solo al servicio de la especie humana sino que se trata, también, de un elemento esencial para asegurar el buen funcionamiento de los procesos naturales de los que depende la vida, no solo la nuestra, dentro de nuestro espacio existencial.

Sin embargo, una cosa es reconocer el valor de los humedales y de la necesidad de conservarlos, y otra es cómo hacerlo, sobre todo en lo que hace al elemento esencial e intrínseco de estos ecosistemas: el agua. Porque a pesar de que la percepción ha cambiado en cuanto a la finitud del recurso y a la necesidad, práctica y ética, de repartirlo equitativa y eficientemente entre todos sus usos legítimos (necesidad y derecho humano básico, usos productivos, usos ecológicos), todavía no hemos desarrollado suficientemente las capacidades técnicas y los procesos legales, administrativos y de creación de consenso para asignar a cada uso la cantidad de agua que le corresponde por derecho y necesidad.

De allí que este Manual, dedicado específicamente a determinar las necesidades hídricas de los humedales, represente una excelente contribución a este tema. Estoy seguro que será muy útil en España en la medida en que avancemos en la aplicación de la Directiva Marco del Agua, pero también a nivel internacional, como un aporte más a los trabajos del Grupo de Examen Científico y Técnico de la Convención de Ramsar que todavía sigue trabajando en este tema para brindar orientaciones y ayuda técnica y sobre las políticas a los 160 países adheridos al tratado.

Por lo tanto, debemos estar agradecidos a los autores y colaboradores que participaron en la preparación de este Manual porque su aporte será de enorme utilidad para aquellos que en la práctica deben tomar las difíciles decisiones sobre el uso racional, equitativo y eficiente de ese recurso tan precioso y tan escaso: el agua.

Delmar Blasco
Consultor
Ex Secretario General de la
Convención de Ramsar sobre los Humedales



Reserva de la Biosfera de la Ría de Urdaiabai (Bizkaia). M.J. Viza/s

1. LOS HUMEDALES Y EL AGUA

El agua, como es sabido, es un valioso recurso indispensable para el desarrollo económico de las regiones. Pero no se debe olvidar que este recurso, es el mismo que mantiene los sistemas naturales, el mismo que proporciona bienes y servicios fundamentales para nuestro desarrollo y bienestar, y el mismo que configura paisajes, pueblos y ciudades. Un uso inadecuado del agua puede provocar un deterioro de sus múltiples funciones, o de algunas de ellas, llevando a pérdidas de las mismas y a situaciones de conflicto (aguas devaluadas por contaminación, colapso agrícola por sobreexplotación de acuíferos, erosión costera por construcción de presas, etc.).

Por eso nadie pone en duda que el aprovechamiento de los recursos hídricos (como el de otros recursos naturales en general) debe someterse a los principios de eficiencia, sostenibilidad y racionalidad, entendiendo que su uso debe compatibilizarse con su conservación. Y hablar de estos principios es hablar de aprovechamiento y demanda, pero también de control y límites de uso sostenible del recurso. La lógica es incontestable: el agua no es un recurso ilimitado, por tanto hay que establecer reglas para su uso.

En el ámbito de la gestión del agua, el principio de “uso racional” se apoya en los conceptos de “caudales ecológicos” en el caso de los ríos y de “necesidades hídricas” cuando hablamos de humedales, entendidos como una reserva de agua para los sistemas naturales de tal forma que sigan conservando sus valores naturales, proporcionando al mismo tiempo otras funciones y servicios útiles para la sociedad.

Los humedales son ecosistemas acuáticos que albergan un enorme, variado y singular patrimonio natural y cultural, siendo hábitats insustituibles para un gran número de especies de elevado interés para la conservación y de utilidad para la sociedad. No obstante, son múltiples las amenazas y agresiones que soportan. El origen de estas presiones se encuentra tanto en acciones directas (transformaciones del uso de la tierra, contaminación de las aguas, acumulaciones de residuos sólidos -basuras, escombros-, drenajes, etc.), como indirectas (uso intensivo de las aguas subterráneas etc.). Todo ello causa la alteración del sistema hidrológico que abastece a las zonas húmedas,

modificando en estos casos el régimen de aportaciones al humedal, y con ello su estructura, valores y funciones.

La variación espacial y temporal de la profundidad de las aguas, el régimen de circulación de las mismas, la calidad de los recursos hídricos, así como la frecuencia y duración de las inundaciones, suelen ser factores ambientales muy importantes que determinan las “características ecológicas” de un humedal, su estructura y funcionamiento. Así pues, para poder conservar las características ecológicas es necesario garantizar los aportes hídricos y un régimen hidrológico que deberá acercarse a su dinámica natural en tanto en cuanto se desee aproximar el humedal a las características ecológicas naturales.

La cuestión de la determinación de las necesidades hídricas de los humedales está en la agenda de los organismos e instituciones de todo el mundo que se dedican a la protección de la naturaleza y a la gestión del agua. La Convención de Ramsar sobre Humedales de Importancia Internacional, considera que la asignación adecuada de recursos hídricos a los humedales es un requisito indispensable para su conservación y uso racional de los mismos.



La Convención de Ramsar entiende por “características ecológicas” la estructura y las relaciones entre los componentes biológicos, químicos y físicos del humedal. Estas derivan de las interacciones entre los diversos procesos, funciones, atributos y valores del (de los) ecosistema(s). Se interpreta que el cambio en las características ecológicas de un sitio significa un cambio negativo, dentro del contexto del Artículo 3.2 de la Convención y de la Recomendación 4.8 que estableció el Registro de Montreux. Esta definición hace referencia explícita a los cambios negativos causados por las actividades humanas y excluye el proceso de cambio evolutivo natural que tiene lugar en los humedales. También se reconoce que los programas de recuperación y/o rehabilitación de humedales pueden dar lugar a cambios favorables en las características ecológicas.

Por las razones expuestas, se considera que un elemento clave de toda estrategia de conservación de humedales es definir las características ecológicas relevantes que es deseable mantener.

Por otra parte hay que considerar que la tipología de humedales abarca una amplia gama de ecosistemas, para los que se aplican enfoques de gestión muy variados, que van desde espacios con altos niveles de naturalidad en los que el objetivo es preservar la integridad ecológica global del ecosistema, hasta humedales artificiales en los que la conservación se debe integrar en los estilos de vida humanos tradicionales y la explotación sostenible de sus recursos. Resulta importante incidir en que la estimación de las necesidades de agua de un humedal debe ser consistente y compatible con sus objetivos de conservación (mantener los criterios por los que fue designado como sitio de Importancia Internacional, Espacio Natural Protegido, y/o Hábitat Natural de Interés Comunitario para especies vegetales y/o animales).



Así por ejemplo, la propuesta de necesidades de agua de un humedal que haya sido designado por mantener más el 1% de los individuos de una población de una especie o subespecie de aves acuáticas (Criterio 6 de la Convención de Ramsar para designar Humedales de Importancia Internacional) deberá ser consistente con este criterio y proporcionar la suficiente cantidad y calidad del hábitat para mantener estos niveles de población.

El estudio de las necesidades hídricas de los humedales tiene, como es evidente, unas importantes connotaciones ambientales, ya que la relación del agua con la diversidad biológica es obvia (una buena parte de esta diversidad se aloja en los ríos, lagos y humedales), pero tiene igualmente implicaciones socioeconómicas, en donde el debate se centra en los usos del agua (actividades tan primordiales como la agricultura de regadío, la industria o el turismo dependen también del agua), sin dejar de mencionar el derecho humano básico de acceso al agua en cantidad y calidad suficientes para satisfacer las necesidades vitales y un nivel de vida digno.

En este sentido vemos que en toda decisión sobre la asignación de recursos hídricos es necesario cuantificar las necesidades de agua que es imprescindible satisfacer para que las características ecológicas de los humedales no resulten alteradas de manera inaceptable.

Por otro lado, hay que resaltar que abordar la cuestión de las necesidades hídricas de los humedales tiene también una serie de consecuencias positivas, ya que su determinación puede contribuir a evitar la degradación de los humedales a medio o largo plazo, favorece los esfuerzos en su restauración, evita con antelación un reparto excesivo del agua entre usuarios en caso de necesidades hídricas subestimadas, ayuda a regular una competencia excesiva entre usuarios, contribuye a evitar la pérdida de oportunidades de desarrollo en caso de necesidades hídricas sobreestimadas, y permite un control en el incremento de la conflictividad en situaciones de sequías prolongadas.

En cualquier caso, hay que señalar que la determinación de las necesidades hídricas de un humedal no es una tarea sencilla, ya que incluye un conjunto variado de estudios técnicos y científicos que requieren de la colaboración de especialistas en diversas disciplinas (botánica, hidrología, hidráulica, zoología, etc.) trabajando para un mismo objetivo común. La puesta en práctica de las necesidades hídricas implica además múltiples decisiones, en un escenario donde convergen muchos actores interesados y concurren diferentes ámbitos competenciales, etc. Se trata pues de un proceso complejo donde la falta de transparencia puede fácilmente llevar a la falta de conformidad y consenso entre las partes.

Este manual se propone dar a conocer el concepto de las necesidades hídricas de los humedales y el alcance de su determinación, aportando claridad sobre las acciones necesarias para que estos estudios puedan ser integrados en todo lo relacionado con la gestión del agua.



2. CONSIDERACIONES LEGALES SOBRE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS HUMEDALES

2.1. LA CONVENCIÓN DE RAMSAR Y LAS NECESIDADES HÍDRICAS

La Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional o de Ramsar, ha abordado de forma directa o indirecta las cuestiones relacionadas con el agua desde sus inicios en 1971, pero de manera más clara y específica a partir de la Conferencia de las Partes celebrada en Australia en 1996. En un principio sus recomendaciones se centraron en los problemas de falta de agua en determinados humedales, pero en sucesivas reuniones de las Conferencias de las Partes (COP) comenzaron a destacarse los problemas provocados por el uso excesivo del agua que afectaba de forma directa a algunos humedales incluidos en su Lista de Humedales de Importancia Internacional. Diversas resoluciones y recomendaciones pusieron pues de manifiesto la importancia de una buena gestión de

los recursos hídricos para la conservación de los humedales. No obstante, fue en la 6ª Reunión de la COP donde se reconoció explícitamente y por vez primera que los humedales necesitaban ciertos volúmenes de agua para el mantenimiento de sus características ecológicas (Resolución VI.23).

Posteriormente, en la Resolución VII.18 se hace referencia expresa a las necesidades de agua de los humedales en el contexto de la gestión de cuencas hidrográficas, remarcando la importancia de evaluar la demanda ecológica de los mismos como un componente esencial en la adopción de decisiones sobre el manejo de cuencas. Además, en esta Resolución se subscriben una serie de líneas directrices dirigidas a las Partes Contratantes de la Con-



enciación para mantener los regímenes hidrológicos naturales con el fin de conservar los humedales.

Desde el punto de vista del planteamiento conceptual, fue en Valencia (España), durante la celebración de la 8ª Reunión de la COP en el año 2002, cuando se abordó de forma completa el proceso de asignación y gestión de los recursos hídricos a fin de mantener las funciones ecológicas de los humedales (Resolución VIII.1). A pesar de que los métodos para determinar las necesidades de agua de los humedales no se abordaron en detalle, se trataron aspectos complementarios, como los institucionales y legislativos, y los marcos para la adopción de decisiones. Durante esa reunión también se adoptaron dos resoluciones directamente relacionadas con la gestión de los recursos hídricos: por un lado la Resolución VIII.40, que permitió adoptar las primeras líneas directrices para compatibilizar el uso de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales, y por otro lado la Resolución VIII.34, que se centró en las interdependencias existentes entre las actividades agrícolas y el uso racional de los humedales.

La Resolución IX.1 y sus Anexos C, Ci y Cii, de 2005, dotó de orientaciones científicas y técnicas adicionales a los lineamientos de Ramsar en relación con el agua, la ordenación de las cuencas fluviales y el manejo de las aguas subterráneas.

Finalmente, en 2008 la “Declaración de Changwon sobre el bienestar humano y los humedales” (Resolución X.3) hizo un llamamiento a la acción, presentando las medidas prioritarias para alcanzar algunos de los objetivos de sostenibilidad ambiental más esenciales para el planeta. Esta declaración reconoce que la creciente demanda de agua y su sobreexplotación ponen en peligro el bienestar humano y el medio ambiente, y que a menudo no hay suficiente agua para satisfacer nuestras necesidades humanas directas ni para mantener los humedales que necesitamos.

Hay que señalar además que la cuestión de la determinación de las necesidades de agua de los humedales también está presente en el Plan Estratégico 2009-2015 de Ramsar. Así por ejemplo, el manejo eficaz de los humedales (Estrategia 2.5 y 2.7) exhorta a conocer la cantidad de agua (en términos cuantitativos) que necesitan los humedales y sus fuentes de abastecimiento. De esta forma, promueve que los humedales puedan ser considerados explícitamente en el manejo integrado de las cuencas (Estrategia 1.7). El inventario y evaluación de los humedales (Estrategias 1.1, 2.4 y 2.6) incluye el régimen hidrológico del humedal, los objetivos de manejo del mismo y los límites aceptables de cambio. Es evidente que cuando la causa de degradación de un humedal esté motivada por el uso intensivo del agua, su restauración dependerá de la asignación de volúmenes adecuados para recuperar sus funciones y características ecológicas (Estrategia 1.8).

2.2. LAS NECESIDADES HÍDRICAS EN LAS DIRECTIVAS EUROPEAS

Los humedales se encuentran entre los ecosistemas más amenazados de la Unión Europea con un 56% clasificado en estado de conservación “desfavorable-malo” y otro 30% como “desfavorable – inadecuado” (ETC/BD, 2009). Por ejemplo, en España se calcula que la superficie de humedales actual es de unas 114.100 ha, lo que representa, según diversas estimaciones, del orden de al menos el 40% de la superficie existente hace 50 años (MMA, 2000).

La Directiva Aves (DA), la Directiva Hábitat (DH) y la Directiva Marco del Agua (DMA) son los instrumentos legales de mayor relevancia y pertinencia para la conservación, protección y uso racional de los humedales europeos en estos momentos.

La aplicación de estas Directivas debe ser coordinada y complementaria (obligación establecida en sus respectivos textos), al objeto de conseguir una mayor coherencia tanto en la conservación de la biodiversidad europea como en el uso racional del agua.

La Directiva Aves¹ exhorta a los Estados miembros a prestar especial atención a la conservación de las aves silvestres a través de la protección de sus hábitats, la creación de Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) y la restauración de los hábitats que hayan sido alterados. Aunque el texto de la Directiva no hace mención específica a la exigencia de dotar de planes de gestión a las ZEPA, sí que se refiere a la necesidad de establecer un régimen jurídico suficiente para preservar, mantener o restablecer una diversidad y una superficie suficiente de hábitats para todas las especies que protege, muchas de las cuales son acuáticas.

La Directiva Hábitat² protege una serie de hábitats y de especies animales y vegetales de interés para la conservación en Europa, con la finalidad de alcanzar un “estado de conservación favorable” de los mismos, centrandó su interés en la presencia y



distribución territorial de los mismos. Y muchos de estos hábitats y de estas especies de flora y fauna únicamente se encuentran en los humedales. Esta Directiva promueve la declaración de un número suficiente de Lugares de Interés Comunitario (LIC), posteriormente designados Zonas Especiales de Conservación (ZEC), que junto con los espacios ZEPA de la Directiva Aves constituyen la Red Natura 2000. Esta red es el principal instrumento para la protección de las especies y hábitats en Europa. Todo esto se complementa, adicionalmente, con un régimen de carácter preventivo de “protección estricta” que la Directiva otorga a los taxones incluidos en su anexo IV, incluso cuando estas especies se encuentren fuera de la Red Natura 2000. Esta directiva prevé la implementación de planes de gestión³.

¹ Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, relativa a la conservación de las aves silvestres.

² Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

³ Las Administraciones deberán redactar y aprobar los planes de gestión correspondientes a cada ZEC (art. 6.1 de la Directiva Hábitat).



El “estado de conservación favorable” de los espacios de la Red Natura 2000 se define como aquel en el que las especies y hábitats incluidos en el Anexo I de la Directiva Aves o anexos I, II y IV de la Directiva Hábitats, se encuentran por encima de un valor de referencia predeterminado que permita asegurar el futuro de las mismas a largo plazo. Viene determinado por el área de distribución de los hábitats, los niveles poblaciones de las especies y la calidad de los hábitats por los cuales fueron designados los espacios de la Red Natura 2000.

La Directiva Marco del Agua⁴ (DMA) establece un contexto de conservación y restauración de los ecosistemas acuáticos sobre la base del principio del uso sostenible. Dentro de la planificación hidrológica, este principio de sostenibilidad y conservación de los ecosistemas acuáticos se apoya en gran medida en el concepto de los caudales ecológicos (llamados requerimientos o necesidades hídricas en el caso de los humedales).

La DMA obliga a establecer medidas de gestión que eviten los procesos de degradación de los ecosistemas y regula las actividades económicas en el marco de la sostenibilidad. Para ello, las masas de agua deberán alcanzar un “buen estado ecológico” definido a través de una serie de indicadores de orden biológico (composición y abundancia de ciertos taxones), hidromorfológico, químico y físicoquímico dependiendo del tipo de masa de agua de que se trate. En el caso de masas de agua designadas como muy modificadas se deberá conseguir el “buen potencial ecológico”.

A pesar de que la Directiva no utiliza exactamente el término “necesidades hídricas”, su concepto queda implícito en todo el proceso de planificación, ya que establece la necesidad de elaborar planes hidrológicos de cuenca con el fin de alcanzar los objetivos ambientales. Por supuesto asume los objetivos de conservación de los espacios Natura 2000 que dependen del agua, que deben quedar explícitamente recogidos en los planes de cuenca. La vinculación que se establece entre la gestión del agua y la consecución de unos objetivos ambientales permite flexibilizar el concepto de necesidades hídricas, así según sea el objetivo de conservación establecido (para una zona protegida o una masa de agua muy modificada), el volumen requerido de agua será diferente.



El “buen estado ecológico” de una masa de agua según la Directiva Marco del Agua es una expresión de la calidad de la estructura y del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales clasificados conforme al anexo V.

Finalmente, cabe insistir en que la aplicación coherente y efectiva de los mandatos de las tres Directivas debe considerar la complementariedad entre ellas. Así, desde el punto de vista de la gestión de los humedales, al objetivo general del “buen estado ecológico” que persigue la DMA, hay que incorporar, como hemos visto, los objetivos particulares de las zonas protegidas, entre ellas los sitios Red Natura 2000.

2.3. LEGISLACIÓN ESPAÑOLA

Los usos hídricos medioambientales están expresamente garantizados en el ordenamiento jurídico español al más alto nivel desde principios de la década de los años ‘80 del siglo XX (Ley de Aguas), siendo una restricción que se impone con carácter general al resto de usos (a excepción del abastecimiento de poblaciones). No cabe duda de que de esta situación de prevalencia de los usos ambientales se pueden derivar situaciones de conflicto cuando afecten a territorios donde existe una gran demanda de recursos hídricos y situaciones de escasez crónica de los mismos.

Además, en cumplimiento de nuestras obligaciones en el ámbito europeo, el marco normativo español ha ido incorporando de manera gradual los principios de las Directivas Aves, Hábitat y Marco del Agua.

La Directiva Hábitat se transpuso, en una primera fase, mediante el Real Decreto 1997/1995, por el que se establecen las medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres, habiendo efectuado nuevas aportaciones la Ley 42/2007, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

La transposición de la Directiva Marco del Agua al marco normativo interno ha sido más complicada (multitud de normas de diverso rango), aunque

en el ámbito que nos ocupa hay que destacar fundamentalmente el Reglamento de Planificación Hidrográfica (Real Decreto 907/2007), que es el que en mayor parte plasma los contenidos relacionados con la planificación de esta Directiva. Este Reglamento hace referencia explícita a la obligatoriedad de determinar las necesidades hídricas de los humedales con el objetivo fundamental de contribuir a alcanzar su buen estado o potencial ecológico a través del mantenimiento sostenible de sus funciones y estructura, proporcionando las condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de estos ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante la preservación de los procesos ecológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos. Además, en desarrollo de este Real Decreto se aprobó igualmente, mediante Orden ARM/2656/2008, la denominada Instrucción de Planificación Hidrológica, que desarrollan los conceptos y el detalle de los métodos necesarios para la determinación de las necesidades hídricas de las distintas masas de agua; en esta Orden queda claramente establecida la necesidad de vincular la hidrología de los humedales con los “objetivos ambientales” a alcanzar en los mismos (la conservación y recuperación de las funciones ecológicas generales de los humedales, la conservación de especies y hábitats, y la conservación de los paisajes).



⁴ Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.



Objetivos ambientales en el estudio de las necesidades hídricas

A. Conservación y recuperación de funciones ecológicas generales

- Garantizar el mantenimiento de la estructura y funcionalidad del ecosistema lagunar y sus elementos asociados.
- Mantener un régimen de inundación del humedal que mantenga unas condiciones compatibles con los objetivos ambientales que se definan.
- Potenciar la contribución del área al proceso de la migración e invernada de las aves como enclave de apoyo trófico y refugio.

B. Conservación de especies y hábitats

- Servir de base para la conservación de las especies en general, teniendo entre otras funciones las de reserva genética.
- Dotar de protección adecuada a los elementos florísticos y de fauna (especies de comunidades) de mayor valor en razón de su grado de amenaza, riqueza, diversidad, abundancia, fragilidad y valor científico.
- Mantener al menos en un estado de conservación favorable los Hábitats Naturales de Interés Comunitario.
- Mantener al menos en un estado de conservación favorable las Especies de Interés Comunitario del Anexo II del Real Decreto 1997/1995 y Real Decreto 1193/1998, propios de la zona.
- Mantener al menos en un estado de conservación favorable las especies de Aves del Anexo I de la Directiva Aves y la Directiva 91/244/CEE propias del área.
- Contribuir a la conservación de las especies catalogadas y de sus hábitats presentes en el área, los cuales deberán tener las dimensiones adecuadas para mantener poblaciones viables de dichas especies.
- Contribuir al desarrollo y aplicación de los planes de recuperación y conservación de las especies amenazadas presentes en el área, así como asegurar la compatibilidad de las disposiciones, directrices y actuaciones contenidas en dichos planes, tanto de los ya aprobados como los que se puedan aprobar en un futuro.

C. Conservación de paisajes

- Mantener en un estado adecuado los paisajes del humedal y de su entorno, atendiendo a su elevada singularidad.

En la actualidad en España los Planes Hidrológicos de Cuenca son los instrumentos que deben recoger los objetivos medioambientales de protección, mejora y regeneración de las masas de agua superficiales y subterráneas. La administración responsable de la aplicación del Reglamento de Planificación Hidrológica son los Organismos de Cuenca (en el caso de cuencas intercomunitarias estos organismos son de índole estatal, pero en el caso de cuencas intracomunitarias dependen de la correspondiente Comunidad Autónoma).

Como ya se ha comentado con anterioridad, a la hora de determinar las necesidades hídricas de los humedales resulta muy importante tener en cuenta los objetivos ambientales que se desean o deben alcanzar. Por ello en el caso de los humedales españoles se contemplan los siguientes elementos:

1. Masas de agua definidas por los Organismos de Cuenca en las que el objetivo ambiental a alcanzar es el “buen estado ecológico”, que será evaluado a través de unos indicadores de calidad del estado ecológico del agua.

2. Humedales declarados Espacios Naturales Protegidos y sitios Red Natura 2000, en los que se deben alcanzar los objetivos de conservación que están definidos en la propia norma de declaración. En concreto, en el caso de espacios de la Red Natura 2000 habrá que alcanzar el “estado de conservación favorable” de los Hábitats de Interés Comunitario incluidos dentro de estos espacios, así como los objetivos de conservación de las especies incluidas en los distintos anexos de la Directiva Hábitats y Aves presentes en los sitios.

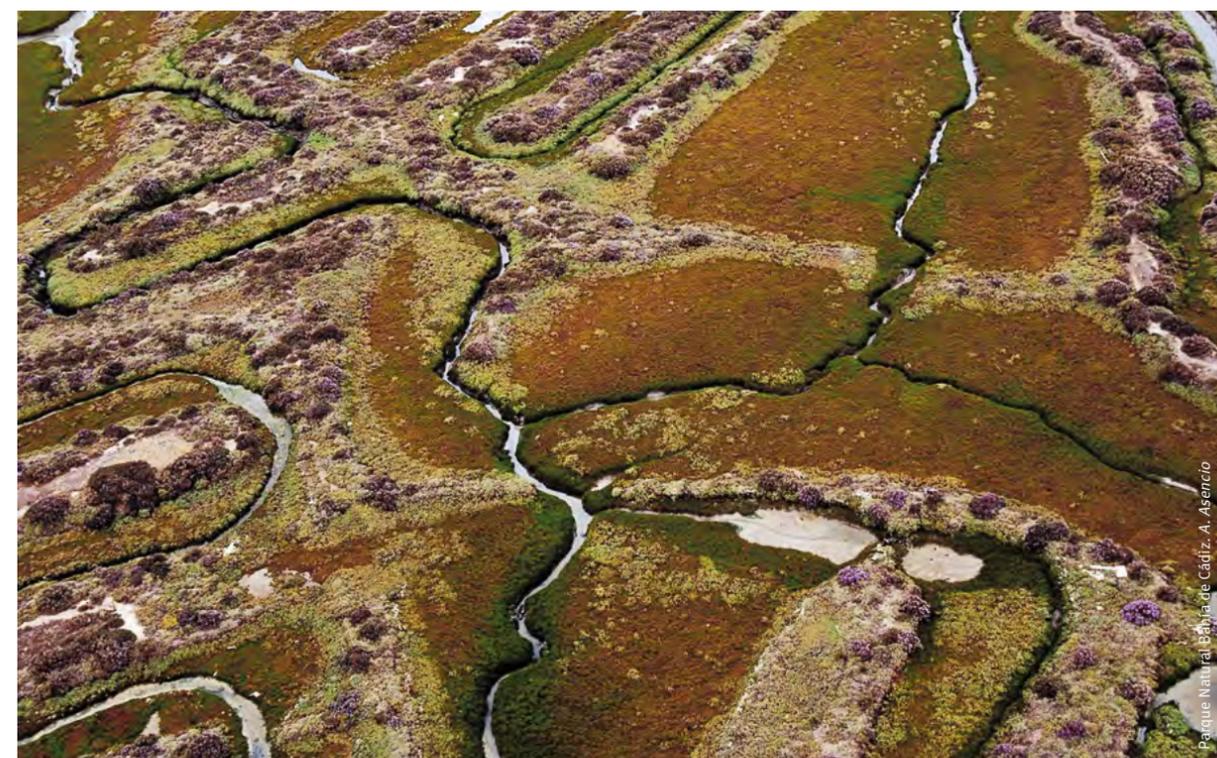
3. Otras masas de agua que no tienen figura de protección específica, pero que están incluidas en otros catálogos de interés como el Inventario Español de Zonas Húmedas (Real Decreto 435/2004, de 12 de marzo).

En los casos de lagos y zonas húmedas dependientes de aguas subterráneas, la Instrucción de Planificación Hidrológica específica que se deberá mantener un régimen hídrico relacionado con los niveles piezométricos, de tal forma que “*las alteraciones debidas a la actividad humana no tengan como consecuencia impedir alcanzar los objetivos medioambientales especificados para las aguas superficiales asociadas o cualquier perjuicio significativo a los ecosistemas terrestres asociados*”.

que dependan directamente de la masa de agua subterránea”.

Vemos pues cómo la determinación de las necesidades hídricas de los humedales se vislumbra como un aspecto clave para la conservación de estos ecosistemas, cobrando este tema especial relevancia por las grandes implicaciones que conlleva para la gestión del agua.

Hay que tener presente, no obstante, que la confluencia de diversos objetivos ambientales en un mismo espacio puede dar lugar a confusión. Así, es necesario identificar sistemáticamente y en cada caso los objetivos de conservación para cada hábitat y especie de interés comunitario que dependen del agua, y comprobar si serán más rigurosos que otros objetivos de la DMA de aplicación en cada masa de agua. Por otra parte, la cantidad de agua reservada para la conservación ambiental será diferente según se trate de zonas protegidas, masas de agua naturales o masas de agua fuertemente modificadas. Estos aportes deberán contribuir a alcanzar los objetivos ambientales de las masas de agua correspondientes. La finalidad última no es aportar unos volúmenes determinados sin más, sino alcanzar el objetivo ambiental del humedal en cuestión.





Las necesidades hídricas de los humedales en el marco legal

¿Cuál es el marco legal de referencia?

El marco legal de referencia de las necesidades hídricas de los humedales lo encontramos principalmente en la legislación sectorial de aguas (Directiva Marco del Agua, sucesivos textos de la Ley de Aguas, otras disposiciones como el Reglamento e Instrucción de Planificación Hidrológica). Existe además la normativa ambiental que incide en algunos aspectos de las necesidades hídricas, como en el caso de las zonas protegidas o la recuperación de especies amenazadas.

¿Dónde y cuándo se establecen?

Según el artículo 18 del Real Decreto 907/2007 del Reglamento de Planificación Hidrológica, las necesidades de agua de los ecosistemas acuáticos se determinarán en el Plan Hidrológico de la Cuenca.

¿Cómo se define un régimen de necesidades hídricas?

Es aquel que permite mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico de las masas de agua correspondientes.

¿Qué posición ocupan respecto al resto de usos?

Según el artículo 57 (7) de la Ley 46/1999, ésta marca claramente unos límites en la utilización de los recursos hídricos por motivos ambientales, estableciendo por primera vez que “los caudales ecológicos o demandas ambientales no tendrán el carácter de uso (...), debiendo considerarse como una restricción que se impone con carácter general a los sistemas de explotación”, a excepción de la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones.

¿Para qué masas de agua hay que calcularlas?

Se deberán determinar las necesidades hídricas para todas las masas de agua de la categoría, aguas de transición, lagos, humedales y masas de agua subterránea.

¿Cómo se ponen en práctica?

El establecimiento del régimen de necesidades hídricas se realizará mediante un proceso que se desarrolla en tres fases: estudios técnicos para la determinación de las necesidades hídricas, un proceso de concertación y un proceso de implantación en los sistemas de explotación.



Laguna del Canizar (Teruel), M.J. Vihais

3. COMPONENTES BÁSICOS DEL ESTUDIO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS

Los elementos clave del estudio de las necesidades hídricas de un humedal son la hidrología, las comunidades biológicas y los objetivos de conservación.

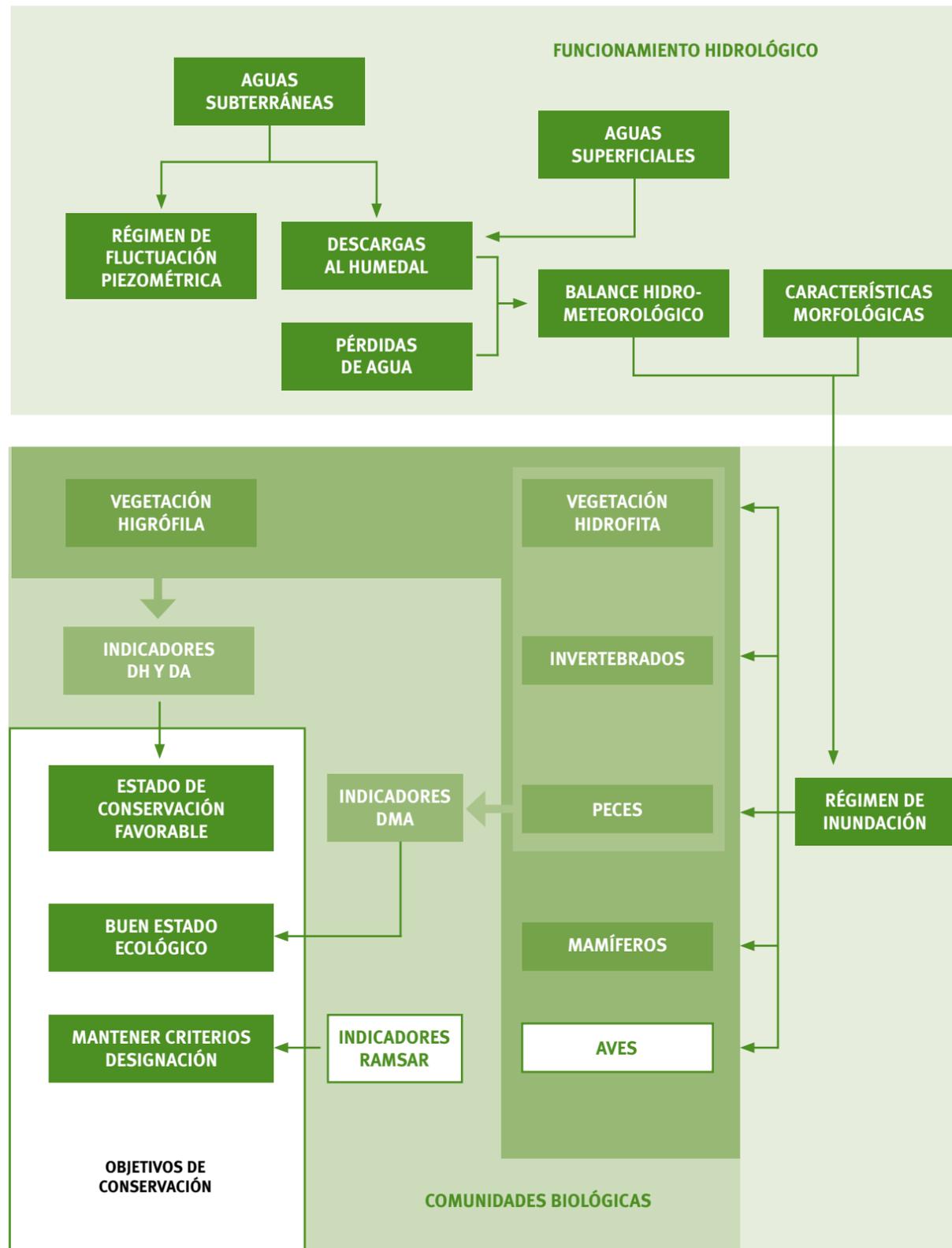
Las fases de análisis que deben conducir el estudio de las necesidades hídricas de los humedales son:

1. El análisis legal permite conocer, como hemos visto, los objetivos de conservación y los condicionantes particulares impuestos por las diversas legislaciones. Los objetivos generales de conservación de los humedales, se complementan por su parte, con los específicos de las zonas protegidas, particularmente exigentes en el caso de algunas figuras de protección o la presencia de determinadas especies amenazadas. La revisión minuciosa del marco legal permite explicitar los objetivos de conservación para los que se debe formular con toda coherencia una propuesta de necesidades hídricas.
2. El análisis del medio físico está centrado sobre todo en la caracterización hidrológica e hidrogeológica del humedal. Así, se abordará,

entre otros, los estudios sobre régimen de inundación en condiciones naturales y los efectos sobre el mismo de las actividades humanas (usos del agua, impactos, etc.).

3. El análisis del medio bioecológico se basa en el conocimiento de las comunidades biológicas existentes en el humedal, ya que constituyen una parte importante de los valores de conservación de los humedales, hasta tal punto que en un gran número de ocasiones, las actuaciones de gestión están encaminadas directa o indirectamente hacia la conservación y mejora de las mismas. Por otra parte, hay que tener en cuenta que los hábitats y las especies ofrecen respuestas a la dinámica hidrológica, entre las cuales se incluye la distribución y abundancia de los diferentes organismos. La relación hidrología-ecología es clave para entender la dinámica de estos ecosistemas.

ELEMENTOS CLAVE DEL ESTUDIO DE NECESIDADES HÍDRICAS



3.1. LA HIDROLOGÍA DE LOS HUMEDALES

Por lo que respecta al estudio hidrológico que se necesita para determinar las necesidades hídricas de un humedal hay que comentar que el conocimiento del régimen de inundación del humedal, tanto en condiciones naturales como en condiciones modificadas, es fundamental ya que se trata de un factor que determina en gran medida la organización y dinámica del ecosistema (presencia y distribución de las comunidades biológicas).

El régimen de inundación del humedal se refiere a la variación de los volúmenes o niveles de lámina de agua a lo largo del tiempo. Este estudio se aborda a escala mensual, y para conocer la variabilidad interanual es necesario disponer de series temporales largas.

Determinar el régimen de inundación de un humedal no es sencillo; para ello se debe establecer el balance hídrico del humedal y se debe conocer la batimetría de la cubeta del mismo.

El estudio del balance hídrico consiste en cuantificar para un periodo de tiempo determinado, las entradas y salidas de agua en el sistema ya sean

de origen superficial como subterráneo (precipitación, aportes superficiales y subterráneos, evaporación, infiltración, escorrentías, extracciones de agua, etc.) y para ello es necesario recopilar todos los datos climáticos e hidrológicos disponibles a lo largo de una secuencia temporal suficiente, normalmente establecida en 20 años. Los datos deben tomarse a escala mensual.

De esta manera, un estudio detallado de las series históricas de datos nos debe permitir identificar las variaciones estacionales e interanuales del humedal.

Habitualmente existen carencias en la cuantificación de algunos de los parámetros que aparecen en la ecuación del balance, sobre todo cuando se hace referencia a balances mensuales o series históricas del mismo. Para suplir estas carencias se utilizan los modelos hidrológicos y los programas de seguimiento y control de los humedales que durante la última década han proporcionado datos básicos que permiten realizar en algunos casos un balance hídrico con bastante fiabilidad, al menos con los elementos más significativos del sistema como son los aportes superficiales.



Además resulta útil conocer no sólo el régimen hidrológico del humedal en condiciones naturales sino también cuando sus elementos han sido alterados, ya que el régimen de inundación evidentemente variará.

La representación gráfica del balance hídrico de un humedal muestra las características generales de su hidroperiodo, es decir, la periodicidad y ritmo con los que se producen las fluctuaciones de la lámina de agua, la duración y momentos del encharcamiento, etc.; este gráfico es como la huella dactilar del humedal.

Cuando se hace alusión a la importancia de mantener el hidroperiodo de los humedales, conviene aclarar que se hace referencia no sólo a considerar las modificaciones en la cantidad y distribución temporal del agua del humedal, sino también y especialmente a los procesos asociados.

Por otra parte, para conocer el régimen de inundación es también necesario conocer la batimetría de la cubeta, ya que este dato informa sobre la capacidad de almacenaje de agua de la misma y la superficie inundada (y con ello la precipitación directa sobre la lámina de agua y la evaporación e infiltración referida a la misma).

Al respecto de la utilización de modelos para conocer el régimen de inundación de los humedales hay que reseñar:

- Las aportaciones superficiales al humedal son relativamente fáciles de obtener mediante modelización, pero difíciles de validar en muchos casos por la falta de estaciones de aforo y series de niveles de lámina de agua. En este sentido, este trabajo aporta la metodología para abordar la toma de datos de la lámina de agua de forma rigurosa en los humedales españoles, considerando que estos datos son fundamentales para el conocimiento y seguimiento de la evolución hidrológica de los humedales (anexo I).

- En el caso de humedales con aportes de aguas subterráneas la modelización es más compleja porque las descargas de un acuífero son muy difíciles de cuantificar a escala mensual. En su defecto se suele utilizar el cierre del balance, algo que puede inducir a grandes errores.

- La evaporación es una variable clave del balance que pocas veces se conoce con precisión.

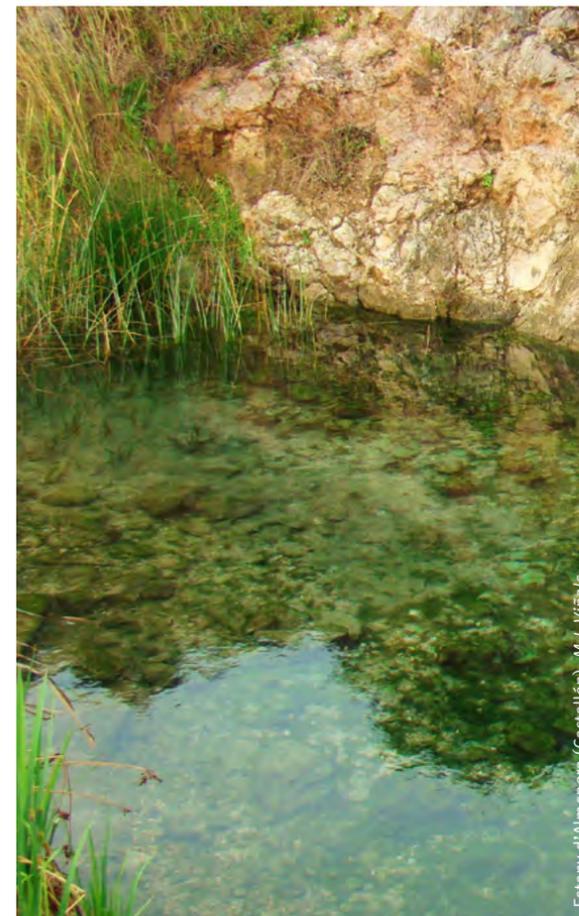
- La calibración es una tarea indispensable. Muchas de las variables hidrológicas están sujetas a una cierta incertidumbre. Además, los errores en las series de volúmenes del humedal son acumulativos, lo cual puede llevar a valores absurdos. Para calibrar adecuadamente los modelos hidrológicos, a veces la única opción posible es la utilización de imágenes de satélite, aunque la teledetección también presenta limitaciones.

Finalmente, hay que destacar que la caracterización del régimen de inundación ofrece grandes posibilidades en el estudio de las necesidades hídricas tales como:

- Desarrollar modelos de hábitat y la localización en el mismo de las comunidades vegetales. Los análisis presencia-ausencia de las especies junto a las series temporales de inundación, permiten conocer las preferencias de determinadas comunidades vegetales frente a los ciclos de inundación y sus rangos de tolerancia. A partir de aquí se pueden desarrollar modelos de idoneidad del hábitat para ciertas comunidades o especies.

- Formular propuestas de necesidades hídricas mediante aproximaciones hidrológicas, tomando como base determinados hidroperiodos de referencia. Los patrones naturales de inundación de un humedal juegan un papel fundamental en la conservación de sus características funcionales y estructurales. La determinación de las necesidades hídricas mediante una aproximación hidrológica se basa en la identificación de estos patrones de inundación. A partir de estos patrones hidrológicos se deberán seleccionar determinados volúmenes de inundación que permitan alcanzar los objetivos de gestión (conservación y productivos) del humedal.

- Conocer las variaciones estacionales de la lámina de agua y las propiedades hidráulicas asociadas a ella. El nivel de lámina de agua es un parámetro clave que influye determinadamente en las áreas de nidificación de las aves. Los estadios de desarrollo de numerosas especies ligadas al medio acuático (peces, anfibios, invertebrados, etc.) dependen de los ciclos de inundación. Para desarrollar modelos empíricos que relacionen las variables físicas con las variables biológicas, es necesario conocer con precisión el régimen de inundación del humedal.



Modelos para ayudar a la determinación del régimen de inundación del humedal

El balance histórico de un humedal a escala mensual sólo puede ser llevado a cabo en la mayoría de los casos con la utilización de modelos. Con carácter general, aquellos que tienen una aplicación directa para el estudio del régimen de inundación son los modelos hidrológicos (de aguas superficiales y subterráneas) y los modelos hidráulicos e hidrodinámicos.

A lo largo de los últimos años se han utilizado numerosos modelos hidrológicos en España con el objetivo de generar series de aportaciones naturales de las cuencas. Estos modelos simulan el proceso de generación de la escorrentía a partir de información meteorológica y de las características de las cuencas, jugando un importante papel en los procesos de planificación hidrológica y de gestión de cuencas. Los más frecuentemente utilizados han sido: el modelo del Número de Curva, el modelo de Témez (1977) que deriva del modelo de THORNTHWAITE-T, el modelo Sacramento (modelo hidrológico conceptual determinístico) utilizado en todas las cuencas españolas en la elaboración de los planes hidrológicos en la década de los años '90, el modelo SIMPA (Simulación Precipitación-Aportación) desarrollado por el Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) durante la elaboración del Libro Blanco del Agua en España, el modelo PATRICAL (Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrados con Calidad del Agua) que puede funcionar en régimen natural o en régimen alterado antrópicamente, el modelo GIS-BALAN que evalúa los componentes hidrológicos en forma secuencial y realiza balances diarios de agua en el suelo edáfico en la zona no saturada y en el acuífero, y el modelo de aguas subterráneas MODFLOW desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos que permite realizar una modelización tridimensional del flujo de aguas subterráneas en medios porosos saturados.

Los modelos hidráulicos están basados en las relaciones entre la morfología del humedales (parámetros morfométricos de la cubeta como batimetría, área, profundidad, etc.) y su limnología, y permiten conocer las relaciones entre la cota del terreno, volumen de agua correspondiente y la superficie inundada, algo conocido como las curvas de llenado/vaciado del humedal.

La utilización de modelos hidrodinámicos permite la simulación y modelación hidrodinámica del humedal y una amplia gama de procesos relacionados con el flujo del agua. Entre los más utilizados está el modelo SOBEK que calcula nivel de agua, caudal, velocidad del flujo, transporte de sedimentos, nivel del cauce, salinidad y muchos otros parámetros de calidad del agua tomando como fundamento una simulación unidimensional del sistema del río o humedal; el modelo MIKE-11 utilizado para la modelación unidimensional de flujos en lámina libre y régimen variable, y el modelo HEC-RAS que trabaja en la misma línea que el anterior.



Técnicas de teledetección para la determinación del régimen de inundación de los humedales

La teledetección espacial se revela como una técnica muy adecuada para el seguimiento de fenómenos naturales dinámicos y, por tanto, de aplicación en el estudio y seguimiento de zonas húmedas. En particular, proporciona gran cantidad de información sobre la evolución a largo plazo (desde la década de los años '70) de las características hidrológicas superficiales del humedal (cambios en la superficie de inundación, periodos de desecación y salinización, seguimiento de la contaminación hídrica, etc.).

El análisis mediante técnicas de teledetección persigue la obtención de la información referida a la extensión de la lámina de agua para un periodo dado (selección de fechas históricas y recientes) a partir de las imágenes de observación de la Tierra (satélite Landsat), así como calcular las profundidades y el volumen de agua de los humedales para las mismas fechas. De esta forma, se podrían calcular series temporales de inundación de los humedales con carácter retrospectivo, a partir de las cuales calibrar los modelos hidrológicos, y determinar regímenes de inundación, entre otras finalidades.

Desde el punto de vista metodológico, para cada fecha de imagen analizada y en base a sus características espectrales, se genera una capa de lámina de agua. Para ello se utiliza un Índice de Agua, calculado a partir de las bandas verde e infrarrojo medio del sensor Landsat TM.

Cuando se cuenta con un modelo digital del terreno (MDT) preciso, la profundidad en cada fecha de imagen se calcula a partir de la lámina de agua y la batimetría extraída del MDT.

Si no existe un MDT preciso la profundidad se obtiene por un método de calibrado que relaciona la extensión de la lámina de agua medida por teledetección y las medidas de profundidad tomadas en campo, calculando la recta de regresión que las correlaciona.

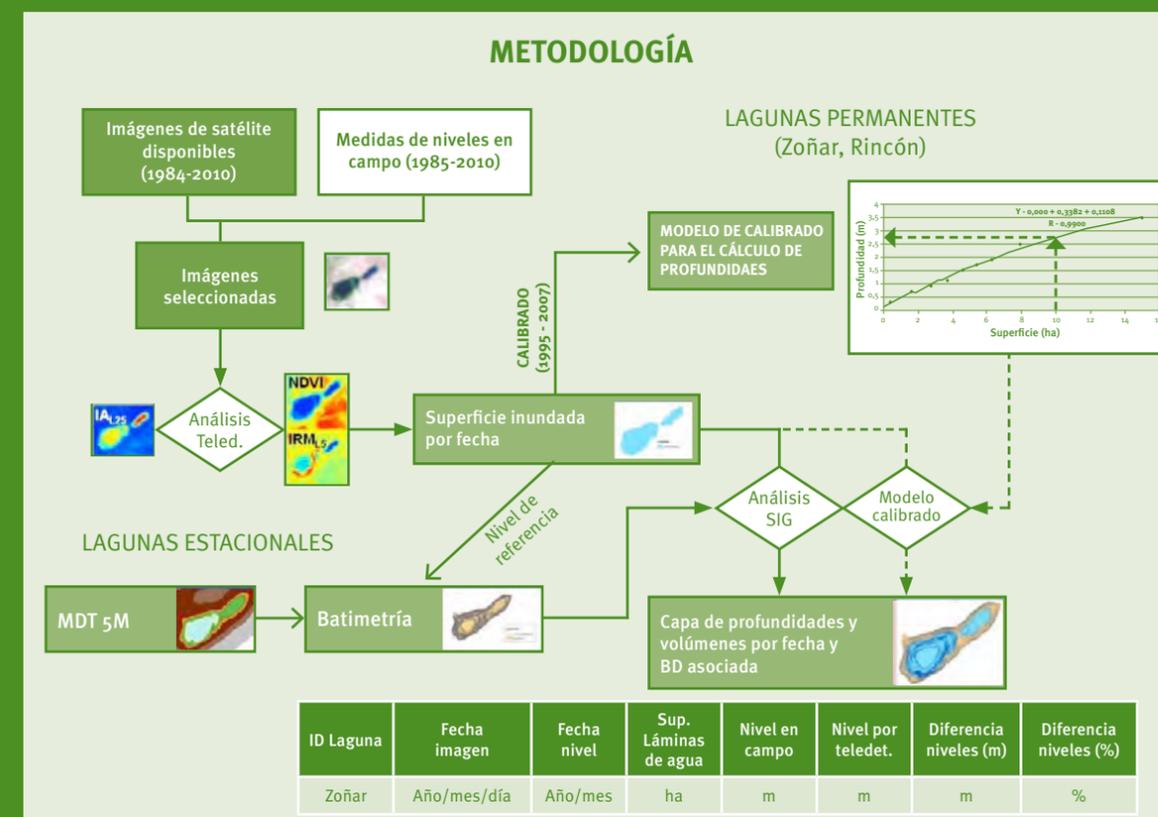


Figura 1. Metodología empleada. Fuente: TRAGSATEC para CHG, 2011.

En primer lugar, se creó una base de datos de imágenes Landsat, seleccionando para dos periodos (1995-2007 y 2008-2010) aquellas que eran más apropiadas para los objetivos del estudio (fig.1). Para su homogeneización se realizó la ortorrectificación de las imágenes (a partir de una imagen Spot 5 del Plan Nacional de Teledetección y el modelo digital del terreno proveniente del SIGPAC) y su corrección radiométrica, convirtiendo los valores de niveles digitales (8 bit, 256 niveles de gris) a valores de reflectividad, porcentaje de radiación incidente que es reflejada por la superficie.

Para la identificación de la lámina de agua en las lagunas se probaron distintos índices, como el Índice de Agua Normalizado Modificado (MNDWI), el Índice de Agua Normalizado (NDWI) o el Índice de Agua del CEDEX. Los índices se evaluaron en distintas fechas de imágenes y para diferentes niveles de inundación, seleccionando de forma empírica el IAL25 ya que era el que mejor se adaptaba a los niveles de inundación observados en las imágenes. En algún caso particular, la utilización adicional del NDVI combinado con el IRM mejoró la discriminación de la vegetación inundada.

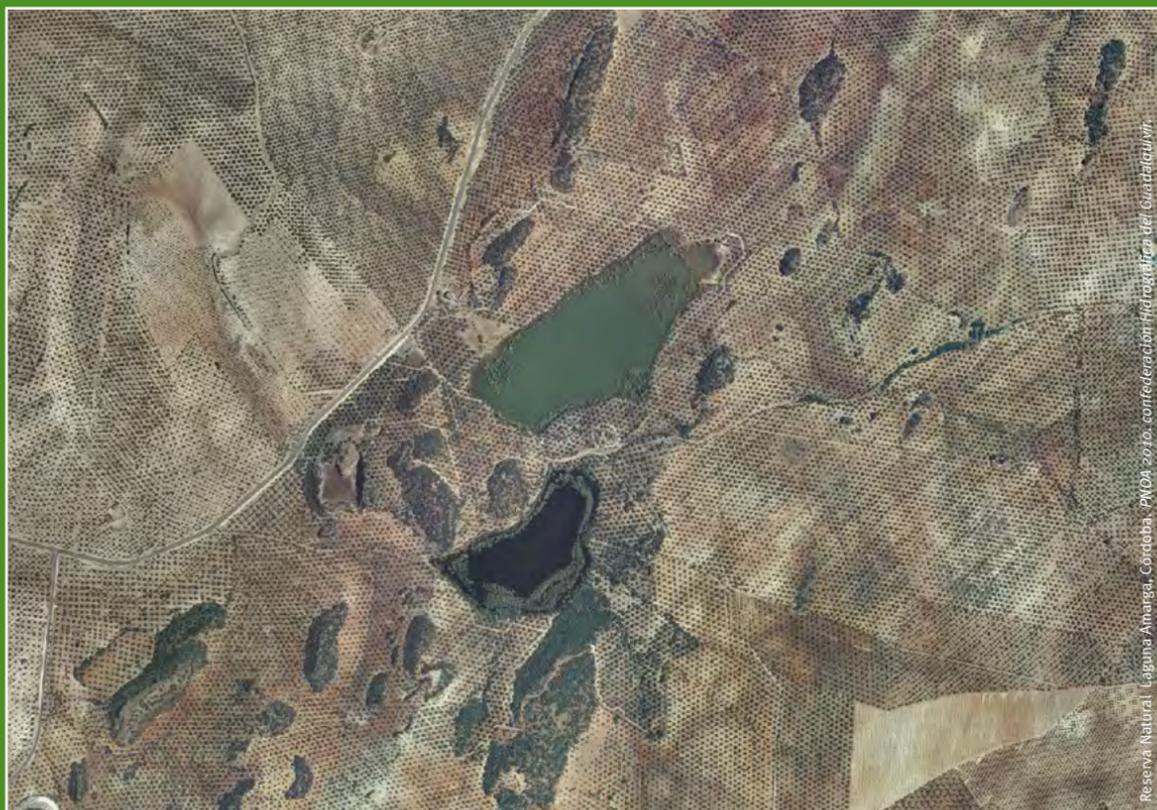
A partir de las batimetrías de los humedales obtenidas mediante un modelo digital del terreno (MDT) y, una vez deducida la superficie de lámina de agua a partir de la aplicación del índice IAL25, se pudo determinar tanto el volumen como la profundidad para cada una de las fechas de las que se disponía de imagen de satélite.

⁵ Información proveniente de: "Determinación mediante técnicas de teledetección de niveles y superficie inundada de humedales incluidos en la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir" realizado por TRAGSATEC para la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2011).

La comparación de datos reales de profundidad de la lámina de agua medida en campo y los resultados obtenidos mediante técnicas de teledetección permitieron observar que, por término medio, las diferencias son inferiores a 20 cm. No obstante, en la mayoría de los casos estas diferencias podrían justificarse por la incertidumbre entre la fecha de medida en campo, la fecha de las imágenes empleadas, así como por las imprecisiones derivadas de la resolución espacial de las imágenes y del MDT.

De los resultados obtenidos en este estudio se puede concluir que las técnicas de teledetección pueden ser una herramienta sencilla y económica para obtener series históricas de inundación de los humedales, incluyendo la obtención de series de niveles y volúmenes de agua si se dispone de una batimetría adecuada.

A pesar de estos buenos resultados, se observaron algunos condicionantes que pueden limitar el empleo de estas técnicas de teledetección en otros humedales. Así por ejemplo, la extensión mínima de los humedales está en relación a la resolución espacial de las imágenes (en este estudio se considera que la superficie mínima debería ser de 0,1 ha unos 10 píxeles de una imagen Landsat). Por otra parte, la resolución espectral de las imágenes también limita su aplicación, recomendando disponer al menos de la banda verde, rojo e infrarrojo cercano, aunque es deseable que también cuenten con alguna banda en el infrarrojo medio (como es el caso del satélite Landsat). El tipo de régimen de inundación del humedal también podría limitar su utilización.



3.2. LOS COMPONENTES BIOLÓGICOS DE LOS HUMEDALES

Los valores que han conducido a la protección de muchos humedales han sido su vegetación y su fauna; por ello su estado de conservación es un elemento fundamental que depende en gran medida del agua y de los procesos que tienen lugar en el ecosistema. De esta forma, en muchas ocasiones, en el contexto de la determinación de las necesidades hídricas de los humedales, los componentes biológicos (hábitats y especies) son la respuesta del comportamiento hidrológico del humedal y se pueden considerar como verdaderos “indicadores”.

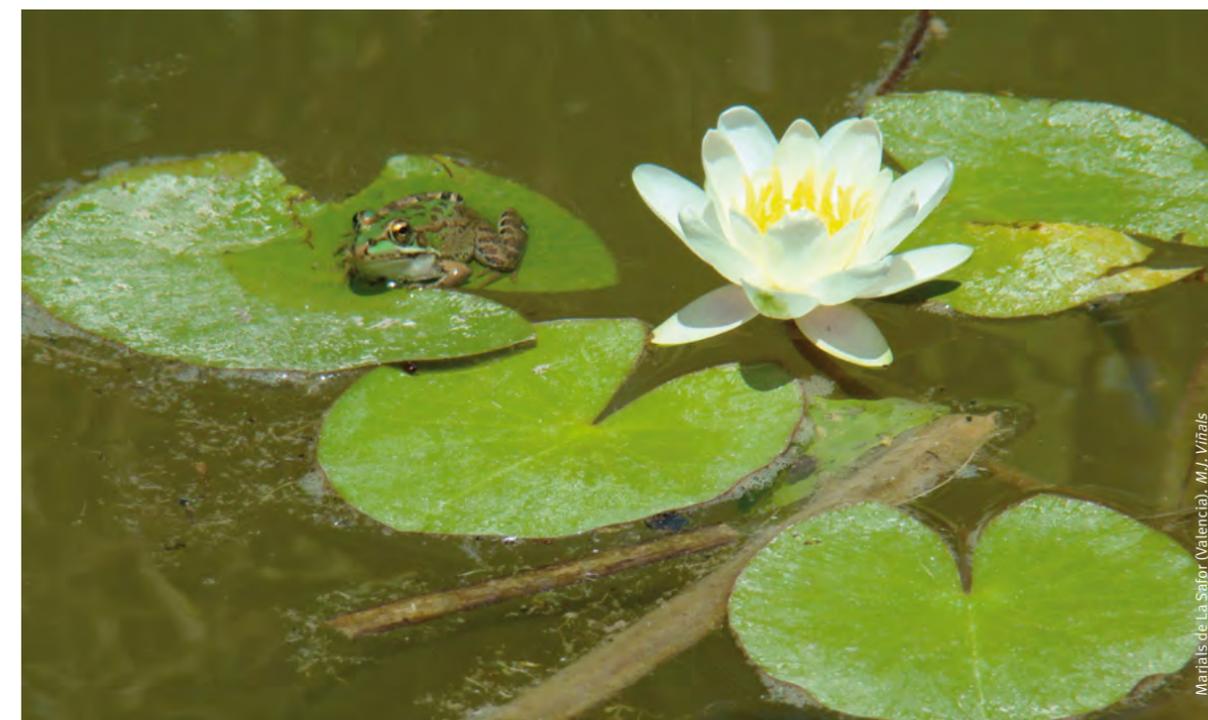
La selección de las especies que guíe el estudio de necesidades hídricas deberá tener en cuenta, su sensibilidad a los cambios en el régimen de inundación del humedal y, en particular, al tipo de alteración hidrológica que sufre la masa de agua. De esta forma, las especies de flora y fauna o hábitats naturales, podrán ser considerados individualmente o bien por comunidades faunísticas o grupos de hábitats.

Parece ser que la vegetación es el indicador más adecuado debido a su elevada diversidad y al pa-

pel determinante que desempeña la vegetación como lugar de refugio, cría o alimentación para otros grupos faunísticos (aves, anfibios, peces, etc.).

Así, vemos que cuando se analizan en detalle las necesidades de agua de las comunidades vegetales, se observa que existe un gradiente de dependencia desde las plantas estrictamente acuáticas que desarrollan todo su ciclo biológico dentro del agua, hasta aquellas otras que presentan una afinidad y ventaja adaptativa en condiciones favorables de humedad (por ejemplo la vegetación freatorfítica).

La organización espacial de las especies vegetales en un humedal responde pues fundamentalmente a gradientes ambientales, donde el régimen de inundación y las condiciones de salinidad son los factores primarios responsables de esta organización. El resultado es un paisaje caracterizado por una zonación de la vegetación en bandas concéntricas que se distribuyen a partir del centro de la laguna (Keddy, 2002; Wisheu y Keddy, 1992; Wasserberg *et al.*, 2006).



Entre los Hábitats de Interés Comunitario que dependen del agua relacionados en el Anexo I de la Directiva Hábitats, se pueden citar: los hábitats de aguas estancadas (Grupo 31), vegetación anual pionera (Grupo 13), pastizales mediterráneos (Grupo 14), estepas continentales (Grupo 15), turberas (Grupo 71), etc. En España, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino llevó a cabo exhaustivos estudios de caracterización de los hábitats incluido en el grupo 31 (VV.AA., 2009) debido a su interés al estar involucrados en la aplicación sinérgica de las Directivas Europeas Hábitat y Marco del Agua.

Otro indicador, además de la vegetación, son las aves las cuales han desarrollado numerosas estrategias, comportamientos y adaptaciones morfológicas para aprovechar al máximo la diversidad de nichos ecológicos disponibles en las zonas húmedas. A pesar de las limitaciones y precauciones necesarias a la hora de utilizar las aves acuáticas como indicadores en los humedales tal como apuntan Green y Figuerola (2003), el estado de conservación de algunas especies refleja el alcance de los cambios hidrológicos en los humedales, y, por extensión, los beneficios potenciales de restaurarlos. Hay que comentar además que, en España, algunas especies que presentan una gran dependencia del agua han desaparecido o se encuentran gravemente amenazadas, como es el caso del avetoro común.



Botaurus stellaris. Autor: Biopaulker. Este archivo se encuentra bajo la licencia Creative Commons Genérica de Atribución/CompartirIgual 3.0



El Avetoro común como especie indicadora

El Avetoro común (*Botaurus stellaris*) mantiene una población actual que no debe superar los 25 machos territoriales en España y 200 en el conjunto de las poblaciones Mediterráneas de España, Francia e Italia. Antaño era una especie con presencia constante en ciertos humedales españoles, pero a partir de la segunda mitad del siglo XX se produjo el mayor declive poblacional, llevando a los efectivos poblacionales hasta el borde mismo de la extinción en la década de los años '80. En la década posterior, se estimó la presencia de 8 machos territoriales en las Marismas del Guadalquivir, que desaparecieron tras el ciclo de sequía de 1992, no habiéndose vuelto a citar como especie reproductora.

La degradación y pérdida de sus hábitats naturales ha sido identificada como la principal causa del declive de la especie, destacando entre otros factores la escasez de extensos carrizales (con ausencia de diferentes etapas de desarrollo) y los efectos de la gestión del agua (manipulación de niveles, drenajes, extracciones, etc.). Otro de los factores señalados apunta al control del régimen hidrológico que se realiza en la mayoría de los humedales, tendente a convertir los carrizales en formaciones muy densas e inapropiadas para la especie.



Parque Natural del Marjal de Pego-Oliva (Alicante-Valencia). M. Oñorbe

4. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS HUMEDALES

Una vez analizados los elementos clave de los humedales para el estudio de las necesidades hídricas (hidrología, comunidades biológicas y objetivos de conservación), procede estudiar los métodos y técnicas para su determinación y la forma de implementarlos.

Los principios básicos que guían los estudios de necesidades hídricas tienen que ver con el agua que necesita el humedal para alcanzar los objetivos de conservación establecidos. Los objetivos ambientales asociados a las necesidades hídricas de los humedales tienen que ver como se comentó anteriormente, con la conservación y recuperación de las funciones ecológicas generales de los humedales, su papel en la conservación de especies y hábitats y la conservación de los paisajes.

Esta es la idea que viene recogida en los diversos instrumentos legales. Así, en la Ley de Patrimonio Natural y Biodiversidad en su artículo 45 habla de establecer los instrumentos o planes de gestión en

los espacios de la Red Natura 2000 (“fijar las medidas de conservación necesarias, que respondan a las exigencias ecológicas de los tipos de hábitats naturales y de las especies presentes en tales áreas”) con objeto de conseguir el “buen estado ecológico” de los ecosistemas. Pero, puede darse la situación de que en algunos humedales, además de este objetivo de conservación se sumen otros, como el caso de las zonas protegidas (parque nacional, zona ZEPA, etc.) o los humedales Ramsar. Así, vemos que la Directiva Aves tiene entre sus objetivos la protección de las especies de aves y sus hábitats, estando sujetas algunas de ellas a medidas especiales de conservación. Otro ejemplo es la Convención Ramsar que también utiliza criterios ornitológicos para la designación de tales humedales o también zonas húmedas que albergan especies del Anexo IV de la Directiva Hábitats que gozan de protección estricta dentro y fuera de los espacios de la Red Natura 2000. En este último caso se deberán determinar unas necesidades

hídricas adecuadas para salvaguardar la continua funcionalidad ecológica de sus áreas de cría y descanso que contribuya eficazmente al sistema de estricta protección de las mismas.

La DMA retoma todas estas situaciones y, en su artículo 4.2., establece que cuando en una masa de agua coincide más de un objetivo de conservación, se deberá aplicar el objetivo más riguroso. Esto quiere decir que será necesario identificar sistemáticamente y en cada caso los objetivos de conservación para los hábitats y especies de interés comunitario que dependen del agua y comprobar si serán más rigurosos que otros objetivos de la DMA de aplicación en cada masa de agua.

Por otra parte, la Instrucción de Planificación Hidrológica habla de que *“la caracterización de los requerimientos hídricos ambientales de las masas de agua clasificadas en la categoría de lagos o zonas de transición de tipo lagunar tiene como objetivo fundamental contribuir a alcanzar su buen estado o potencial ecológico”*. Este objetivo de conservación se conseguirá *“a través del mantenimiento sostenible de la funcionalidad y estructura de dichos ecosistemas, proporcionando las con-*

diciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de estos ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante la preservación de los procesos ecológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos”. En el caso de que los lagos y zonas húmedas sean dependientes de las aguas subterráneas, la misma Instrucción indica que se deberá mantener un régimen hídrico relacionado con los niveles piezométricos, de tal forma que *“las alteraciones debidas a la actividad humana no tengan como consecuencia impedir alcanzar los objetivos medioambientales especificados para las aguas superficiales asociadas o cualquier perjuicio significativo a los ecosistemas terrestres asociados que dependan directamente de la masa de agua subterránea”*.

De todas estas situaciones contempladas se desprende la idea de que un mejor estado de conservación se alcanza con unas aportaciones hídricas próximas a las naturales y de que las necesidades hídricas de un humedal deberán ser definidas para evitar producir cambios significativos en las comunidades biológicas.

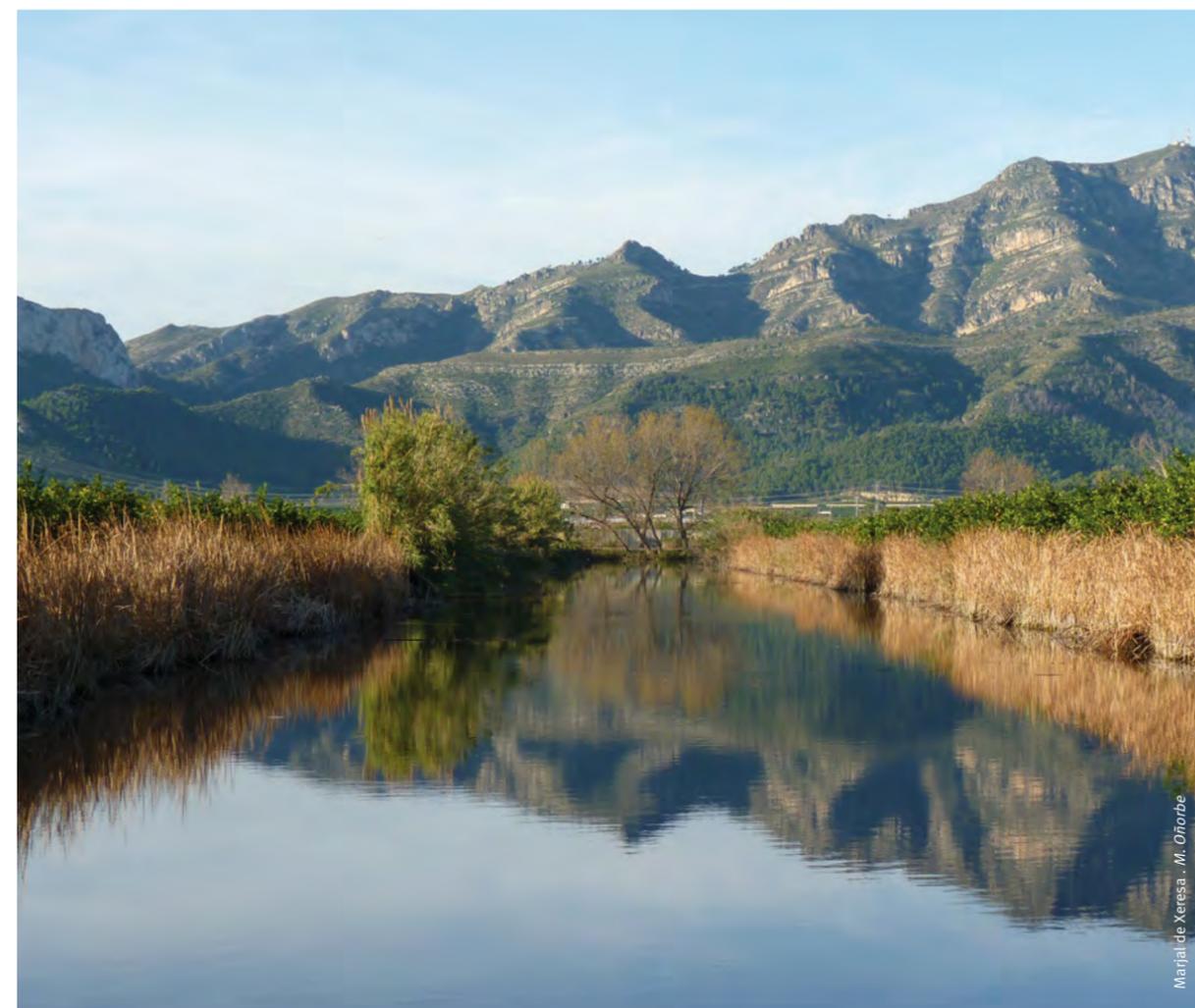
4.1. MÉTODOS DE CÁLCULO EN EL ESTUDIO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS

Las herramientas y técnicas desarrolladas en el ámbito científico para determinar las cantidades de agua que necesitan los ecosistemas se denominan de forma general “métodos de cálculo”.

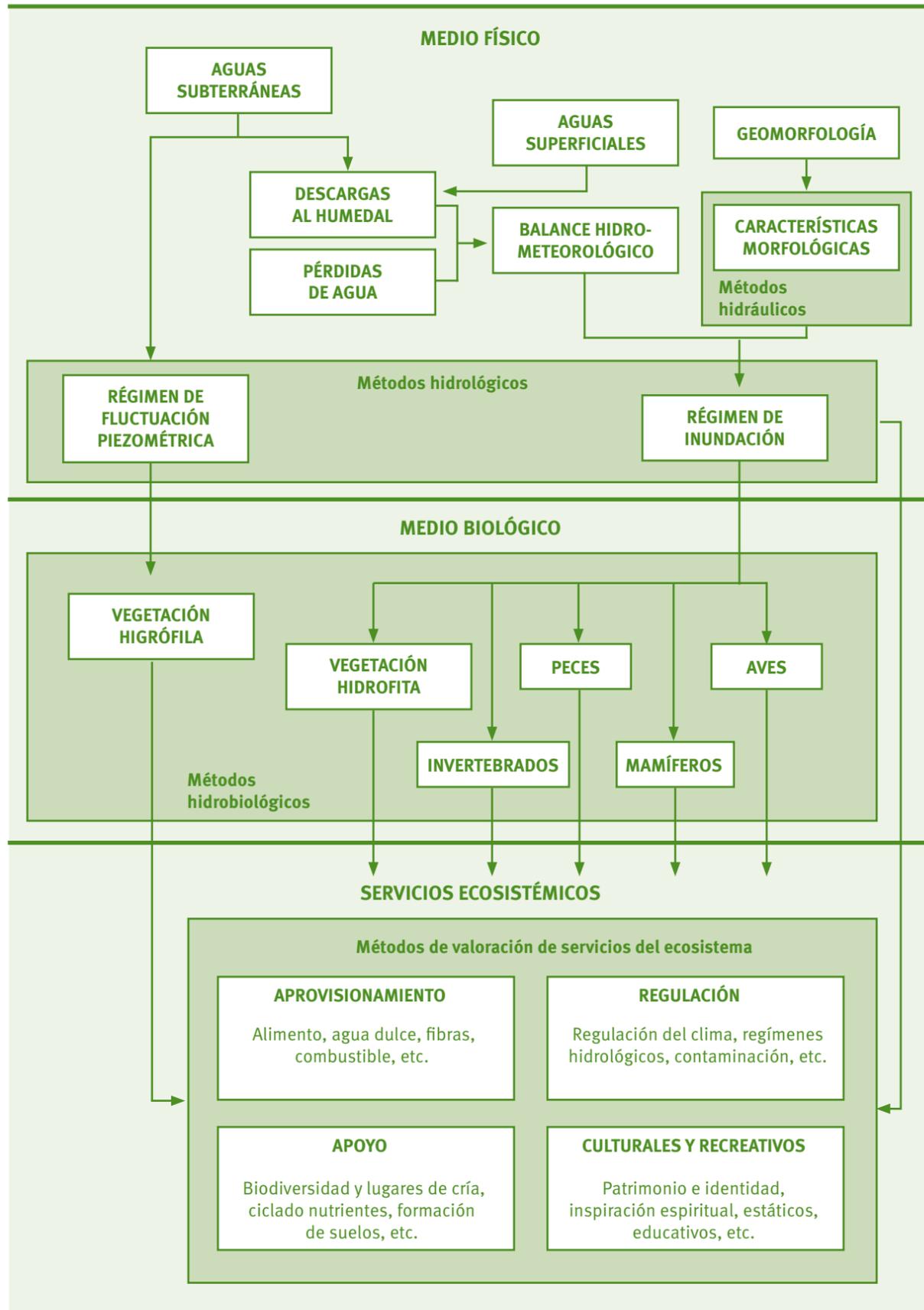
Estos métodos determinan el tipo de régimen hidrológico necesario para que el humedal pueda mantener sus características ecológicas. De este modo, tal y como se comentó al principio, habrá que identificar en primer lugar las características ecológicas más relevantes que deben ser conservadas en el humedal.

Se parte pues de la base de que un humedal está conformado por un medio físico y un medio bio-

lógico representado por comunidades vegetales, animales y microorganismos que interactúan como unidad funcional. En el medio físico, tal como se ha presentado anteriormente, destaca el papel del régimen hidrológico, cuya dinámica particular (resultado de las descargas subterráneas, aportes superficiales, pérdidas por evaporación, etc.) da lugar a un régimen de inundación determinado que variará según las características de la cubeta. Esta dinámica hidrológica está en la base de los procesos ecológicos y proporciona las condiciones del hábitat a partir del cual las especies animales, vegetales y los microorganismos interactúan, se organizan, cambian, fluctúan y evolucionan.



MODELO CONCEPTUAL SIMPLIFICADO MOSTRANDO LAS CARACTERÍSTICAS DE UN HUMEDAL



Se han descrito más de 200 métodos en todo el mundo para determinar caudales ecológicos y/o necesidades hídricas que se pueden clasificar en: métodos hidrológicos, métodos hidráulicos, métodos hidrobiológicos o de simulación de hábitat, métodos de valoración de los servicios del ecosistema, y aproximaciones holísticas.

A pesar del gran desarrollo de estas metodologías en los últimos años, aún falta un gran consenso entre científicos y gestores para adoptar un método plenamente satisfactorio. La sencillez de cálculo hace que las aproximaciones hidrológicas sean las más utilizadas, mientras que los métodos de simulación del hábitat son ampliamente empleados en algunos países del hemisferio norte. Existe cada vez una opinión más favorable hacia aquellas aproximaciones metodológicas que adoptan el “enfoque por ecosistemas”, prestando atención prioritaria a los procesos naturales de los ecosistemas e incorporando en mayor o menor grado los componentes del régimen hidrológico natural. En este sentido, los enfoques holísticos son los mejor considerados en la bibliografía especializada (Carreño *et al.*, 2008).

Los métodos hidrológicos se fundamentan en el régimen hidrológico natural (por extensión el hidroperiodo y el régimen de inundación) ya que es una variable clave en la dinámica y funcionamiento de los humedales. Entre las ventajas de los métodos hidrológicos se encuentra la capacidad de análisis y su resolución temporal (se pueden caracterizar todos los componentes del régimen hidrológico a las escalas temporales requeridas). También es destacable que se trata de una aproximación analítica que se utiliza en el resto de métodos como variable de referencia.

Los métodos hidrológicos son adecuados cuando se trata de realizar una primera aproximación de las necesidades de agua de los humedales o cuando es necesario realizar evaluaciones rápidas. También resulta útil cuando se trata de humedales en los que se ha empleado el criterio de la importancia hidrológica para su designación como humedal de importancia internacional.

Existen numerosas variantes del método hidrológico que se fundamentan en el análisis del régimen hidrológico natural para formular propuestas de agua de los humedales. Las mejores se basan en la caracterización del “régimen de perturbaciones naturales” y el “rango natural de variabilidad” (a

partir del análisis por percentiles). De este modo, estos métodos reflejan adecuadamente los hidroperiodos de los humedales cuando se aplican sobre una serie hidrológica a escala mensual. La elevada variabilidad interanual de muchos humedales también aconseja separar al menos los ciclos húmedos de los ciclos secos para abarcar un mayor rango de condiciones ambientales.

La caracterización del régimen de perturbaciones naturales se lleva a cabo a partir de los análisis de eventos. Los episodios de volúmenes máximos y mínimos en los humedales representan eventos de gran trascendencia ecológica para los mismos.

Entre las limitaciones de aplicación de los métodos hidrológicos se encuentra la escasa disponibilidad de series hidrológicas del humedal que presenten un periodo suficientemente extenso (más de 20 años) y que respondan a las condiciones hidrológicas naturales. No obstante, estas limitaciones están siendo superadas con el desarrollo de modelos de simulación hidrológica y los análisis retrospectivos a partir de las imágenes de satélite.





Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (Almería). M. Ordoñez

Los métodos hidrobiológicos también denominados métodos de simulación de hábitat, analizan las respuestas de determinadas especies frente a las condiciones hidrológicas. Estos modelos se basan en las preferencias de las especies acerca de las condiciones del hábitat. Para aplicar este método hay que identificar las especies o grupos biológicos cuyo interés y valor indicativo sea lo suficientemente relevante. Por tanto es muy apropiado cuando los elementos biológicos han sido el fundamento de la designación de humedales de importancia internacional. Además, hay que analizar los límites de las preferencias que pueden ser determinados para cada una de las especies a través de un estudio detallado de las mismas.

El hábitat de una especie es entendido como “la descripción de un lugar, en una escala de espacio y tiempo determinada, en el que un organismo vive o puede vivir”. Para describir un hábitat se suele recurrir a características geográficas, climáticas y biológicas que son importantes en la distribución de los organismos. A pesar de que resulta prácticamente imposible definir todas las variables, el

hábitat de una especie podría representarse adecuadamente mediante la selección de algunas de estas variables. No cabe duda de que en el caso de las especies acuáticas cobran relevancia las variables físicas relacionadas con el agua (profundidad, duración de inundación, momento de la inundación, etc.). Por su parte, este modelo basado en los hábitats informa sobre la superficie potencial que ocuparían las especies o comunidades en función de dicho régimen de inundación.

Entre las ventajas de este método hay que destacar su poder predictivo, lo que le confiere un enorme potencial a la hora de formular diferentes escenarios de necesidades de agua para un humedal. Además, se puede utilizar en combinación con otros métodos para predecir las consecuencias biológicas de un determinado escenario de gestión y sus implicaciones en términos de otros usuarios del agua o en términos económicos. Por este motivo, los métodos hidrobiológicos están especialmente indicados en aquellos casos donde existen conflictos por el uso del agua.

Entre las limitaciones de los métodos hidrobiológicos se encuentra el elevado coste en tiempo y recursos para desarrollar los estudios biológicos y físicos que requieren. En muchos casos, las propuestas formuladas con métodos hidrobiológicos se han basado en una sola especie, sin abordar los procesos complejos que rigen a los humedales, ni la rica diversidad de otras especies. De hecho, en los humedales con una elevada biodiversidad es difícil encontrar una especie que represente al conjunto del ecosistema.

La determinación de las necesidades hídricas basada en aproximaciones holísticas parte de la consideración del humedal como un todo; pretendiendo conocer la respuesta del conjunto a partir del análisis de diferentes componentes o procesos esenciales del ecosistema, incluidas también las especies.

Estas aproximaciones holísticas no responden a ningún método en particular sino a un enfoque o visión, en el que diferentes ámbitos de conocimiento (incluyendo la hidrología, hidráulica, hidrogeología, geomorfología, ecología, botánica, ictiología, entomología, calidad de las aguas, etc.) se organizan en un marco de trabajo para adoptar de forma comprensiva y explícita propuestas de necesidades de agua orientadas al cumplimiento de los objetivos ambientales del humedal y su conservación a largo plazo. Los métodos hidrológicos e hidrobiológicos descritos anteriormente no se excluyen en la aproximación holística, sino que forman parte de un marco conceptual y de trabajo más extenso que abarca a todo el ecosistema en diferentes escalas espaciales y temporales.

Sin duda, la ventaja más destacada de estas aproximaciones radica en el hecho de abordar los ecosistemas de humedales como un todo, enfocándose hacia la conservación del conjunto a medio y largo plazo. Es importante la participación de expertos en las diferentes áreas de conocimiento, incluyendo en muchos casos expertos locales, ya que otorga a estos métodos una buena credibilidad científica. Por este motivo también son aproximaciones útiles en situaciones de conflicto con otros usuarios del agua. En situaciones de escasez de datos también puede ser útil contar con el conocimiento de los expertos. Entre los inconvenientes de las aproximaciones holísticas destacan su elevado coste en relación a los métodos hidrológicos.

Como se puede observar, la selección final de un método u otro depende de las características concretas del humedal (ecológicas, económicas y sociales) y del contexto de la decisión a adoptar (planificación general de recursos, monitoreo, dirimir conflictos con usuarios, plan de restauración del humedal, etc.). En cualquier caso conviene recordar que los métodos presentados ni son excluyentes ni necesariamente deberían proporcionar resultados dispares entre sí. Más bien se debe tener en cuenta que los análisis y la información empleada por cada uno de ellos es diferente (algunos se basan en pocas variables mientras otros utilizan diversas variables y modelos sofisticados).

4.2. FASES DEL ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS

A la hora de llevar a cabo un estudio sistemático de las necesidades hídricas de un humedal, se debe proceder en primer lugar a la caracterización del humedal incluyendo en este apartado: identificación del tipo de humedal, caracterización climática, caracterización hidromorfológica, caracterización hidrogeológica, funcionamiento hidrológico y

balance hídrico, balance físico-químico, caracterización ecológica, identificación de presiones.

Respecto a la información útil para estos estudios hay que señalar que se encuentra dispersa entre diversos organismos y no ha sido objeto de una compilación ni de un tratamiento integrado hasta el momento.

El proceso posterior a seguir para la determinación de las necesidades hídricas se inspira en el esquema de trabajo propuesto por la “Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos / Lagos y Zonas Húmedas” elaborada por un Grupo de Trabajo coordinado por la Subdirección General de Planificación y Uso Sostenible del Agua (MARM), que se configura a partir de cuatro fases de trabajo:

1. Identificación de las variables (hidrológicas, hidráulicas, biológicas, físico-químicas y ecológicas) necesarias para la caracterización del humedal. Dicha caracterización se debe realizar de la forma más completa posible en función de los datos disponibles y de la relevancia para la conservación (a escala comunitaria, estatal o regional) y seguirá el esquema presentado anteriormente.

2. Modelización del comportamiento hidrológico del humedal, utilizando uno de los modelos propuestos para la determinación del régimen de inundación (hidrológico de aguas superficiales y subterráneas y/o modelos hidráulicos e hidrodinámicos).

3. Establecimiento de las relaciones entre este comportamiento hidrológico y ecológico del humedal, identificando las variables morfológicas e hidrológicas más determinantes para la preservación del “buen estado ecológico”.

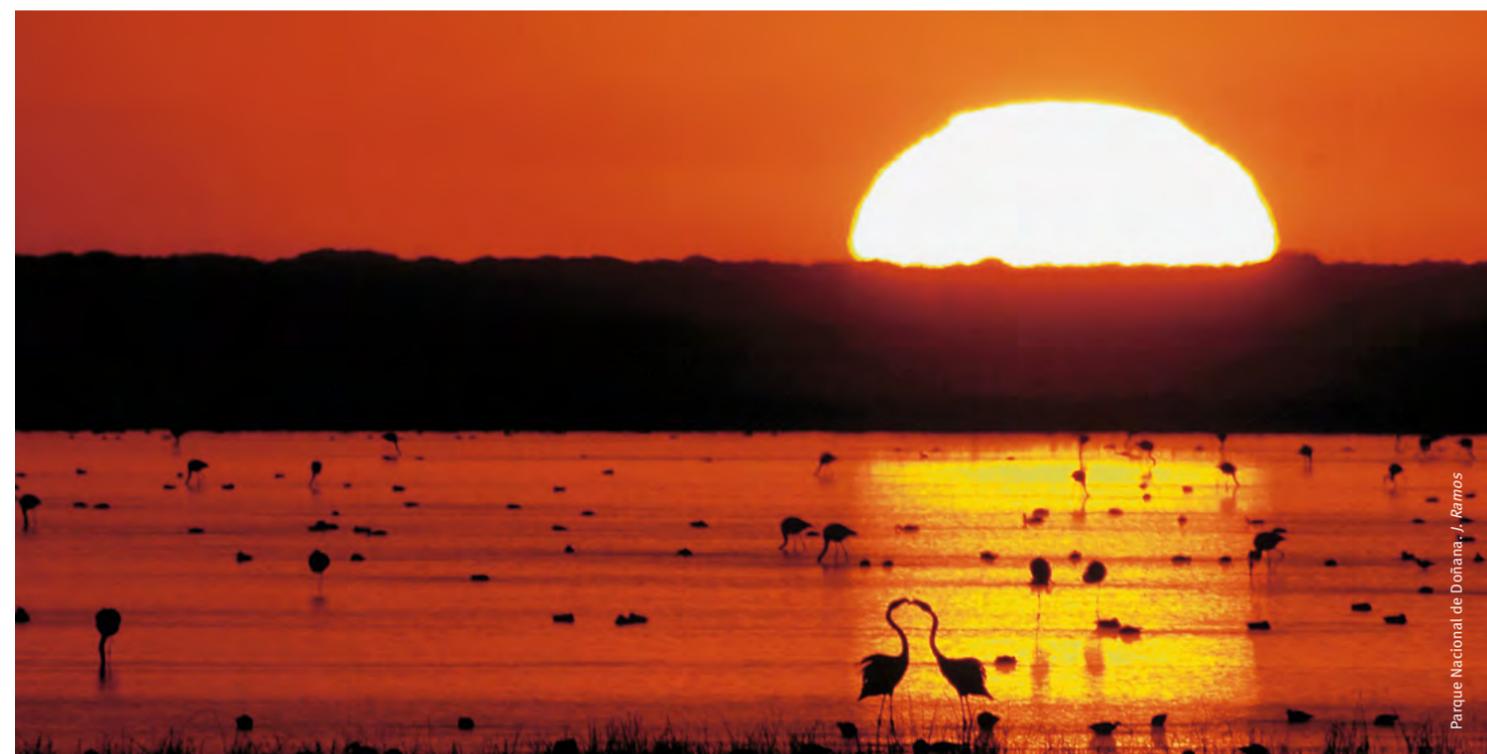
4. Determinación de los aportes hídricos necesarios a escala mensual correspondientes a las necesidades hídricas del humedal.

Aspectos considerados en la caracterización de humedales

Identificación del tipo de humedal	Los humedales deberán ser identificados con sus códigos correspondientes (código de LIC, ZEPA, RAMSAR, etc.). Además, deberán ser clasificados en la categoría en alguno de los tipos que establece la Instrucción de Planificación Hidrológica, de acuerdo a los procedimientos establecidos en la propia instrucción. En los casos en que la disponibilidad de información lo permita y sean asimilables a los tipos de masas, se asignarán a la tipología de masa de agua que corresponda.	Funcionamiento hidrológico y balance hídrico	Identificar y cuantificar los aportes de agua que alimentan el sistema, en particular los de origen subterráneo, y las salidas o pérdidas. Se deberá establecer un modelo conceptual sobre el funcionamiento del humedal, identificando todos sus componentes y sus variaciones estacionales e interanuales. Esto permite conocer el origen de las aguas del humedal (superficial, subterráneo o mixto), el carácter del humedal respecto a las mismas (influyente o efluente), así como los volúmenes de alimentación, recarga y circulación hídrica del sistema.
Caracterización climática	Se deberán obtener datos de las variables fundamentales para realizar el balance hídrico: precipitación, temperaturas medias, máximas y mínimas, evaporación y evapotranspiración potencial y real. Los datos obtenidos deberán ser de buena calidad y representativos de las condiciones climáticas del humedal y su cuenca vertiente.	Balance físico-químico	Cuando sea posible se deberá caracterizar la composición química del agua y sus variaciones estacionales e interanuales, en particular su mineralización, tanto en lo referente a composición como a concentración, así como las principales entradas y salidas de sustancias químicas y condiciones de los parámetros físicos. Un humedal con diferentes aportes de agua presenta una dinámica en su composición que depende de los diferentes aportes. Para evitar que se produzcan cambios en las condiciones físico-químicas del humedal y éste pierda sus características, además de los aportes es necesario conocer su origen y características. Esto será de aplicación también para las masas de agua subterránea asociadas al funcionamiento del humedal.
Caracterización hidrogeológica	En los casos donde sea posible, la información deberá obtenerse a partir de series históricas suficientemente representativas de condiciones inalteradas o con escasas alteraciones hidrológicas. En humedales con aportación subterránea de agua, se deberá describir el funcionamiento del acuífero asociado al humedal y los valores de los parámetros que definen el comportamiento hidrogeológico de las mismas (transmisividad, coeficiente de almacenamiento, nivel piezométrico, volúmenes extraídos). En caso de no existir batimetría del humedal y no sea posible realizarla para el caso, se deberá generar una batimetría mediante el uso de modelos digitales del terreno (MDT) de la mejor resolución disponible.	Caracterización ecológica	Se deberá caracterizar la composición y estructura de las comunidades biológicas que albergan los humedales (hábitats y especies), así como sus variaciones estacionales e interanuales, identificando aquellas especies que estén en peligro de extinción, estén protegidas o sean indicadoras.
Caracterización hidromorfológica	Se caracterizarán aquellas variables hidromorfológicas que tengan mayor influencia en la estructura y funcionamiento del ecosistema acuático. Para ello se deberá contar con una batimetría del humedal, así como con datos de la superficie encharcada y de la profundidad y sus variaciones estacionales e interanuales.	Identificación de presiones	Se deberán identificar las extracciones de agua en los humedales y su evolución histórica, así como el uso directo que se realice de las mismas, al igual que los aportes artificiales de agua tales como los retornos de riego. También se deberán identificar otras presiones, tales como los cambios de usos del suelo, problemas de calidad del agua, etc.

» Índice detallado de un trabajo de determinación de Necesidades Hídricas

1. DATOS GENERALES
 - 1.1. Situación
 - 1.2. Descripción general
 - 1.3. Régimen jurídico de protección
 - 1.3.1. Figuras de protección
 - 1.3.2. Instrumentos y normas de gestión
2. CARACTERÍSTICAS DEL HUMEDAL
 - 2.1. Climatología
 - 2.2. Geología y Geomorfología
 - 2.3. Topografía y características hidráulicas
 - 2.4. Fauna
 - 2.5. Flora y vegetación
 - 2.5.1. Flora con interés de conservación
 - 2.5.2. Vegetación
 - Comunidades vegetales características
 - Preferencias hidráulicas y modelo de vegetación
 - Evolución de la vegetación
3. PRESIONES E IMPACTOS
 - 3.1. Presiones
 - 3.2. Impactos
4. VALORES DE CONSERVACIÓN DEL HUMEDAL
 - 4.1. Valores de conservación
 - 4.1.1. Criterios Ramsar
 - 4.1.2. Hábitats de Interés Comunitario
 - 4.1.3. Especies de Interés Comunitario (mamíferos, aves, anfibios y reptiles, peces, invertebrados y plantas)
 - 4.2. Estado general de conservación
5. HIDROLOGÍA DEL HUMEDAL
 - 5.1. Descripción del funcionamiento hidrológico
 - 5.1.1. Funcionamiento hidrológico en condiciones naturales
 - 5.1.2. Funcionamiento hidrológico en condiciones modificadas
 - 5.2. Series de niveles de inundación del humedal y balance asociado
 - 5.3. Modelización del balance hídrico del humedal
 - 5.3.1. Elementos del balance
 - 5.3.2. Series de balances mensuales del humedal
 - 5.4. Alteración del régimen hidrológico del humedal
6. SÍNTESIS ECOLÓGICA E HIDROLÓGICA DEL HUMEDAL
 - 6.1. Modelo conceptual
 - 6.2. Estado de conservación del humedal
 - 6.3. Evolución y tendencias del humedal
7. NECESIDADES HÍDRICAS DEL HUMEDAL
 - 7.1. Objetivos de conservación asociados al régimen de necesidades hídricas
 - 7.2. Formulación de la propuesta de necesidades hídricas
 - 7.2.1. Aproximación hidrológica
 - a. Determinación de valores hidrológicos característicos
 - b. Caracterización de hidroperiodos de referencia
 - c. Selección de hidroperiodos y propuesta de necesidades hídricas
 - 7.2.2. Aproximación hidrobiológica
 - a. Identificación de elementos biológicos o ecológicos para la propuesta de necesidades hídricas (flora, fauna y vegetación)
 - b. Determinación de superficies potenciales de referencia
 - c. Selección de criterios para la determinación de necesidades mínimas
 - d. Determinación de la superficie potencial de las propuestas hidrológicas.



Parque Nacional de Doñana. J. Ramos

5. CASOS DE ESTUDIO

5.1. MARISMA DE DOÑANA⁶

5.1.1. Características del humedal

El Parque Nacional de Doñana se localiza entre las provincias de Huelva, Sevilla y Cádiz, en la Comunidad de Andalucía, al sur de España. Este humedal se caracteriza por la gran diversidad de ambientes; incluye ecosistemas forestales, matorral mediterráneo, complejos dunares (dunas móviles y fijas), playas con flecha litoral, sistemas lagunares y, sobre todo, espacios de marisma. La marisma es una llanura arcillosa que ocupa actualmente 30.000 ha, fruto de la deposición fluvial y sometida a la influencia marina, resultado del relleno del antiguo sistema estuarino de la desembocadura de los ríos Guadalquivir y Guadiamar. Esta área constituye una extraordinaria zona de invernada, migración y cría para numerosas especies de aves, especialmente de las acuáticas. Destaca también

la presencia de varias especies emblemáticas en peligro de extinción, como el lince ibérico o el águila imperial, que tienen en este espacio uno de sus últimos reductos a nivel mundial. Todo ello lo significa como un ejemplo de excelencia único y mundialmente reconocido.

Las presiones más importantes que afectan al humedal son:

- Las transformaciones en el uso del suelo que empezaron a raíz de la puesta en marcha de los planes de desarrollo agrícolas en la segunda mitad del siglo XX, que supusieron la desecación y transformación de aproximadamente el 76% de la superficie original (150.000 ha) del conjunto de las marismas del Guadalquivir (Casas y Urdiales, 1995; MMA, 2001; García Novo y Marín, 2005) y también de una parte de las

⁶ El desarrollo de este caso de estudio se basa en el informe realizado por Rafael Sánchez para WWF España en 2009 titulado "Caudales ecológicos de la marisma del Parque Nacional de Doñana y su área de influencia".

masas forestales autóctonas que fue sustituida por eucaliptos.

- La extracción de aguas subterráneas para riego ha supuesto un descenso continuado de los niveles piezométricos en algunas localidades.

- La caza indiscriminada de especies fue muy frecuente en décadas anteriores y de gran impacto sobre algunas especies hoy día en peligro de extinción.

- El exceso de carga ganadera en algunas zonas ha traído aparejado en el pasado daños para la vegetación del sitio de Doñana.

- La introducción de especies alóctonas ha supuesto daños y transformaciones profundas en los ecosistemas de Doñana, en especial la introducción del cangrejo de río americano *Procambarus clarkii*.

En el funcionamiento hidrológico de la Marisma de Doñana intervienen un variado entramado de ríos, arroyos y lagunas, y aguas de diferente procedencia (incluida la inundación mareal y las aguas subterráneas del acuífero subyacente).

Las intervenciones humanas comentadas provocaron los cambios más profundos del régimen hidrológico de las marismas y la reducción drástica de su superficie.

Una de las consecuencias principales del conjunto de intervenciones de la historia reciente de Doñana ha sido la drástica reducción de los aportes de agua a la marisma. La figura 2 recoge a grandes rasgos la cronología de las intervenciones más importantes y una cuantificación aproximada del impacto de las mismas.

Los efectos de la drástica reducción de las aportaciones a la Marisma han sido parcialmente compensados por dos factores. Independientemente de los problemas ambientales ocasionados (pérdida de conectividad biológica, sobre elevación de los niveles máximos de inundación, transformación en un sistema de marisma estancado, etc.), el cierre de las compuertas equipadas en la Montaña del Río (de los Dos Rompidos, de la Figuerola, de Brenes, etc.) ha permitido prolongar los periodos de inundación de la marisma. En segundo lugar, junto a la reducción de aportaciones se ha producido en paralelo, una reducción de la superficie de la marisma que parcialmente pudiera compensar los niveles de inundación en la marisma remanente.

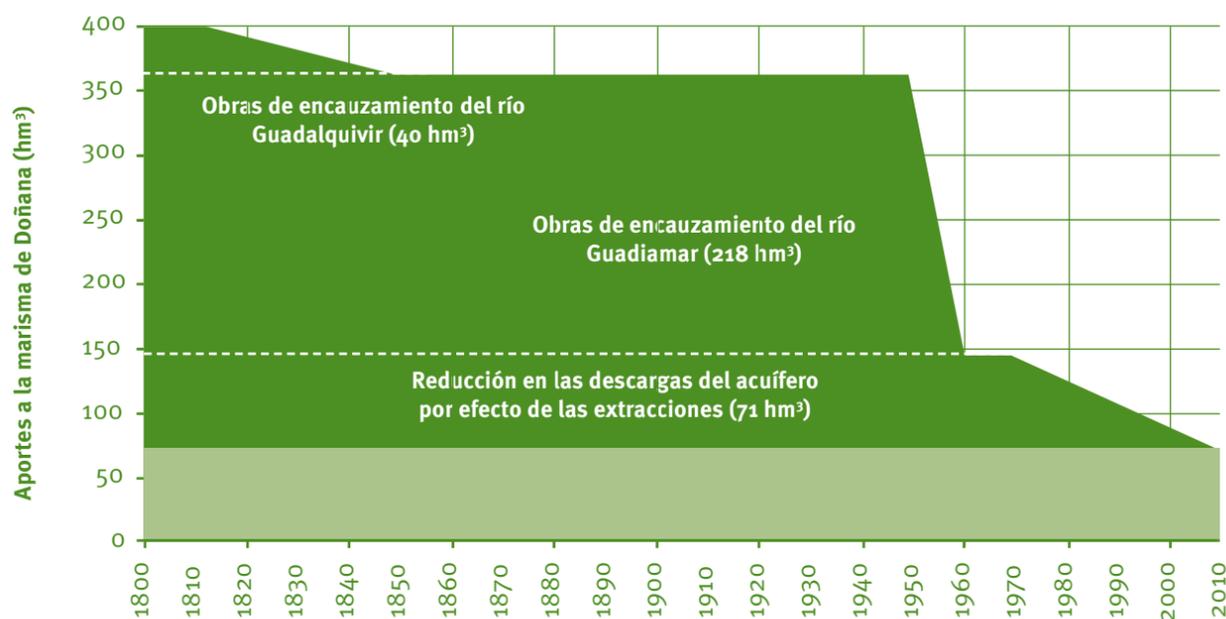


Figura 2. Cronología de la reducción de aportes fluviales a la Marisma con indicación de las principales intervenciones.

5.1.2. Estudio de las necesidades hídricas

Para formular la propuesta de necesidades hídricas de Doñana se ha empleado una aproximación basada en el marco ELOHA (Ecologic Limits of Hydrological Alteration) por considerarlo científicamente robusto y flexible para evaluar y gestionar los caudales ecológicos. En este marco, el conocimiento se organiza sistemáticamente en torno al binomio alteración hidrológica vs. respuesta ecológica, dentro de un contexto más amplio de toma de decisión (Arthington *et al.*, 2006; Poff *et al.*, 2009).

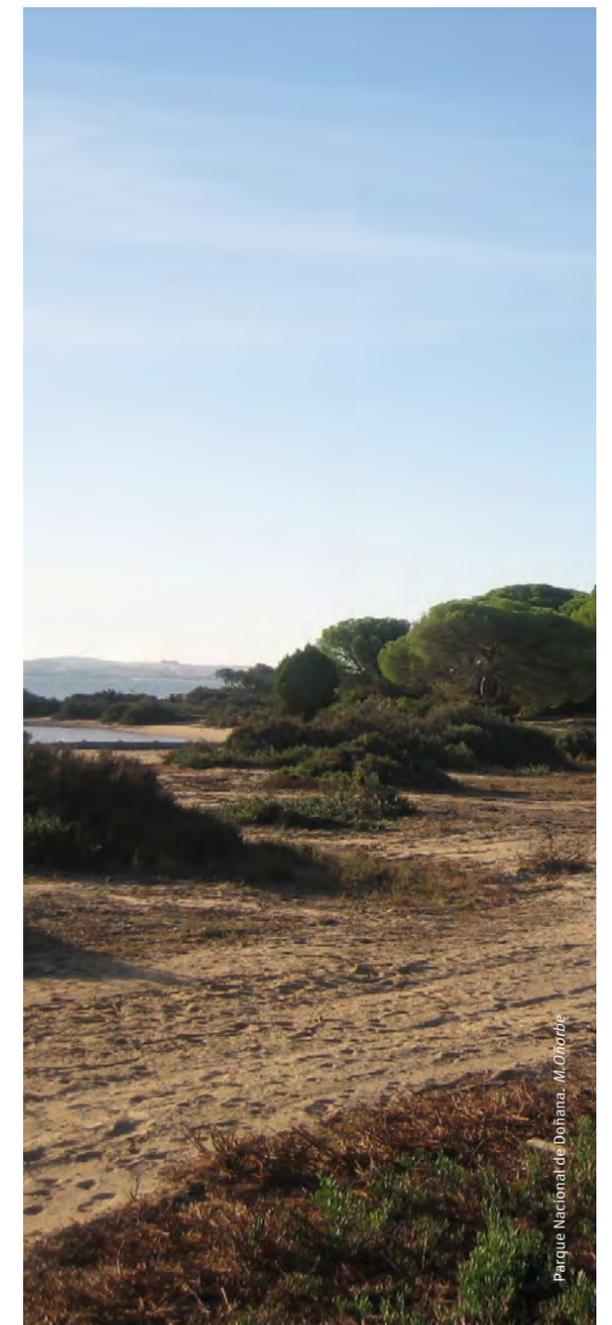
La formulación de la propuesta de las necesidades hídricas de la Marisma a partir de este marco conceptual (pasos 1 a 7 de la figura 3) implica el desarrollo de tres análisis fundamentales:

1. Análisis hidrológico. A partir de la información disponible se analiza el funcionamiento hidrológico de la marisma y de sus ríos de influencia en condiciones naturales y alteradas (pasos 1 y 2). En la caracterización hidrológica se incluye el análisis de los estiajes naturales, el patrón estacional de caudales de base y el régimen de crecidas de cada sistema. Los aportes superficiales son complementados con los balances del sistema acuífero Almonte-Marismas. De la comparación de las series históricas naturales con las series observadas (registros en las estaciones de aforo, superficies de inundación, niveles de lámina de agua, etc.) se evalúan los cambios hidrológicos observados, completando la cronología de estos cambios desde 1850 hasta la actualidad.

2. Análisis hidroecológico. El régimen hidrológico natural es un factor de control clave que marca en gran medida las pautas de cambio de los ecosistemas. Los hábitats y especies asociadas ofrecen respuestas a la dinámica hidrológica natural, entre las cuales se incluye la distribución y abundancia de los diferentes organismos. La relación hidrología-ecología es clave para entender la dinámica de los ecosistemas, hábitats y especies. Entre los grupos biológicos destaca la vegetación por su importancia intrínseca, por el papel que desempeña para los diferentes grupos faunísticos y por su capacidad indicadora de cambios. En relación a la vegetación existe una zonación en función del régimen de inundación.

3. Análisis legal. Los condicionantes impuestos desde el marco legal restringen en gran medida las posibles opciones de caudales ecológicos

en el ámbito de Doñana. Los objetivos generales de conservación se complementan con los específicos como zona protegida (particularmente exigentes en el caso del Parque Nacional). En este estudio se revisa tanto el marco legal general de los caudales ecológicos como las disposiciones específicas de Doñana. De esta forma se han podido explicitar los objetivos de conservación para los que se debe formular la propuesta de caudales ecológicos coherentemente.



Parque Nacional de Doñana. M. Ordoñez

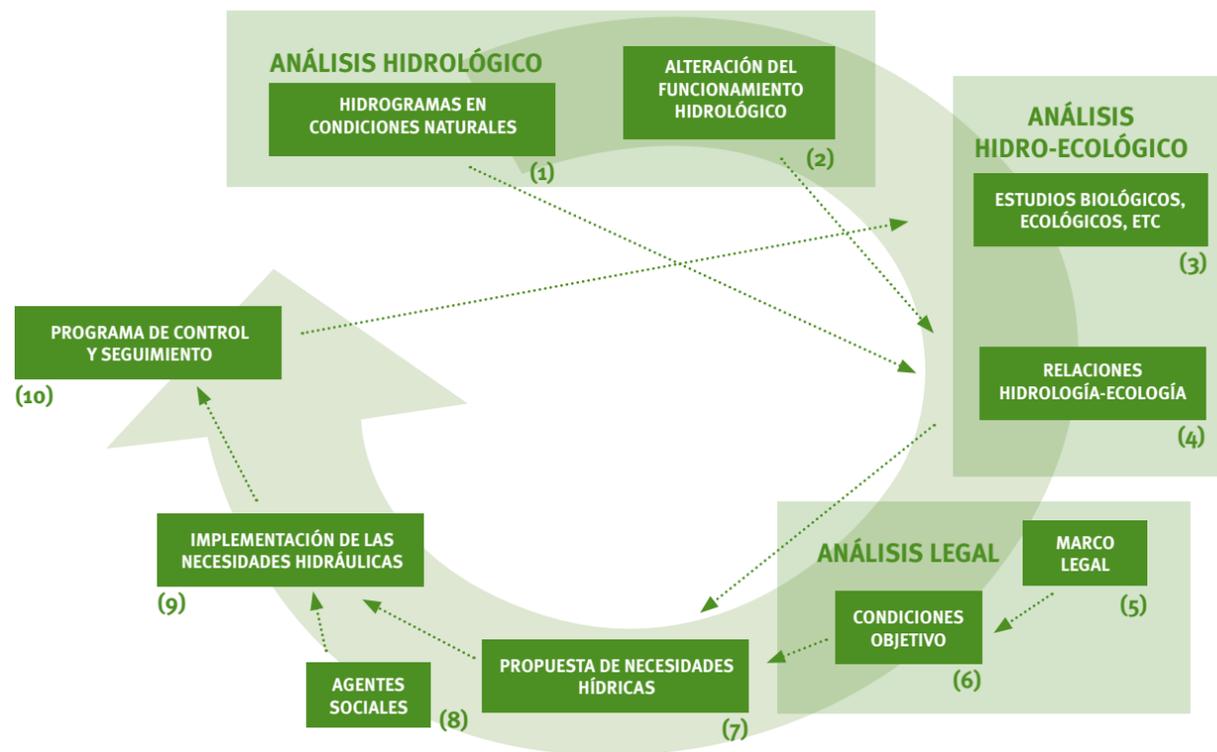


Figura 3. Proceso de formulación de la propuesta de las necesidades hídricas de la Marisma de Doñana.

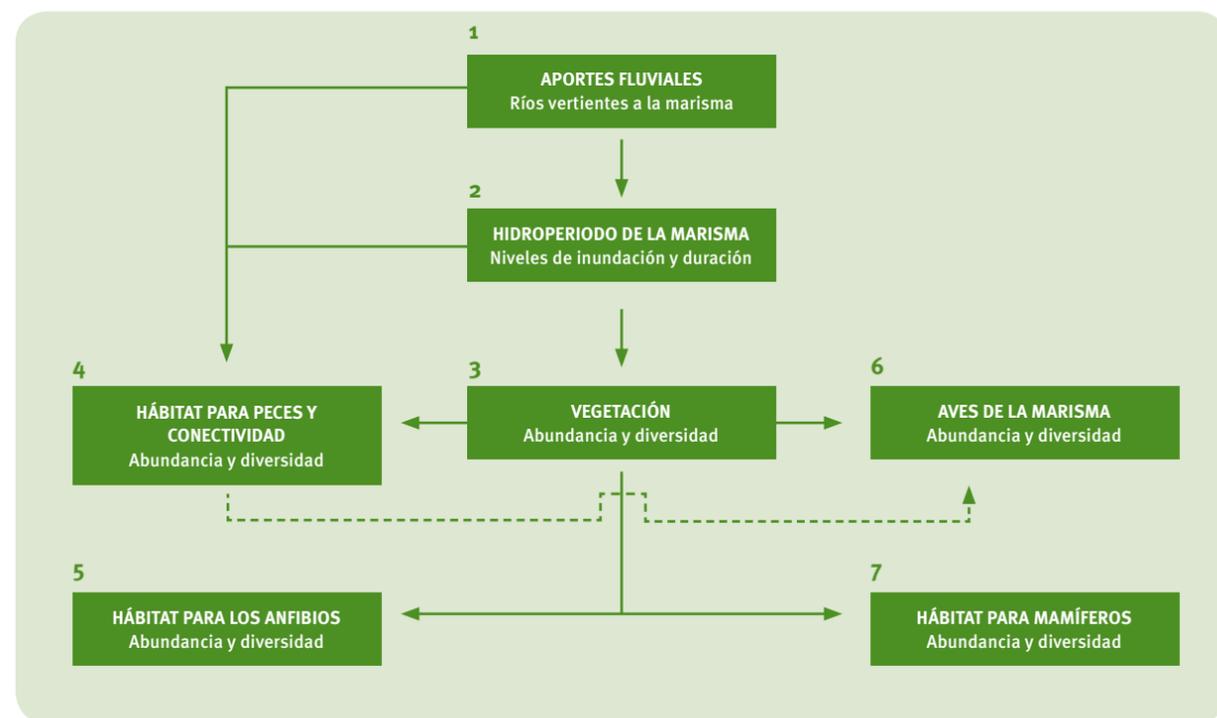


Figura 4. Marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la Marisma, los caudales ecológicos de los ríos vertientes y diversos componentes bióticos del ecosistema.

Para simplificar los múltiples factores implicados en el estudio de los caudales ecológicos en Doñana, resulta necesario identificar indicadores específicos. Los modelos conceptuales proporcionan una forma alternativa fácil y eficiente de comunicar y sintetizar procesos extremadamente complejos. La figura 4 muestra las relaciones de los caudales ecológicos, el hidropereodo de la Marisma y diferentes componentes bióticos del ecosistema.

El régimen hidráulico de la Marisma está fundamentalmente condicionado por los aportes fluviales de los ríos que vierten a la misma (1). El balance hídrico de la Marisma (considerando las entradas y salidas del sistema) y las características topográficas del terreno determinan los niveles de inundación marismeños en cada momento del año. Este régimen de inundación (número de días de inundación, niveles máximos y mínimos de encharcamiento, distribución estacional, etc.) define el hidropereodo de la Marisma (2). El régimen de inundación se traduce al mismo tiempo en determinados parámetros hidráulicos (profundidad me-

dia de encharcamiento, duración, etc.) que ejercen una gran influencia en la presencia y distribución de las especies vegetales (3). Los diferentes niveles de inundación ponen en contacto diferentes partes de la marisma, favoreciendo la conectividad para las especies de peces (4).

El desagüe natural de la marisma hacia el estuario a través de la Montaña de Río es un claro ejemplo de conectividad que permitía los movimientos migratorios de las especies acuáticas eurihalinas, que a su vez servían de alimento a las poblaciones de aves (4-6). La vegetación de la marisma ejerce un papel determinante en todas las épocas del ciclo biológico de peces (4), anfibios (5), aves (6) y mamíferos (7). Las distintas especies de aves están desagregadas según la estructura del hábitat y tipo de recursos que explotan (2-3-6). En las colonias de cría, la disponibilidad de aguas someras entre la vegetación (2-6), o la presencia de ramas y matorrales en el borde de las marismas (3-6) condicionan el éxito reproductivo de numerosas especies. Al final de la primavera, las marismas comienzan



su proceso de secado, reduciéndose drásticamente la lámina de agua en toda su extensión. Cuando el descenso de los niveles de lámina de agua es demasiado rápido y los nidos quedan en seco (2-6), se reduce el éxito reproductivo de las especies.

Una aproximación basada en el régimen hidrológico natural es adecuada para determinar las necesidades hídricas del humedal ya que constituye el factor principal de organización del ecosistema acuático. Si consideramos que los hábitats y especies están condicionados en gran parte por la dinámica hidrológica del humedal, entonces aquellas propuestas de gestión que reflejen el régimen natural darán lugar a procesos y condiciones adecuadas para su conservación.

La recuperación de una dinámica hidrológica más natural de los ríos, arroyos y la marisma es una condición imprescindible para lograr los objetivos de conservación de Doñana. En particular resulta relevante conocer la tendencia de cambios en la vegetación (reducción drástica de las especies más hidrófilas) y el declive de algunas especies de aves indicadoras de los efectos de la alteración hidrológica (avetoro común, cerceta pardilla, focha moruna, morito, etc.).

Teniendo en cuenta la importancia del régimen hidrológico de los ríos vertientes a la Marisma y los condicionantes legales particulares de este espacio, se adopta una aproximación hidrológica para la determinación de las necesidades hídricas de la marisma con los siguientes criterios:

1. Para cada uno de los ríos y arroyos que vierten en la Marisma, la propuesta de caudales ecológicos estará conformada por el conjunto de valores propios de su régimen hidrológico natural.
2. En coherencia con las propuestas formuladas para los ríos y arroyos, la propuesta de las necesidades hídricas de la marisma estará configurada por el conjunto de volúmenes que vertían a la misma en condiciones naturales.

Para formular esta propuesta de necesidades hídricas es necesario identificar los ríos y arroyos relevantes que aportan agua a la misma (fig. 5).

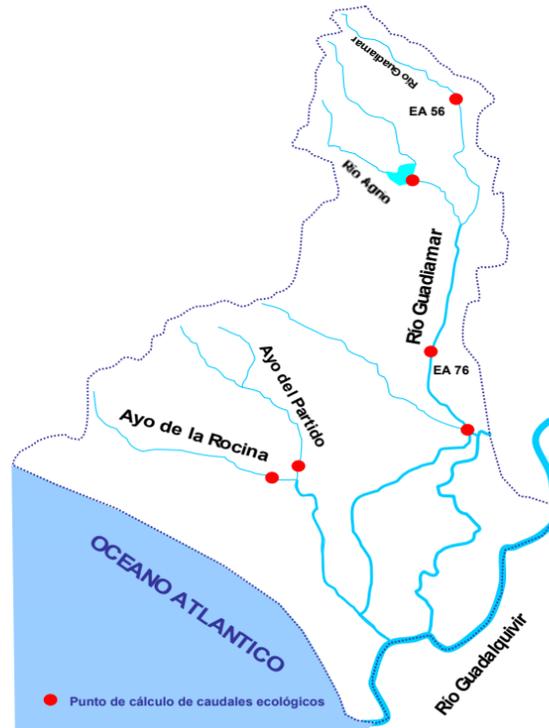


Figura 5. Ríos y arroyos que llevan agua a Doñana.

En el conjunto de las cuencas vertientes a la Marisma se considera que existen 6 tramos relevantes en cursos fluviales (4 en la cuenca del río Guadilamar). Tres de ellos representan las aportaciones características de la marisma, pudiendo asimilarse en este caso a las aportaciones acumuladas de sus tributarios.

Para la identificación de tramos relevantes de cara a la determinación de las necesidades hídricas se debe considerar la disponibilidad de información hidrológica, la representatividad de los principales elementos del sistema hidrográfico y su importancia desde el punto de vista ambiental y estratégico en el sistema de explotación de los recursos hídricos.

En la figura 6 se muestra la propuesta de necesidades hídricas de la Marisma, considerando el conjunto de aportes naturales que reciben los ríos y arroyos más relevantes. En la figura aparece el régimen hidrológico natural de la Marisma, mientras que las propuestas de necesidades hídricas para años secos y medios han sido definidos a partir de los percentiles 25 y 50.

APORTACIONES CARACTERÍSTICAS A LA MARINA

		OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
APORTES CARACTERÍSTICOS	Muy secos	1,5	1,7	3,6	4,4	5,8	6,3	5,1	4,2	3,1	2,6	2,2	1,8	42,3
	Seco	2,3	4,6	6,9	9,1	10,9	14,1	11,5	6,9	4,5	3,6	3,0	2,6	80,1
	Años medios	5,2	7,2	15,2	33,2	32,6	34,1	25,3	12,8	8,8	6,2	5,1	4,8	190,3
	Húmedo	8,5	24,1	44,3	61,1	71,5	64,2	45,3	26,6	14,5	11,1	9,0	7,1	387,2
	Muy húmedo	17,8	67,8	130,7	144,2	153,4	127,3	91,1	46,3	19,0	14,2	11,4	9,0	832,3

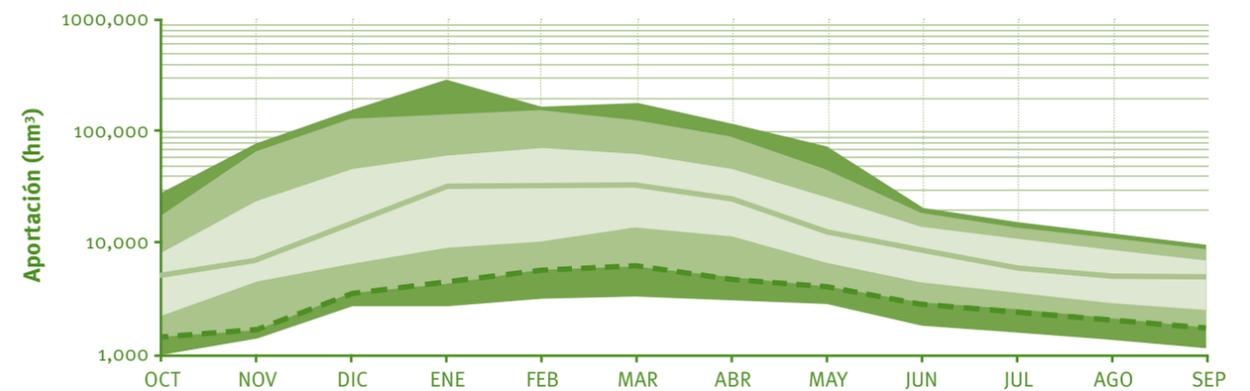


Figura 6. Aportaciones características y propuesta de necesidades hídricas para la Marisma de Doñana.



5.2. LAGUNA DE FUENTE DE PIEDRA ⁷

5.2.1. Características del humedal

La laguna de Fuente de Piedra se localiza al noroeste de la provincia de Málaga, en la zona conocida como Hoya del Navazo a 410 m de altitud. Constituye la zona más importante para la reproducción del Flamenco Común (*Phoenicopterus ruber roseus*) de la Península Ibérica. En el periodo 1983-2007, Fuente de Piedra ha acogido por término medio el 35,7% de los efectivos reproductores y el 40,4% de los pollos nacidos en el Mediterráneo occidental. En condiciones óptimas de nivel de agua se registraron en el año 1998 un total de 19.500 parejas reproductoras. La laguna constituye además un lugar de excepcional importancia para la nidificación y reproducción de otras especies de aves como la pagaza piconegra (*Gelochelidon nilotica*), que reúne en este humedal la población más numerosa y estable de toda Europa con el 25% de los reproductores europeos.

Las principales presiones que sufre la laguna son:

- Cambios morfológicos del vaso lagunar acaecidos a finales del siglo XIX (Calderón, 1888) para facilitar la extracción de sal. La explotación de las salinas se mantuvo hasta 1951 en que dejaron de ser rentables.
- Sobreexplotación del acuífero a causa de las extracciones de agua para regadíos y abastecimiento urbano. Esto supuso una disminución de los recursos útiles de los que dispone la laguna y un descenso de los niveles piezométricos en las zonas de concentración de captaciones. En la actualidad se observa una sobreexplotación de ciertos sectores de los acuíferos de la cuenca de Fuente de Piedra.
- Contaminación por vertidos líquidos no depurados procedentes de núcleos urbanos próximos afectando al funcionamiento hidrológico natural.

- Uso intensivo del espacio, especialmente con anterioridad a la protección de la laguna, que era utilizada por los habitantes del entorno para actividades de recreo y esparcimiento, en particular los años con elevado nivel de agua. En la actualidad, el acceso al interior de la laguna queda limitado a las labores de gestión e investigación.

- Pérdida de hábitat para las comunidades de aves debido a las extracciones de agua para usos agrícolas y las canalizaciones de muchos arroyos. Esto ha provocado una disminución del éxito reproductor de algunas especies y un incremento en la competencia intra e interespecífica por los lugares de nidificación.

El funcionamiento hidrológico de la laguna de Fuente de Piedra es complejo, participando las aguas subterráneas, la precipitación directa sobre la cubeta y la aportación superficial de diversos arroyos que vierten a la misma. La circulación del agua en la cuenca de la laguna se realiza a través de tres sistemas de almacenamiento y regulación de agua intercomunicados entre sí (el suelo, el acuífero y la propia laguna).

En el entorno de la laguna existen numerosos aprovechamientos de aguas subterráneas. A mediados de la década de los años '80 del pasado siglo, con ocasión de una importante sequía, proliferaron las captaciones mediante sondeos de mayor profundidad, extrayéndose recursos de los acuíferos más profundos. Los niveles registrados en el limnógrafo de la laguna permiten estimar los niveles de lámina de agua de la laguna en condiciones reales, fundamentalmente por la alteración hidrológica producida por las extracciones de aguas subterráneas.

Las extracciones producen una disminución del volumen de agua almacenado en los acuíferos, y por ello se produce una menor aportación subterránea a la laguna y no se alcanzan los niveles de llenado que le correspondería al régimen natural. Para el periodo 1974-1983 se evaluó el descenso en los niveles freáticos por el efecto de los bombeos, presentando varios conos de depresión con descensos superiores a 6 m en las proximidades de Fuente de Piedra.

5.2.2. Estudio de las necesidades hídricas

En los estudios que fundamentaban el Plan de Protección Hídrica de la Laguna de Fuente de Piedra (MMA, 1999), se realizó una zonificación de la laguna en función de su interés para la conservación.

Las unidades con alto grado de calidad ambiental son: el propio vaso lagunar de Fuente de Piedra, las zonas emergidas y zonas de orilla de la laguna, así como las zonas encharcadas y de entrada de agua dulce a la laguna.

Un aspecto del máximo interés para la conservación de Fuente de Piedra radica en su capacidad de acogida para los flamencos. Las grandes variaciones en los efectivos reproductores dependen cada año de las precipitaciones, que determinan en cada ciclo hidrológico el nivel de agua de los humedales temporales y, en último término, el establecimiento o no de la colonia de reproducción en el humedal.

El flamenco puede ser, por tanto, identificado como un indicador biológico para determinar las necesidades hídricas de la laguna.

El estudio del ciclo biológico del flamenco en Fuente de Piedra puso de manifiesto una serie de factores que inciden negativamente sobre el éxito reproductor de la colonia, entre los que destacan la desecación de la laguna, la falta de alimento en la laguna al final del periodo de cría, la predación por parte de mamíferos, la interferencia intraespecífica entre grandes grupos reproductores de flamencos, y las molestias sobre la colonia por parte de fotógrafos o vuelos rasantes de aeronaves. La mayoría de estos factores están relacionados con las condiciones hidrológicas de la laguna, por lo que las propuestas de necesidades hídricas de la laguna tienen una influencia directa sobre el éxito reproductor de la especie.

De manera conceptual más general, los factores anteriores que inciden en el éxito reproductor del flamenco se relacionan según se muestra en la figura 7:

- El régimen hidráulico de la laguna está fundamentalmente condicionado por los aportes fluviales y las descargas del sistema acuífero (1).
- Las entradas y salidas del sistema (balance hídrico), junto a las características topográficas del terreno, determinan los niveles de inundación lagunares en cada momento del año. El régimen de inundación (número de días de inundación, niveles máximos y mínimos de encharcamiento, distribución estacional, etc.) definen el hidropereodo de la laguna y sus niveles a lo largo de un ciclo (2).
- Los niveles de lámina de agua están relacionados con la aparición de elementos topográficos.

⁷ El desarrollo de este caso de estudio se basa en los trabajos realizados por la empresa INTECSA-INARSA para la Agencia Andaluza del Agua, en el contexto de la elaboración del Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.

cos del terreno que quedan aislados (4), manteniendo estas condiciones de aislamiento en función de la duración de la inundación (6). Las colonias, por lo general, ocupan restos de diques de las antiguas salinas, pero en los años más húmedos estos diques son inundados y las colonias se establecen en islotes naturales.

- Los terrenos aislados son los más propicios para el establecimiento de las colonias reproductoras de flamencos. Una mayor superficie de terrenos aislados evita que la entrada masiva de flamencos en la zona del dique ocupada por las aves reproductoras provoque una gran perturbación en la colonia de cría, reduciendo la interferencia intraespecífica (5). Cuando no existen suficientes espacios adecuados para establecer los nidos, los recién llegados caminan sobre la colonia y se sitúan entre las aves que la ocupan, molestando a los flamencos que incuban o tienen pollos de pocos días en el

nido. Estas aves llegan incluso a desplazar a las parejas reproductoras y se sitúan en sus nidos o hacen la puesta en cualquier lugar del dique, dejando los huevos abandonados a los pocos días. Esta es la causa del alto índice de puesta que diversos autores han dado para la colonia de Fuente de Piedra y del éxito reproductor de esta colonia.

-Unos niveles altos de primavera mantienen en condiciones de aislamiento a estas islas frente al exterior. De esta forma se reduce la depredación (7) por zorros (*Vulpes vulpes*), tejón (*Meles meles*), perro (*Canis familiaris*).

-Cuando la superficie inundada es elevada, la producción de biomasa del conjunto lagunar es mayor (8). Esto permite a la larga una mayor disponibilidad de los recursos tróficos para el flamenco (9), lo que evita a los progenitores permanecer fuera por más tiempo.

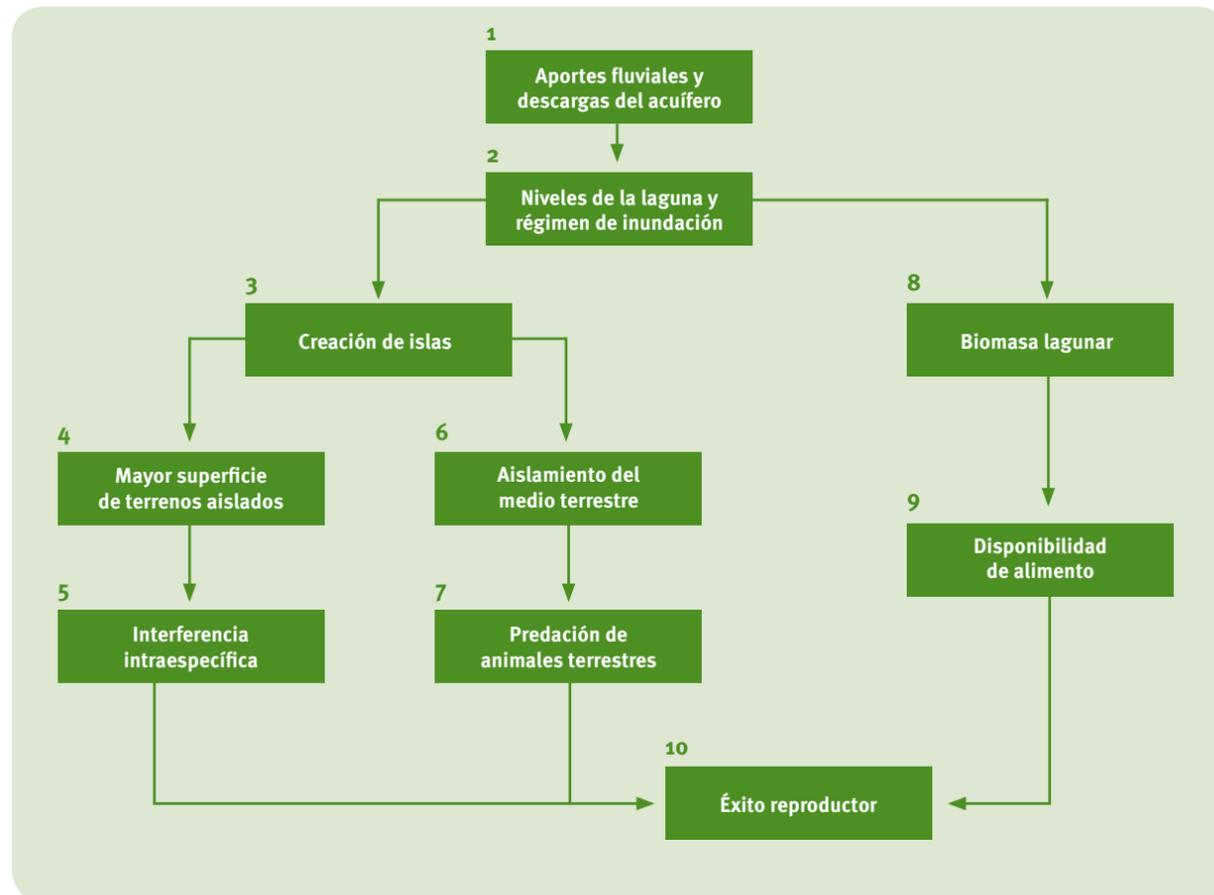


Figura 7. Factores que influyen en el éxito reproductor del flamenco en la laguna de Fuente de Piedra.

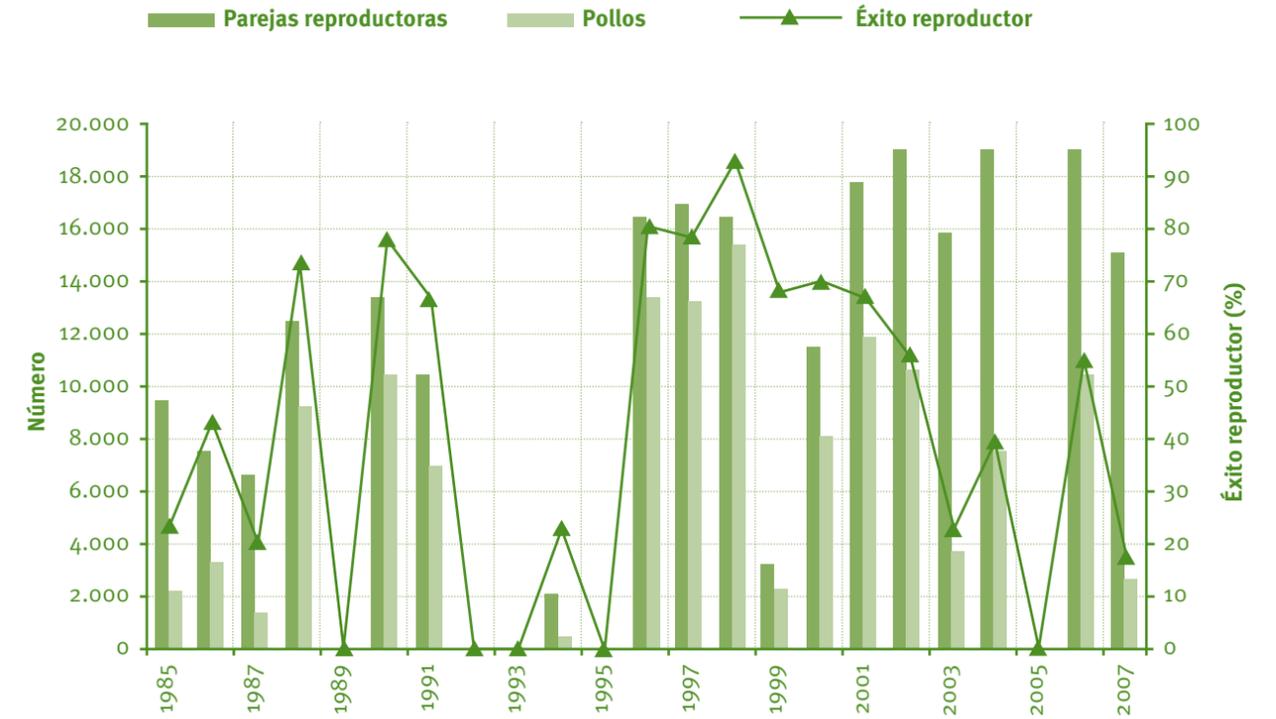


Figura 8. Éxito reproductor de los flamencos en la laguna de Fuente de Piedra. Datos: Junta de Andalucía. Fuente: INTECSA-INARSA.

En la laguna de Fuente de Piedra, la estimación de los parámetros de la reproducción se ha desarrollado dentro del Programa de Anillamiento de flamencos de la Consejería de Medio Ambiente, de la Junta de Andalucía (fig. 8). Este programa de seguimiento aporta información clave para relacionar de forma empírica el éxito reproductor con los niveles de lámina de agua de la laguna.

Para relacionar el éxito reproductor de las especies con los niveles de lámina de agua se han utilizado diferentes indicadores hidrológicos. El indicador que presentaba un mejor ajuste era el promedio de los niveles de la laguna de los meses de marzo, abril y mayo en relación al éxito reproductor (fig. 9).

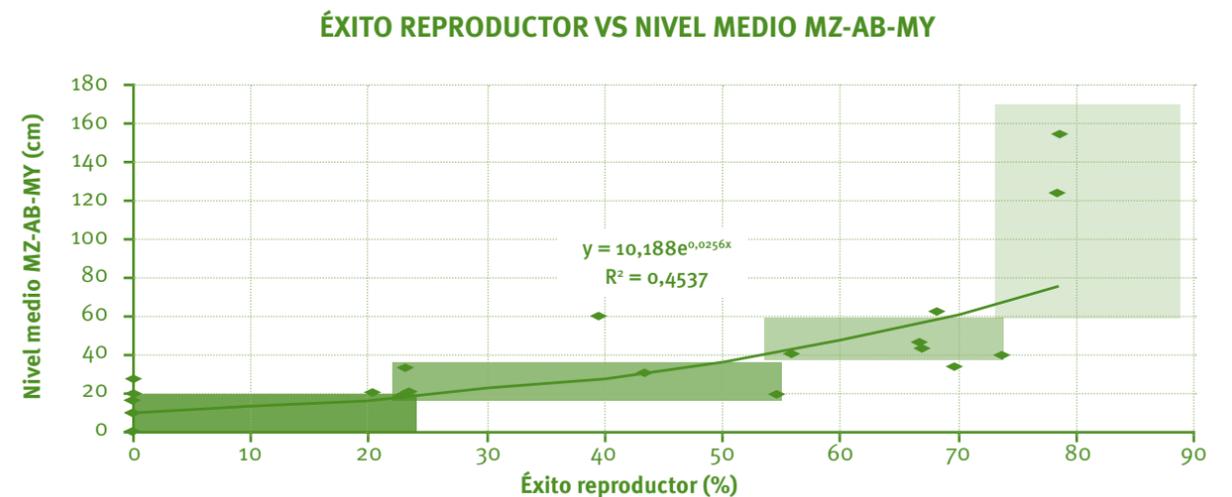


Figura 9. Correlación del éxito reproductor de los flamencos con los niveles de agua de la laguna de Fuente de Piedra en marzo, abril y mayo. Fuente: INTECSA-INARSA.

Del gráfico de la figura 9 se deducen algunas consideraciones del éxito reproductor del flamenco.

- Cuando la profundidad media de la lámina de agua durante los tres meses (marzo-abril-mayo) es inferior a 20 cm, el éxito reproductor es “nulo”.
- Si el nivel medio de la lámina en estos tres meses se sitúa entre 20 y 40 cm, el éxito reproductor es “bajo”.
- Cuando la lámina se encuentra entre 40 y 60 cm, el éxito reproductor es “medio”, mientras que si esta profundidad media es superior a 60 cm, el éxito reproductor es “alto”.

Las aguas subterráneas representan por término medio un 47,8% de las entradas de agua a la laguna, frente a un 11,5% de los aportes superficiales. La precipitación directa sobre la lámina de agua supone un 39,8% de las entradas. Los aportes subterráneos se convierten en la variable clave de gestión de la laguna, siendo además la presión antrópica más significativa que recibe la laguna actualmente en términos de extracción de agua.

Para simular los efectos de la reducción de aportes subterráneos sobre la laguna, se ha realizado el balance de la misma con el modelo SIMPA y diferentes escenarios hidrológicos considerando una reducción progresiva del 10% de los aportes subterráneos, partiendo de la situación natural (100% de los mismos) hasta un escenario extremo en el que no hay aportes de agua subterránea. Los escenarios simulados y su reflejo en la serie de balances se muestran en la figura 10.

Así, se puede apreciar la reducción gradual de aportes en el balance hídrico de la laguna, disminuyendo drásticamente los volúmenes máximos (pasando de 88 hm³ en condiciones naturales a 18 hm³ sin aportes subterráneos) e incrementándose el número de meses en los que la laguna permanece seca, pasando de un 2,5% en condiciones naturales a un 17% en el escenario sin aguas subterráneas.

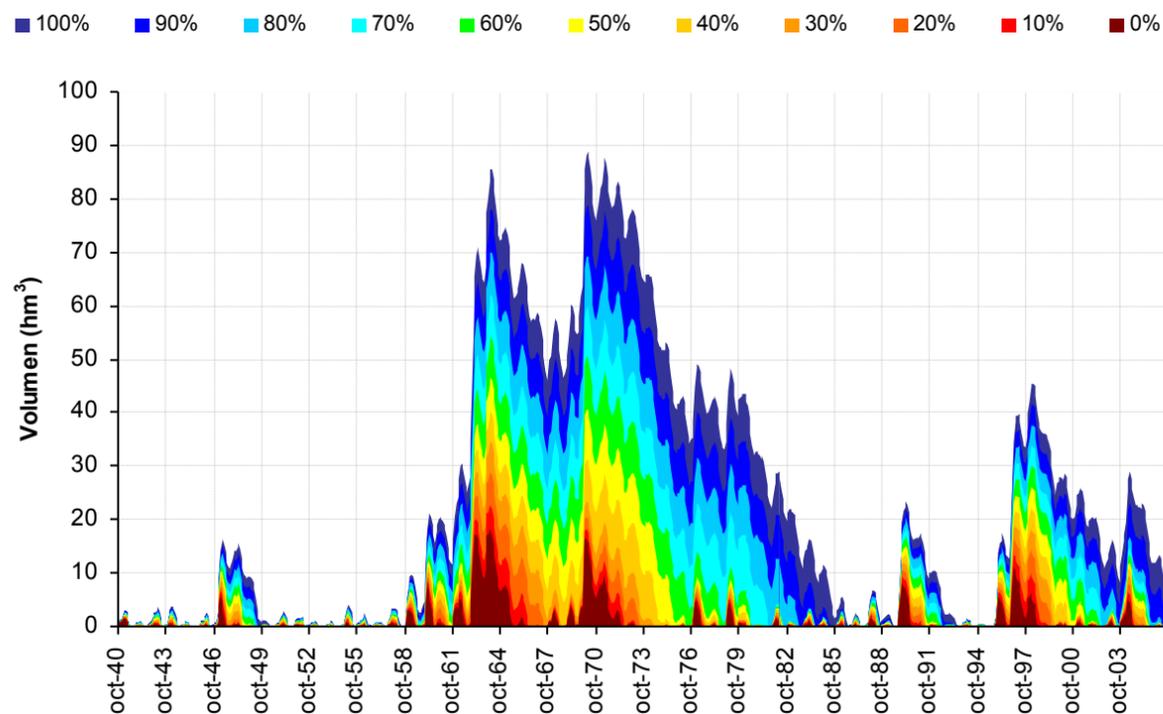


Figura 10. Escenarios simulados de reducción de aportes subterráneos a la laguna de Fuente de Piedra. Fuente: INTECSA-INARSA.



Reserva Natural Laguna Fuente de Piedra. M. Rodríguez

A partir de los escenarios hidrológicos anteriormente descritos, se han evaluado los efectos de la reducción de los aportes subterráneos sobre el éxito reproductor potencial del flamenco en la laguna. Esta cuantificación ha sido posible gracias al modelo conceptual desarrollado, ya que permite cuantificar el éxito en la reproducción a partir de los niveles de inundación en los meses de marzo, abril y mayo. Los resultados de años con cría del flamenco (expresados en porcentaje) se muestran en la figura 11.

Con estos resultados se puede afirmar que:

- En condiciones naturales, el flamenco criaría en la laguna de Fuente de Piedra en un 70% de los años.
- La reducción de los aportes subterráneos conlleva a un descenso en el número de años en

los que se produce cría en la laguna. La relación en este caso es directamente proporcional.

- El ajuste del modelo a las condiciones reales (niveles de lámina de agua observados en la laguna) indica que la reducción de los aportes subterráneos es aproximadamente de un 70%. Esto quiere decir que se ha reducido prácticamente a la mitad el número de años en los que el flamenco cría en la laguna.
- Si las extracciones de agua del acuífero provocaran que no se produjeran descargas a la laguna, el porcentaje de años con cría bajaría hasta el 20%.

En un contexto de toma de decisión, estas relaciones hidrobiológicas permiten decidir por ejemplo el nivel máximo de extracciones del acuífero.

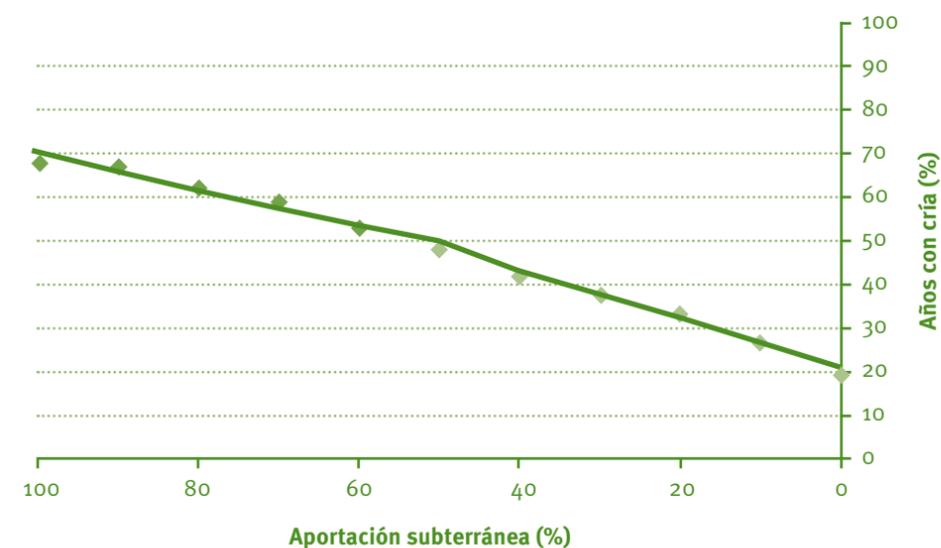


Figura 11. Correlación entre los años con cría de flamencos y la aportación de aguas subterráneas. Fuente: INTECSA-INARSA.



Parque Natural de l'Albufera de Valencia. Confederación Hidrográfica del Júcar

5.3. ALBUFERA DE VALENCIA

5.3.1. Características del humedal

El Parque Natural de l'Albufera de Valencia se encuentra en la Comunidad Valenciana, en la parte central de la plana de Valencia. Con una superficie actual aproximada de 21.000 ha, este importante humedal se extiende junto a la línea de costa comprendida entre el nuevo cauce del río Turia al Norte, y la Serra de Les Rabosses en Cullera, al Sur. Este humedal comprende tres tipos de ambientes principales:

- La restinga litoral es una barra arenosa de 30 km de longitud y aproximadamente 1 km de anchura, formada en el Holoceno a partir de los aportes sedimentarios de los ríos Túria y Xúquer. En ella, se han desarrollado ambientes dunares sobre los que se instala una máquia mediterránea.
- La laguna de L'Albufera de aproximadamente 3.000 ha de superficie (2.800 ha de aguas abiertas), ocupa una posición central y presenta grandes áreas de vegetación palustre conocidas localmente como "matas" o "mates", que ocupan gran parte de sus orillas y forman algunas islas (unas 290 ha). Está comunicada con el mar a través de tres canales de desagüe

o golas, que presentan compuertas instaladas con fines de regulación hídrica.

- El arrozal es el ambiente de mayor superficie (14.000 ha) y se extiende sobre lo que antiguamente era un extenso marjal, estando atravesado por numerosos canales y acequias. Dispersos fundamentalmente por su sector oeste se localizan pequeños manantiales o surgencias, que en la zona se conocen como "ullals".

Según la ficha informativa del humedal Ramsar, los principales factores que contribuyen a la degradación de L'Albufera son:

- La contaminación del agua ya que llegan residuos domésticos, industriales y agrícolas (plaguicidas y abonos que se emplean en los arrozales y en la huerta cercana).
- Procesos de colmatación debidos a los sedimentos aportados por los barrancos y acequias.
- Alteraciones y ocupaciones físicas del territorio por urbanizaciones y edificios desde las ciudades cercanas.
- El furtivismo que afecta directamente a la vida animal.
- Reducción de aportaciones de agua de buena

calidad. En los últimos años se ha observado la reducción de los aportes hídricos al humedal. Dicha circunstancia representa un problema potencial, puesto que puede conllevar una pérdida de la calidad general de las aguas, retraso en la inundación invernal del arrozal (vital para la presencia de aves acuáticas en esa época del año), o consecuencias directas en la agricultura y la pesca.

Según el documento "Estudio histórico de L'Albufera" (MMA, 2004a), en su origen las entradas superficiales de agua a la laguna eran muy escasas. Antes de la expansión del riego, los ríos Júcar y Turia, actores principales en la génesis del sistema, no contribuían de manera permanente a su balance hídrico, únicamente vertían al estanque en las situaciones de avenida. La laguna solo se abastecía de los aportes superficiales de algunos ullals próximos y de algunas ramblas y barrancos como el barranco Fondo o el de Beniparrell (portadores de caudales escasos e intermitentes) y, sobre todo, de los caudales de la rambla del Poyo y los de la de Catarroja.

El desarrollo del regadío incrementó extraordinariamente la entrada de aguas superficiales. La ex-

pansión del regadío de L'Horta, de la Acequia Real del Júcar y de las Acequias Mayores de Sueca y Cullera derivó hacia la laguna una enorme cantidad de agua fluvial que anteriormente iba destinada al mar, tendencia que ha ido en crecimiento a lo largo de los últimos siglos.

Actualmente, la escorrentía superficial vierte sus aguas a través de la rambla del Poyo, y diversas acequias que desembocan en la laguna. La escorrentía subterránea se produce mediante los "ullals", que se localizan tanto en el fondo de la propia laguna de L'Albufera como en los canales que desembocan en la misma, aunque en los últimos años estas surgencias se han hecho menos visibles o han desaparecido a causa de la merma de sus caudales y por su aterramiento, natural o provocado. Además, a este balance hay que añadir la entrada de agua producida por retornos de riego y aguas residuales, prácticamente ya depuradas en su totalidad.

Por otra parte, la laguna se drena a través de las golas o canales de Pujol, Perellonet y Perelló. La gola del Perelló, y posiblemente la del Perellonet, tienen origen natural, mientras que la de Pujol fue



Arrozales del Parque Natural de l'Albufera de Valencia. P. Alabau-Mojas/sterio

construida en 1953. En la actualidad las tres golas disponen de compuertas que permiten controlar artificialmente el nivel de agua y también evitar la entrada de agua marina. Existen además otras dos golas para el ámbito del Parque Natural de L'Albufera: gola del Mareny o Rei y gola de Sant Llorenç, que drenan la zona sur del parque.

5.3.2. El estudio de las necesidades hídricas

L'Albufera de Valencia en el contexto de la planificación hidrológica ha sido clasificada como una masa de agua muy modificada, dado que tanto sus niveles, como sus superficies inundadas dependen de la acción antrópica de las golas de conexión con el mar y de las labores agrícolas. Un posible escenario de objetivos de gestión se enmarca en las actividades del "Estudio para el desarrollo sostenible de L'Albufera de Valencia" que la empresa Técnica y Proyectos, S.A. (TYPSA) redactó para la DGOHCA del Ministerio de Medio Ambiente bajo la dirección de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

El debate de expertos celebrado en 2003 en torno a los objetivos ambientales del humedal concluyó que las características de los elementos de calidad biológica y físico-química de las aguas deberían ser:

- Agua clara y sedimento superficial oxigenado
- Fitoplancton típico de las lagunas costeras con diatomeas y otras algas, pero sin crecimientos explosivos de cianobacterias. Concentraciones de clorofila correspondientes a ecosistemas acuáticos meso-eutróficos (siempre valores inferiores a 50 µg/l de Clorofila-a).
- Zooplancton filtrador integrado por especies de tamaño grande, dominado estacionalmente por cladóceros.
- Regeneración de la vegetación palustre y sumergida con su fauna invertebrada asociada:
 - Recuperación de las poblaciones de los diversos invertebrados, por ejemplo las poblaciones de gambetes (*Atyaephyra desmaresti*, *Dugastella valentina* y *Palaemonetes zariqueyi*).



Laguna del Parque Natural de L'Albufera de Valencia. J. Ramos

- Bentos propio de las lagunas costeras con amplio desarrollo de la vegetación sumergida. Especies propias de lagunas similares como las de los géneros *Myriophyllum*, *Ceratophyllum*, *Potamogetum* y charáceas.

Otras características hidromorfológicas y biológicas deseables para L'Albufera son:

- Flujo y renovación del agua adecuados para conseguir la salud ecológica del ecosistema. Esto supone la garantía de aportes hídricos suficientes y de buena calidad, no sólo para controlar la eutrofización, sino también la salinización. Entrada de caudales superficiales importantes por el norte y oeste para equilibrar la dominancia de los flujos entrantes por el sur.
- Tasas de sedimentación en la laguna sostenibles como consecuencia del control y reducción de los procesos de contaminación, erosión, transporte y sedimentación.
- Riqueza de la fauna vertebrada de peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos.
- Recuperación de especies características de L'Albufera, ya que algunas de ellas son endémicas y están incluidas en el catálogo de especies protegidas (algunas especies de crustáceos, moluscos y peces ciprinodóntidos).
- Mejora del recurso pesquero de L'Albufera, con poblaciones de lobarros o lubinas (*Dicentrarchus labrax*) y anguilas (*Anguilla anguilla*), en proporciones razonables y equilibradas junto con las de llises o mújoles (*Mugil cephalus*).
- Buen estado de las formaciones riparias en los cauces de la cuenca de drenaje y del entorno con el desarrollo de vegetación natural de ribera en los cauces y márgenes inundables de los barrancos, minimizando las obras de canalización.
- Mantenimiento del cultivo del arroz mediante prácticas sostenibles y de la polivalencia de las estructuras de riego (inundación-drenaje) como herramienta para contrarrestar el efecto de organismos acuáticos invasores, que pueden ser mejor controlados en los momentos de desecación del marjal.

Las simulaciones sobre el funcionamiento hidrodinámico del humedal y los procesos de calidad relacionados con los ciclos de nutrientes y la eutrofización permitieron corroborar dos situaciones (MMA, 2004b):

- La simulación de un escenario construido a partir de un techo ideal en el control de la contaminación y con un volumen de aportaciones notablemente inferior a la media de los últimos años, proporciona una buena respuesta del sistema en relación con su estado trófico. Estas condiciones permitirían alcanzar algunas de las condiciones fundamentales definidas en el escenario de desarrollo sostenible de L'Albufera.
- La adición de caudales de calidad sin actuar en la corrección de las deficiencias de los sistemas de saneamiento y depuración del entorno de L'Albufera es una medida ineficaz. En esta situación no se alcanzarían las condiciones de calidad previamente definidas.

La figura 12 representa un modelo ecológico simplificado de L'Albufera de Valencia y sus diferentes componentes bióticos, fundamentado a partir de los trabajos de Villena (2007). A partir de este modelo se trata de identificar los indicadores ecológicos más relevantes que ayuden a determinar los volúmenes de agua necesarios para L'Albufera.

La masiva dominancia y permanencia de las cianofíceas en L'Albufera, se ha relacionado principalmente con la eutrofización, las condiciones oligofóticas existentes, los procesos de estabilización y retroalimentación de sus poblaciones por su resuspensión dentro de la columna de agua, debida a la polimixis de la laguna y a su reclutamiento desde el sedimento, así como con la escasa depredación por parte del microzooplancton dominante en la laguna. La presencia de cianobacterias filamentosas dominando la comunidad fitoplanctónica, dificulta la aparición de las fases claras debido a la reducida tasa de filtración del zooplancton sobre estas algas. Además, el estado de turbidez es estabilizado por una alta biomasa de peces bentívoros y zooplanctívoros.

La reducción en la entrada de nutrientes propició el declive de las poblaciones de *Planktothrix agardhii* y la aparición de dos fases claras con una duración máxima de hasta 5 semanas (entre los meses de Febrero y Marzo de 1999 y 2000), durante las cuales se alcanzó una transparencia del agua que llegaba al fondo. Durante las fases claras, la comunidad fitoplanctónica estuvo dominada principalmente por diatomeas centrales y clorofíceas.

Los macrófitos sumergidos desempeñan un papel estructurador y estabilizador en la ecología de los

lagos someros. La relación de las plantas con la transparencia del agua es especialmente reconocida en el grupo de las carófitas, su desaparición en lagos someros como consecuencia de la eutrofización provoca el aumento drástico de la turbidez. Las condiciones de hábitat adecuadas y la disponibilidad de recursos incrementarán la riqueza de la fauna vertebrada de peces, anfibios y reptiles y aves. De esta forma se contribuiría a la recuperación de especies características de L'Albufera.

Teniendo en cuenta la importancia que tienen los nutrientes en la dinámica ecológica de L'Albufera, se considera que una aproximación basada en las características físico-químicas del agua (particularmente las concentraciones de fosfatos) es adecuada para determinar los volúmenes de agua necesarios para el humedal y su calidad correspondiente.

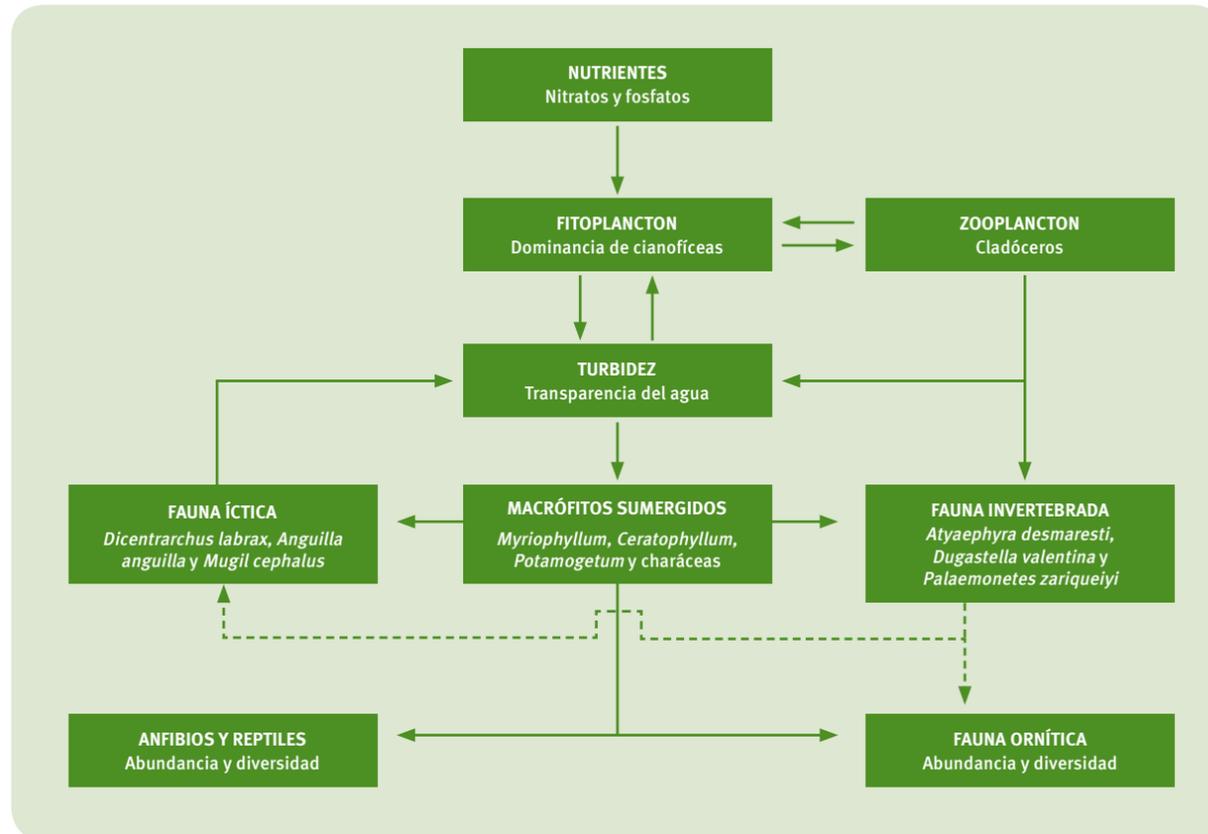


Figura 12. Modelo ecológico de L'Albufera de Valencia, resaltando la importancia de los nutrientes en la dinámica del ecosistema.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arthington, A.H., Bunn, S.E., Poff, N.L. y Naiman, R.J. 2006. The challenge of providing environmental environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications*, 16: 1311-1318.

Calderón, S. 1888. La Salina de Fuente de Piedra. *Actas de la Sociedad Española de Historia Natural*, de Sevilla, Tomo XVII.

Carreño, M.F., Martínez, J., Vidal-Abarca, M.R. y Suárez, M.L. 2008. Indicadores bibliográficos para la valoración de las metodologías de determinación de los caudales ambientales. *Actas del VI Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua*. Fundación Nueva Cultura del Agua. Vitoria.

Casas, J. y Urdiales, C. 1995. Introducción a la Gestión Hidráulica de las Marismas del Parque Nacional de Doñana. En Montes (ed.): *Bases ecológicas para la restauración de humedales en la cuenca Mediterránea*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla.

Confederación Hidrográfica del Júcar. 2005. *Zonas húmedas en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar*. Ministerio de Medio Ambiente de España.

ETC/BD. 2009. *Habitats Directive Article 17 Reporting (2001–2006). Some specific analysis on conservation status*. European Topic Centre on Biological Diversity, Paris.

García Novo, F. y Marín, C. 2005. *Doñana: Agua y Biosfera*. Ministerio de Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Madrid.

Green, A. y Figuerola, J. 2003. Aves acuáticas como bioindicadores en los humedales. En: Paracuellos (ed.): *Ecología, manejo y conservación de los humedales*. Instituto de Estudios Almerienses, Colección Actas, 49: 47-60. Almería.

Keddy, P. 2002. *Wetland Ecology. Principles and conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Ministerio de Medio Ambiente. 1999. *1ª Reunión Internacional de Expertos sobre la Regeneración Hídrica de Doñana. Ponencias y conclusiones*. Huelva.

Ministerio de Medio Ambiente. 2000. *Plan Estratégico Español para la Conservación y el Uso Racional de los Humedales*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza.

Ministerio de Medio Ambiente. 2001. *Documento Marco para el Desarrollo del Proyecto Doñana 2005. Regeneración hídrica de las cuencas y cauces vertientes a las marismas del Parque Nacional de Doñana*. Informe técnico. Madrid.

Ministerio de Medio Ambiente. 2004a. Estudio histórico de l'Albufera. En: *Estudio para el desarrollo sostenible de L'Albufera*. Valencia: Clave 7241-IN-OA-RI1/04/1-001. Documento redactado con la asistencia técnica de Tysa.

Ministerio de Medio Ambiente. 2004b. *Bases para la rehabilitación de L'Albufera*. En: *Estudio para el desarrollo sostenible de L'Albufera*. Valencia: Clave 7241-IN-OA-PC5/01/2-002-edo1. Documento redactado con la asistencia técnica de Tysa.

Poff, N.L., Richter, B., Arthington, A.H., Bunn, S.E., Naiman, R.J., Kendy, E., Acreman, M., Apse, C., Bledsoe, B.P., Freeman, M., Henriksen, J., Jacobson, R.B., Kennen, J., Merritt, D.M., O'Keefe, J., Olden, J.D., Rogers, K.,

Tharme, R.E. y Warner, A. 2010. The Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards". *Freshwater Biology*, 55 (1):147–170.

Villena, M. J. 2007. *Ecología de los lagos someros en la zona mediterránea. Importancia de los productores primarios*. Tesis doctoral inédita.

VV.AA. 2009. *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

Wasserberg, G., Kotler, B.P., Morris, D.W. y Abramskyd, Z. 2006. A Spectre of Coexistence: Is Centrifugal Community Organization Haunted by the Ghost of Competition? *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 52:123–140.

Wisheu, I.C. y Keddy, P.A. 1992. Competition and centrifugal organization of plant-communities: theory and tests. *Journal of Vegetation Science*, 3: 147–156.

7. ANEXO

PROTOCOLO PARA LA MEDICIÓN DEL NIVEL DEL AGUA EN HUMEDALES

1. APLICABILIDAD

Este protocolo se refiere a la obtención de los niveles de la lámina de agua de las masas de agua de la categoría "lagos" (lagos, lagunas y humedales).

Se trata de un protocolo para que las Confederaciones Hidrográficas lo implementen en la explotación de las redes oficiales de evaluación y seguimiento del estado / potencial ecológico que establece la Directiva 2000/60/CE (Directiva Marco del Agua).

También se aplicará este protocolo en el inventario de recursos hídricos naturales de las demarcaciones cuando los niveles de la lámina del agua se utilicen para determinar las necesidades hídricas de los lagos, lagunas y humedales o bien analizar la coherencia en estas masas de otras variables hidrológicas (precipitación, evapotranspiración potencial, evapotranspiración real, recarga a los acuíferos, escorrentía superficial, escorrentía subterránea y escorrentía o aportación total).

De forma general, los niveles de la lámina del agua obtenidos podrán ser utilizados para:

- Aplicación de los indicadores del estado hidromorfológico de "fluctuación de nivel" y "variación media de la profundidad".
- Identificación de masas de agua de referencia mediante la evaluación de presiones hidromor-

fológicas y su posible desviación respecto al rango de variación natural de los dos indicadores anteriores.

- Seguimiento de las masas de agua de la categoría lagos en la medida en la que estos indicadores hidromorfológicos influyan en el estado ecológico de tales masas de agua. En particular se utilizarán para determinar el grado de cumplimiento de las necesidades hídricas de las masas de agua de la categoría lagos.

- Designación como masas de agua muy modificadas cuando existan fluctuaciones artificiales de nivel que impidan alcanzar el buen estado ecológico.

- Diseño del programa de medidas mediante la identificación de posibles causas de incumplimiento de objetivos ambientales por presiones hidromorfológicas.

- Determinación de las necesidades hídricas de lagos, lagunas y humedales cuando las series de niveles reúnan las características apropiadas que establece la Orden ARM/2656/2008 por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica.

- Utilización en el inventario de recursos hídricos naturales como serie de síntesis y contraste para el resto de variables hidrológicas.

2. OBJETIVO

La Directiva 2000/60/CE establece que los Estados miembros deberán controlar y evaluar el volumen y el nivel de flujo de las masas de agua superficiales en la medida en que sea pertinente para el estado ecológico y químico, y el potencial ecológico.

La Directiva Marco del Agua establece que los métodos empleados para controlar los indicadores de evaluación de los elementos de calidad serán

conformes a las normas internacionales o nacionales que garanticen el suministro de información de calidad y comparabilidad científica equivalentes.

Por lo tanto, el objetivo de este protocolo es establecer las condiciones de medición de lámina de agua de las masas de agua tipo lago y laguna que garantice el cumplimiento de los requisitos mencionados anteriormente.

3. NORMATIVA DE REFERENCIA

La normativa de referencia de este protocolo es la que se enumera a continuación:

- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- RD Legislativo 1/2001 por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas.
- RD 907/2007 por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica.
- Orden ARM/2656/2008 por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica.

La presente Instrucción se ha redactado teniendo en cuenta las siguientes normas:

- UNE-EN ISO 4373:2009 – Hidrometría. Dispositivos de medida del nivel del agua. (ISO 4373:2008).
- UNE-EN 13757-1:2003 - Lectura remota de contadores y sus sistemas de comunicación. Parte 1: Intercambio de datos.

4. DISPOSITIVOS Y EQUIPOS

La adquisición de datos de nivel del agua en los lagos y lagunas se realizará a partir de unos dispositivos de medición y, en su caso, la toma de datos de campo.

4.1. Dispositivos de medición del nivel del agua

4.1.1. Especificaciones de los instrumentos

Los dispositivos de medición del nivel del agua en los humedales deberán poder clasificarse al menos para una “clase de actuación 3” según se define en la norma UNE-EN ISO 4373:2009, es decir, deberán presentar un error nominal inferior al 1% del rango de mediciones. La incertidumbre de los dispositivos de cronometraje debe estar dentro de ± 150 segundos al final de un periodo de 30 días en el caso de cronometraje numérico, o de ± 15 minutos al final de un periodo de 30 días en el caso de un cronometraje analógico.

- UNE-EN 13757-2:2005 - Lectura remota de contadores y sus sistemas de comunicación. Parte 2: Capas física y de enlace.
- UNE-EN 13757-3:2005 - Lectura remota de contadores y sus sistemas de comunicación. Parte 3: Capa de aplicación específica.
- UNE-EN 13757-4:2006 - Lectura remota de contadores y sus sistemas de comunicación. Parte 4: Lectura inalámbrica de contadores (lectura vía radio para operación en la banda SRD de 868 MHz a 870 MHz).
- UNE-EN 13757-5:2010 - Lectura remota de contadores y sus sistemas de comunicación. Parte 5: Retransmisión inalámbrica.
- UNE-EN 13757-6:2009 - Lectura remota de contadores y sus sistemas de comunicación. Parte 6: Bus local.
- ISO 772 – Hidrometría. Vocabulario y símbolos.
- IEC 60529 – Grados de protección proporcionados por las envolventes (Código IP).

4.1.2. Tipos de dispositivos de medición del nivel del agua

En la masa de agua se dispondrán uno o más dispositivos de medición del nivel del agua atendiendo a las características propias de la misma (tamaño, tipo y número de cubetas, morfometría, etc.) y los posibles dispositivos actualmente existentes.

Entre los dispositivos de medición del nivel del agua se podrán utilizar:

- a) Escalas limnimétricas verticales o inclinadas.** Una escala limnimétrica está constituida por una escala graduada directamente o sólidamente fijada sobre una superficie vertical apropiada (fig. a1). Cuando el rango de los niveles de agua excedan la capacidad de una sola escala limnimétrica, podrán instalarse otras escalas complementarias en el eje de una sección perpendicular a la dirección ascendente/descendente del agua, debiendo superponerse en no menos de 15 cm.

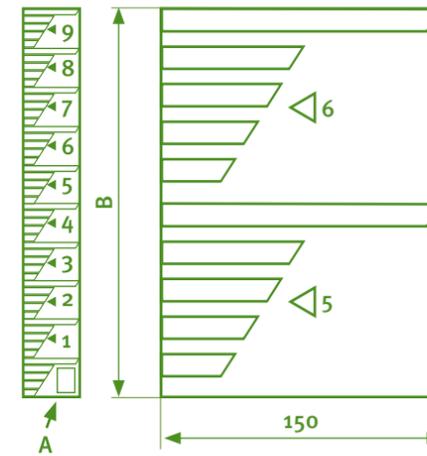


Figura a1. Detalle de la escala graduada de una escala limnimétrica. Detalle de la placa desmontable para las cifras de la graduación de color rojo (A) y divisiones de 10 mm (B).

La escala limnimétrica inclinada se ajustará a la pendiente de la ribera, pudiendo seguir una sola pendiente continua sobre toda su longitud o estar compuesta de varias pendientes, situándose en todo caso en el eje de una sección perpendicular a la dirección ascendente/descendente del agua (fig. a2).



Figura a2. Dos escalas inclinadas sobre la zona litoral de la cubeta.

Una escala limnimétrica vertical o inclinada es un método económico, sencillo, robusto y absoluto de determinar el nivel del agua. Como contrapartida, es difícil obtener lecturas sobre el terreno con una resolución verdadera superior a ± 5 mm.

- b) Limnómetro de alambre o cinta y peso.** Consiste en un peso que se baja manualmente hasta que el peso toca la superficie del agua. El alambre o cinta pueden enrollarse sobre un tambor conectado a un mecanismo de enrollamiento, o puede ser un carrete montado sobre

una barra. El equipo puede ser difícil de utilizar en condiciones de reducida luminosidad o donde la visibilidad directa es difícil.

- c) Limnómetro mecánico de flotador y contrapeso.** Un limnómetro de flotador está integrado por un flotador (que generalmente funciona en un pozo de medición), una cinta o alambre graduado, un contrapeso o resorte, una polea y un indicador. La cinta o el alambre pasan sobre la polea que es concebida para evitar cualquier deslizamiento. La cinta o alambre se mantiene tenso por la acción del contrapeso o resorte. De esta manera, el flotador que posiciona la cinta con respecto al indicador, detecta las variaciones de nivel. Normalmente, un limnómetro de flotador se utiliza con un registrador de trazo continuo para conservar un registro continuo, o un codificador rotatorio conectado a un registrador cronológico de datos.

Si se utiliza solo, un limnómetro de flotador permite obtener una medida directa del nivel de agua, proporcionando una buena resolución a niveles bajos. Como inconveniente se puede mencionar que se trata de un dispositivo mecánico (sujeto a errores de cambios de temperatura, histéresis y rozamiento) y generalmente requiere de un pozo de medición que puede ser caro en construcción y mantenimiento.

- d) Transductores de presión eléctricos.** Un transductor de presión eléctrico convierte las presiones del fluido en señales eléctricas. Un típico sensor comprende un dispositivo mecánico de suma de fuerzas que responde a las variaciones de presión mediante un desplazamiento, un componente eléctrico que produce señales proporcionales al desplazamiento mecánico, un tubo de venteo a la atmósfera para eliminar variaciones atmosféricas de presión o dos dispositivos de presión absoluta, con una midiendo la presión atmosférica. Un transductor eléctrico no requiere un pozo de medición para suavizar las fluctuaciones del nivel del agua y es idealmente adaptable para conectar con sistemas electrónicos de registro y transmisión de datos. Los niveles de incertidumbre son generalmente del orden de $\pm 0,1$ a $0,5\%$ de plena escala. El transductor es afectado por variaciones tanto en su medio ambiente como con la densidad de la columna de agua.

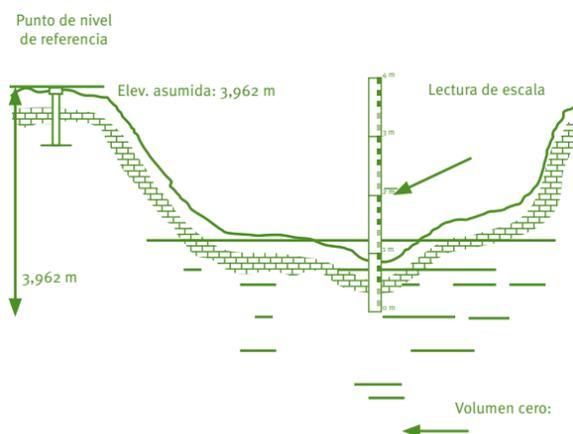
4.1.3. Nivel de referencia en las mediciones del nivel del agua

La medición del nivel del agua en un humedal no es una medición absoluta, sino que debe hacerse siempre en relación a una señal de referencia. De la misma forma, los dispositivos de medición de niveles requieren puntos de referencia a partir de los cuales realizar las lecturas del nivel del agua.

En el contexto de la medición de los niveles del agua en lagos y humedales, los puntos de nivel de referencia se utilizarán para:

- Establecer un nivel de referencia en el terreno.
- Aportar un nivel que sirva de referencia para los niveles del dispositivo de medición.
- Comprobar periódicamente los niveles del dispositivo de medición respecto a dicho punto de referencia.

Cada dispositivo de medición dispondrá de, al menos, un punto de referencia, instalado de forma permanente en un lugar estable y seguro. La capacidad del punto de referencia para mantener su posición relativa en el terreno es indispensable para poder referenciar los niveles del dispositivo de medición (fig. a3).



Elevación del punto de referencia: 0,000 m, equivalente a 354 m.s.n.m.

Figura a3. Niveles de referencia de una escala limnimétrica.

El nivel de referencia en cada estación de medición deberá ser revisado de forma periódica, y a ser posible, estar referenciado respecto a algún punto de la red geodésica nacional.

4.2. Equipos para trabajo de campo

Para tomar las mediciones de nivel en campo se aportarán los siguientes equipos y material complementario:

- Protocolo de muestreo
- Estadillos de campo
- Libreta de campo
- Fundas impermeables para las fichas de campo
- Cámara digital
- Teléfono móvil
- Cartografía adecuada
- GPS
- Brújula
- Termómetro

5. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DEL NIVEL DEL AGUA

El número de dispositivos de medición del nivel de lámina del agua en cada masa dependerá de las características de la misma. En particular, se dispondrá de más de un dispositivo de medición del nivel del agua cuando se den las siguientes circunstancias:

- Cuando el tamaño del humedal o su morfología den lugar a diferencias centimétricas en el nivel del agua en diferentes partes del mismo.
- Cuando la masa de agua presente un riesgo de incumplimiento de sus objetivos ambientales debido a presiones hidromorfológicas importantes (diseño del control operativo). En este caso se dispondrán de suficientes puntos de control para evaluar la magnitud y el impacto de tales presiones hidromorfológicas.

c) Cuando el humedal se encuentre compartimentado y presente un comportamiento de los niveles del agua diferenciado (por ejemplo, presenta diferentes mecanismos hidráulicos de control de niveles).

d) Cuando exista más de una cubeta bien diferenciada en el conjunto del humedal.

e) Cuando exista cualquier otra razón que se considere oportuna, debiendo justificarse en cualquier caso.

Cuando sea necesaria la puesta en escena de dispositivos de medición adicionales, su ubicación y número se determinará teniendo en cuenta las características específicas de la masa de agua, de tal forma que la medición de niveles en los mismos resulte lo más representativa posible del conjunto.

6. LOCALIZACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN

Un dispositivo de medición del nivel del agua estará bien ubicado, diseñado y construido cuando cumpla con los siguientes criterios:

- Es posible obtener una lectura precisa del nivel de agua del dispositivo para todos los niveles.
- Es posible tener una lectura precisa del nivel de agua en todas las estaciones del año y para todos los años.
- El lugar del emplazamiento es accesible y/o visible para llevar a cabo las operaciones de mantenimiento y adquisición de datos.
- El dispositivo de medición presenta buenas condiciones estructurales (punto de nivel de

referencia y dispositivos en lugares estables y seguros).

En consecuencia, el dispositivo de medición del nivel del agua se localizará en aquel emplazamiento dentro del humedal que permita medir sus máximas fluctuaciones, incluidos los niveles extraordinarios alcanzados de forma natural o inducidos por las actuaciones humanas.

En los humedales temporales se deberán considerar los fenómenos de desecaciones periódicas, lo que implicará ubicar al menos un dispositivo en la parte más profunda de la masa de agua.

7. NÚMERO DE LECTURAS POR MEDICIÓN

En los dispositivos de medición puntual (escala limnimétrica, y limnímetros de alambre o cinta y peso) se realizarán al menos tres mediciones del nivel del agua para cada uno de los dispositivos presentes en la masa de agua.

8. FRECUENCIA Y ÉPOCA DE MEDICIÓN

La periodicidad de la medición del nivel del agua en los humedales deberá proporcionar la información suficiente para hacer una evaluación segura de las fluctuaciones de nivel la masa de agua y la variación media de su profundidad.

En el caso de dispositivos de medición puntual del nivel del agua (escala limnimétrica, y limnímetros de alambre o cinta y peso), se optará por una periodicidad de control que tenga en cuenta el carácter variable del nivel del agua debido a las condiciones naturales y antropogénicas. Las fechas elegidas para efectuar el seguimiento serán tales que reflejen las alteraciones en la masa de agua debidas a los cambios ocasionados por la presión antropogénica. En caso necesario, se llevarán a cabo otros controles en diferentes estaciones del mismo año para lograr este objetivo.

Como pauta general, los controles de medición del nivel del agua en humedales deberían efectuarse a intervalos no superiores a 1 mes, a menos que los conocimientos técnicos y el criterio de los especialistas justifiquen unos intervalos mayores.

El control de investigación tendrá unas frecuencias variables en cada masa de agua en función de su problemática específica. En el caso de que la masa esté sometida a fuertes presiones por extracción o modificación de sus aportes superficiales, se velará por instalar en el periodo de investigación dispositivos con registros de nivel en continuo.

9. PROCEDIMIENTO DE TOMA DE DATOS DE MEDICIÓN DEL NIVEL DEL AGUA

En cada dispositivo de medición puntual del nivel del agua se tomarán al menos tres lecturas.

Cuando existan olas que dificulten la medición en los dispositivos manuales, se anotarán para cada medición las lecturas en el momento de mayor y menor altura provocado por dichas olas.

En las visitas de campo y como información complementaria, se anotará:

- Estimación de la velocidad del viento (al menos en la escala Beaufort)
- Dirección del viento
- Estimación de la altura de las olas
- Temperatura
- Hora

Se rellenará la hoja de campo que se adjunta a este protocolo.

10. DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LAS MEDICIONES

La determinación de la incertidumbre en las mediciones del nivel del agua dependerá del tipo de dispositivo según se definen en el apartado 4.1.2. del presente anexo Según la UNE-EN ISO 4373:2009 para estos tipos de dispositivos, la incertidumbre será:

a) Escalas limnimétricas verticales o inclinadas. Se aplica una distribución triangular a la incertidumbre, u , asociada con la indicación de una escala limnimétrica vertical o inclinada, x , de modo que:

$$u(x_{media}) = \frac{1}{\sqrt{16}} \frac{(x_{max} - x_{min})}{2}$$

Donde $x_{m\acute{a}x}$ es el límite superior perceptible; $x_{m\acute{i}n}$ es el límite inferior perceptible.

b) Limnómetro de alambre o cinta y peso. Se aplica una distribución triangular para la incertidumbre asociada con la lectura de un limnómetro de alambre/cinta y peso, de modo que se aplica la misma ecuación anterior.

$$u(x_{media}) = \frac{1}{\sqrt{16}} \frac{(x_{max} - x_{min})}{2}$$

Donde $x_{m\acute{a}x}$ es el límite superior perceptible; $x_{m\acute{i}n}$ es el límite inferior perceptible.

c) Limnómetro mecánico de flotador y contrapeso. Debido a la presencia de histéresis en el sistema de flotador y contrapeso, la distribución de la incertidumbre es bimodal, de modo que:

$$U(x_{media}) = \frac{(x_{max} - x_{min})}{2}$$

Donde $x_{m\acute{a}x}$ es el límite superior perceptible; $x_{m\acute{i}n}$ es el límite inferior perceptible.

d) Transductores de presión eléctricos. Un transductor de presión tiene una distribución rectangular de incertidumbre, de modo que se aplica la ecuación:

$$U(x_{media}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{(x_{max} - x_{min})}{2}$$

Donde $x_{m\acute{a}x}$ es el límite superior perceptible; $x_{m\acute{i}n}$ es el límite inferior perceptible.

FICHA DE CAMPO PARA MUESTREO

TOMA DE DATOS DEL NIVEL DEL AGUA EN LAGOS Y HUMEDALES					
DATOS IDENTIFICATIVOS DE LA MEDICIÓN					
Nombre de la masa de agua:					
Organismo/empresa:			Programa de control <input type="checkbox"/> Vigilancia <input type="checkbox"/> Operativo <input type="checkbox"/> Investigación <input type="checkbox"/> Referencia <input type="checkbox"/> Zona protegida		
Muestreador:					
Código medición:					
Fecha	___/___/___	Hora inicio: ___:___			
DATOS DEL DISPOSITIVO DE MEDICIÓN					
Dispositivo operado por:					
Nombre de la estación:			Código estación:		
Coordenadas: UTM X _____ UTM Y _____ Huso _____			Volumen cero a la altura de escala:		
Tipo de dispositivo <input type="checkbox"/> Escala limnimétrica <input type="checkbox"/> Limnómetro de alambre/cinta y peso <input type="checkbox"/> Limnómetro mecánico de flotador y contrapeso <input type="checkbox"/> Transductor de presión eléctrico		Tipo de registro de datos <input type="checkbox"/> Puntual <input type="checkbox"/> Continuo		Precisión de la lectura <input type="checkbox"/> 2 mm o menos <input type="checkbox"/> 5 mm o menos <input type="checkbox"/> 1 cm o menos <input type="checkbox"/> Mayor de 1 cm	
CONDICIONES CLIMÁTICAS					
Velocidad del viento estimada (m/s):		Fuerza del viento (según escala Beaufort ¹):			
Dirección del viento:		Temperatura (°C):			
Observaciones sobre los datos climáticos:					

¹ Escala disponible al final del anexo

MEDICIÓN				
Código medición	Lecturas de nivel	Lectura con oleaje		Notas a las lecturas
		Máxima altura	Mínima altura	
1	a:			
	b:			
	c:			
2	a:			
	b:			
	c:			
3	a:			
	b:			
	c:			
4	a:			
	b:			
	c:			
5	a:			
	b:			
	c:			
Observaciones a las mediciones:				

ACCESO Y LOCALIZACIÓN

Descripción de acceso:

Croquis de localización:

ESCALA DE BEAUFORT DE LAS FUERZAS DE LOS VIENTOS

Número de Beaufort	Velocidad del viento (km/h)	Denominación	Efectos en tierra
0	0 a 1	Calma	Calma, el humo asciende verticalmente
1	2 a 5	Ventolina	El humo indica la dirección del viento
2	6 a 11	Flojito	Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos
3	12 a 19	Flojo	Se agitan las hojas, ondulan las banderas
4	20 a 28	Bonancible	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
5	29 a 38	Fresquito	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada
6	39 a 49	Fresco	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas.
7	50 a 61	Frescachón	Se mueven los árboles grandes, dificultad para andar contra el viento
8	62 a 74	Temporal	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa
9	75 a 88	Temporal fuerte	Daños en árboles, imposible andar contra el viento
10	89 a 102	Temporal duro	Árboles arrancados, daños en la estructura de las
11	103 a 117	Temporal muy duro	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles
12	118 y más	Temporal huracanado	Grandes y extensos daños en edificios. Muchos árboles arrancados. Destrucción total

Fundación Biodiversidad

El presente Manual ha sido resultado de un proyecto de investigación llevado a cabo por la Fundación Biodiversidad en colaboración con la Confederación Hidrográfica del Júcar y la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, en el seno del programa de actividades del Centro Español de Humedales. El objetivo sobre el que se ha centrado ha sido el de aportar conocimiento en relación a cómo abordar técnicamente la determinación de las necesidades hídricas de los humedales ya que se trata de un tema que está directamente relacionado con la aplicación de las Directivas Europeas de Aves, Hábitat y Marco del Agua en los humedales de los países de la Unión Europea, y también con la implementación de la Convención de Ramsar o de Humedales de Importancia Internacional en los países adheridos a este tratado.

De esta manera, las herramientas que se proponen en este libro están dirigidas a facilitar la gestión de la conservación y el uso racional de un recurso tan significativo para la pervivencia de los humedales y de los seres humanos como es el agua.

Con la colaboración de:

