

Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas

Revisión de tercer ciclo
(2021-2027)



PLAN HIDROLÓGICO

ANEJO V CAUDALES ECOLÓGICOS

(Documento para la consulta pública)



ÍNDICE:

1	INTRODUCCIÓN	1
2	BASE NORMATIVA	4
2.1	Introducción	4
2.2	Texto Refundido de la Ley de Aguas.....	5
2.3	Ley del Plan Hidrológico Nacional	6
2.4	Reglamento de Planificación Hidrológica.....	7
2.5	Ley de Aguas de Andalucía	10
2.6	Instrucción de Planificación Hidrológica para las Demarcaciones Hidrográficas Intracomunitarias de Andalucía.....	12
3	OBJETIVOS.....	14
3.1	Régimen de caudales ecológicos	14
3.2	Régimen de caudales ecológicos durante sequías prolongadas.....	15
3.3	Requerimientos hídricos de lagos y zonas húmedas	15
4	FASES EN EL ESTABLECIMIENTO DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS.....	17
5	METODOLOGÍA.....	19
5.1	Régimen de caudales ecológicos en masas de agua superficial de la categoría río.....	19
5.1.1	Ámbito espacial	19
5.1.2	Componentes del régimen de caudales ecológicos	20
5.1.3	Distribución temporal de caudales mínimos	21
5.1.4	Distribución temporal de caudales máximos.....	32
5.1.5	Tasa de cambio.....	34
5.1.6	Caracterización del régimen de crecidas.....	34
5.1.7	Masas de agua muy alteradas hidrológicamente.....	35
5.1.8	Régimen de caudales ecológicos durante sequías prolongadas	36
5.2	Requerimientos hídricos de lagos y zonas húmedas	37
5.2.1	Selección de lagos y zonas húmedas.....	39
5.2.2	Caracterización de los factores que influyen en el régimen hídrico	42
5.2.3	Estimación de los requerimientos hídricos.....	44
5.3	Masas de agua de transición	45
6	RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS	47
6.1	Propuesta de régimen de caudales ecológicos en masas de agua superficial de categoría río	47
6.1.1	Distribución temporal de caudales mínimos	47



6.1.2	Distribución temporal de caudales máximos.....	61
6.1.3	Régimen de crecidas.....	63
6.1.4	Régimen de caudales ecológicos durante sequías prolongadas	65
6.2	Requerimientos hídricos de lagos y zonas húmedas	69
6.2.1	Selección de lagos y zonas húmedas.....	69
6.2.2	Requerimientos hídricos de lagos y humedales	74
6.3	Régimen de caudales ecológicos en las aguas de transición.....	78
7	PROCESO DE CONCERTACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS.....	83
8	REGIONALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS A LA TOTALIDAD DE LAS MASAS DE AGUA DE LA CATEGORÍA RÍO.....	86
9	REPERCUSIÓN DE LA IMPLANTACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS SOBRE LOS USOS DEL AGUA.....	97
10	GLOSARIO DE ABREVIATURAS.....	99
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

APÉNDICE V.1. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS



FIGURAS:

Figura nº 1.	Esquema metodológico de la estimación de la distribución temporal de caudales mínimos. Fuente: Consejería de Medio Ambiente, 2011.	22
Figura nº 2.	Representación esquemática de la metodología IFIM	25
Figura nº 3.	Esquema metodológico de la modelización de la idoneidad del hábitat. Fuente: Consejería de Medio Ambiente, 2011.	28
Figura nº 4.	Ejemplos de curvas HPU-Q para distintos estadios alevín, juvenil y adulto (izquierda) y combinadas para periodo húmedo y seco (derecha). Fuente: Consejería de Medio Ambiente, 2011.....	28
Figura nº 5.	Representación espacial de las simulaciones en una y dos dimensiones. Fuente: Consejería de Medio Ambiente, 2011.	29
Figura nº 6.	Ejemplo de estimación del HPU máximo en una curva creciente y sin máximos. Fuente: Consejería de Medio Ambiente, 2011.....	30
Figura nº 7.	Ajuste de los caudales por métodos hidrológicos a los de modelación del hábitat. Fuente: Consejería de Medio Ambiente, 2011.....	31
Figura nº 8.	Ejemplo de análisis de la disponibilidad de refugio para distintos valores de caudal en el río Campanillas aguas abajo de la presa de Casasola. Fuente: Consejería de Medio Ambiente, 2011.....	33
Figura nº 9.	Proceso de priorización en el estudio de humedales.....	40
Figura nº 10.	Puntos de estimación de caudales mínimos por métodos hidrológicos.....	48
Figura nº 11.	Puntos de estimación de caudales mínimos por métodos de modelización hábitat	49
Figura nº 12.	Tramos con propuesta de régimen de caudales ecológicos mínimos.....	51
Figura nº 13.	Masas de agua con propuesta de régimen de caudales ecológicos máximos.....	62
Figura nº 14.	Tramos con propuesta de régimen de caudales durante sequías prolongadas	66
Figura nº 15.	Humedales con estudio de detalle de sus necesidades hídricas en el primer ciclo de planificación hidrológica	72
Figura nº 16.	Humedales con estudio de detalle de sus necesidades hídricas en el tercer ciclo de planificación hidrológica	73
Figura nº 17.	Humedales con estudio de necesidades hídricas.....	74
Figura nº 18.	Ámbitos estuarinos y zonas de marismas	79



Figura nº 19.	Masas de agua estratégicas para la implantación del régimen de caudales ecológicos	85
Figura nº 20.	Clasificación por tipos hidrológicos	86
Figura nº 21.	Clasificación de los ríos según su carácter permanente o temporal	87



TABLAS:

Tabla nº 1.	Propuesta de régimen de caudales mínimos.....	56
Tabla nº 2.	Propuesta de régimen de caudales máximos	63
Tabla nº 3.	Propuesta de régimen de crecidas	64
Tabla nº 4.	Propuesta de régimen de caudales durante sequías prolongadas.....	68
Tabla nº 5.	Resultados generales del proceso de selección de humedales	70
Tabla nº 6.	Humedales seleccionados clasificados según el momento de estudio y nivel de detalle	71
Tabla nº 7.	Nivel de estudios para los humedales de la clase M1-T1.....	71
Tabla nº 8.	Necesidades hídricas de las Lagunas de Campillos.....	75
Tabla nº 9.	Necesidades hídricas de las Lagunas de Archidona	75
Tabla nº 10.	Necesidades hídricas de la Laguna de la Herrera	76
Tabla nº 11.	Necesidades hídricas de la Laguna de Fuente de Piedra	76
Tabla nº 12.	Necesidades hídricas de la Laguna de la Caldera	77
Tabla nº 13.	Necesidades hídricas de las Turberas de Padul.....	77
Tabla nº 14.	Necesidades hídricas de la Albufera Honda de Adra	78
Tabla nº 15.	Resumen del análisis de ámbitos estuarinos y zonas de marismas.....	81
Tabla nº 16.	Masas de agua de transición que requieren un análisis del régimen de caudales ecológicos.....	81
Tabla nº 17.	Masas de agua estratégicas para el proceso de concertación del régimen de caudales ecológicos.....	84
Tabla nº 18.	Propuesta de régimen de caudales ecológicos en todas las masas de agua de la categoría río.....	96

1 INTRODUCCIÓN

El agua es un bien escaso en muchas zonas de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (DHCMA), especialmente en aquellas regiones más secas donde existe un régimen de precipitaciones escaso (marcado por una fuerte variabilidad estacional) y altas temperaturas, combinado, en algunos casos, con una importante presión antrópica sobre el medio hídrico debido al intenso aprovechamiento del recurso hídrico disponible y la fuerte competencia existente entre los distintos usuarios del agua.

Además, debido a la problemática derivada de la escasez de agua, se hace imprescindible establecer una restricción previa al uso del recurso hídrico, con el objetivo de satisfacer las necesidades ambientales y con ello, mantener, proteger y mejorar (cuando sea posible) la funcionalidad de los ecosistemas fluviales y terrestres asociados, evitando así su deterioro.

Por ello, el principal reto de la planificación hidrológica es lograr la compatibilidad entre la satisfacción de las demandas socioeconómicas, junto con la preservación y mejora del medio ambiente, con una gestión sostenible, racional y eficaz de los recursos hídricos disponibles. Con este propósito, se han establecido una serie de objetivos medioambientales cuyo cumplimiento debe asegurar la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes.

La legislación española establece la necesidad de determinar un régimen de caudales ecológicos en los planes hidrológicos de cuenca, entendiéndolo como aquel que *“mantiene como mínimo la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera”* y, además, se consideran una restricción impuesta con carácter general a los sistemas de explotación.

Es decir, la consideración del régimen de caudales ecológicos es obligatorio en la asignación y reserva de recursos para usos y demandas, actuales y futuros, así como para la conservación y recuperación de medio natural. En todo caso, se aplicará también a los caudales medioambientales la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones recogida en la Ley de Aguas.

De cara a la elaboración del Plan Hidrológico del primer ciclo (2009-2015), se realizó un estudio muy completo y ambicioso en la DHCMA que se centró en la determinación del régimen de caudales ecológicos de las masas de agua de categoría río (informe titulado: *“Establecimiento del régimen de caudales ecológicos en las masas de agua superficial continentales de la Demarcación Hidrográfica de*

las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Estudio del régimen de caudales ecológicos en ríos”) y de las necesidades hídricas en un total de 5 lagos y humedales (informe titulado: “Establecimiento del régimen de caudales ecológicos en las masas de agua superficial continentales de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Estudio de las necesidades hídricas en lagos y humedales”).

Esta información se puede consultar en la web de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía, en el siguiente enlace:

https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-%C3%ADndice/-/asset_publisher/zX2ouZa4r1Rf/content/estudios-complementarios-sobre-caudales-ecol-c3-b3gicos-realizados-en-el-marco-de-la-planificaci-c3-b3n-hidrol-c3-b3gica-de-las-cuencas-mediterr-c3-a1/20151?categoryVal=

En el segundo ciclo de planificación hidrológica, dado el retraso acumulado en la aprobación del Plan Hidrológico del primer ciclo, no se produjo ningún avance en cuanto a trabajos de determinación del régimen de caudales ecológicos, pero sí se incorporaron en la Normativa los caudales ecológicos mínimos de todas las masas de agua de la categoría ríos.

En el presente ciclo de planificación hidrológica se ha traducido el régimen de caudales ecológicos mínimos en ríos establecido en el primer ciclo a los cambios introducidos en la delimitación de las masas de agua, se ha incorporado el régimen de mínimos en una masa de agua que no lo tenía establecido en los ciclos anteriores (ES060MSPF0634070A Adra entre presa y Fuentes de Marbella) en base a los resultados obtenidos en trabajos mencionados anteriormente para dicha masa de agua, y se han realizado nuevos trabajos de determinación de requerimientos hídricos en 4 lagos y zonas húmedas, cuyos resultados se incorporan al presente anejo y el detalle se recoge en el Apéndice V.1.

Este Anejo se estructura en los siguientes apartados:

1. Introducción
2. Base normativa
3. Objetivos
4. Fases en el establecimiento del régimen de caudales ecológicos
5. Metodología
6. Resultados de los estudios técnicos
7. Proceso de concertación del régimen de caudales ecológicos
8. Regionalización de los resultados a la totalidad de las masas de agua de la categoría río



9. Repercusión del régimen de caudales ecológicos sobre los usos del agua
10. Glosario de abreviaturas
11. Referencias bibliográficas



2 BASE NORMATIVA

2.1 INTRODUCCIÓN

La Directiva (DMA) 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000 establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Tiene por objetivo establecer un marco para la protección y mejora de las masas de agua, promoviendo un uso sostenible de los recursos hídricos y contribuyendo a paliar los efectos de las inundaciones y sequías. Para alcanzar este objetivo da un peso muy importante a la planificación hidrológica, a la gestión por cuenca, a los análisis económicos y a la participación pública.

La implantación de un régimen de caudales ecológicos no se exige explícitamente en la DMA, aunque es clara la relación entre la implantación y mantenimiento efectivo del régimen de caudales ecológicos en las diferentes masas de agua y su contribución a alcanzar los objetivos medioambientales especificados en las mismas. Por lo tanto, los caudales ecológicos no se conciben como un fin en sí mismo, sino como un medio para alcanzar los objetivos citados.

El ordenamiento jurídico español incluye tanto la definición del concepto de caudal ecológico, como los trabajos necesarios para su determinación e implantación, y viene recogido en:

- el Real Decreto 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA);
- la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional (PHN) y la Ley 11/2005, de 22 de julio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional;
- el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH);
- la Ley 9/2010 de Aguas para Andalucía.

Además, la Instrucción de Planificación Hidrológica de las Demarcaciones Intracomunitarias de Andalucía (IPHA), aprobada por la Orden de 11 de marzo de 2015 de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, desarrolla los contenidos de la normativa y define la metodología de aplicación.

Por otra parte, la necesidad de disponer de un régimen jurídico completo en relación a la implementación, mantenimiento, control y seguimiento del régimen de los caudales ecológicos ha resultado en la inclusión una serie de artículos relacionados con el tratamiento de los caudales



ecológicos en el Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH), a través de su modificación mediante el Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, aunque se destaca la nulidad del art. 49 quinquies.2 en la redacción dada por el art. 1 del Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por Sentencia del TS de 3 de octubre de 2018 (Ref. [BOE-A-2018-15351](#)).

2.2 TEXTO REFUNDIDO DE LA LEY DE AGUAS

La norma básica en materia de planificación y gestión de las aguas es el TRLA, compuesto por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, y sus sucesivas modificaciones, entre las cuales cabe destacar la Ley 62/2003, de 30 de diciembre por la cual se incorpora a nuestro ordenamiento jurídico la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario en el ámbito de la política de aguas, así como la introducida por la Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley del PHN, que incorpora las bases de los caudales ecológicos.

El TRLA señala en su artículo 40 los objetivos de la planificación hidrológica:

“La planificación hidrológica tendrá por objetivos generales conseguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas objeto de esta Ley, la satisfacción de las demandas de agua, el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.”

En su artículo 42 b) c'), relativo al contenido de los planes hidrológicos de cuenca, hace referencia a la asignación y reserva de recursos y a los caudales ecológicos:

“1. Los planes hidrológicos de cuenca comprenderán obligatoriamente:

(...)

b) La descripción general de los usos, presiones e incidencias antrópicas significativas sobre las aguas, incluyendo:

(...)



c') La asignación y reserva de recursos para usos y demandas actuales y futuros, así como para la conservación o recuperación del medio natural. A este efecto se determinarán:

Los caudales ecológicos, entendiendo como tales los que mantiene como mínimo la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera.”

Por otro lado, en el artículo 59.7 se establecen los caudales ecológicos como restricciones a los sistemas de explotación:

“Los caudales ecológicos o demandas ambientales no tendrán el carácter de uso a efectos de lo previsto en este artículo y siguientes, debiendo considerarse como una restricción que se impone con carácter general a los sistemas de explotación. En todo caso, se aplicará también a los caudales medioambientales la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones recogida en el párrafo final del apartado 3 del artículo 60. Los caudales ecológicos se fijarán en los Planes Hidrológicos de cuenca. Para su establecimiento, los organismos de cuenca realizarán estudios específicos para cada tramo de río.”

2.3 LEY DEL PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL

La Ley 10/2001, de 5 de julio, del PHN, así como su modificación mediante la Ley 11/2005, de 22 de junio, desarrollan el artículo 59.7 del TRLA.

Así, en el artículo 26 “*Caudales ambientales*” de la Ley 10/2001 (con las modificaciones establecidas por la Ley 11/2005), se establece lo siguiente:

“1. A los efectos de la evaluación de disponibilidades hídricas, los caudales ambientales que se fijen en los Planes Hidrológicos de cuenca, de acuerdo con la Ley de Aguas, tendrán la consideración de una limitación previa a los flujos del sistema de explotación, que operará con carácter preferente a los usos contemplados en el sistema. Para su establecimiento, los Organismos de cuenca establecerán estudios específicos para cada tramo de río, teniendo en cuenta la dinámica de los ecosistemas y las condiciones mínimas de su biocenosis. Las disponibilidades obtenidas en estas condiciones son las que pueden, en su caso, ser objeto de asignación y reserva para los usos existentes y previsibles. La fijación de los caudales ambientales se realizará con la participación de todas las Comunidades Autónomas que

integren la cuenca hidrográfica, a través de los Consejos del Agua de las respectivas cuencas, sin perjuicio de lo dispuesto en la disposición adicional décima en relación con el Plan Integral de Protección del Delta del Ebro.

2. Sin perjuicio de lo establecido en el número anterior y desde el punto de vista de la explotación de los sistemas hidráulicos, los caudales ambientales tendrán la consideración de objetivos a satisfacer de forma coordinada en los sistemas de explotación, y con la única preferencia del abastecimiento a poblaciones.”

Por su parte, el artículo 31 establece lo siguiente respecto a los humedales:

“El Ministerio de Medio Ambiente, en coordinación con las Comunidades Autónomas, establecerá un sistema de investigación y control para determinar los requerimientos hídricos necesarios que garanticen la conservación de los humedales existentes que estén inventariados en las cuencas intercomunitarias.

Asimismo, el Ministerio de Medio Ambiente y las Comunidades Autónomas promoverán la recuperación de humedales, regenerando sus ecosistemas y asegurando su pervivencia futura.”

2.4 REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

El RPH, aprobado mediante el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y modificado por el Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, recoge el articulado y detalla las disposiciones del TRLA relevantes para la planificación hidrológica.

El artículo 3.j) recoge y amplía la definición de caudal ecológico contenida en el TRLA, ligándola a los conceptos de estado de una masa de agua introducidos por la DMA:

“Caudal ecológico: caudal que contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico en los ríos o en las aguas de transición y mantiene, como mínimo, la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera.”

En su artículo 4 transcribe el artículo 42.b) c') del TRLA referente a la asignación y reserva de recursos en el contenido obligatorio de los planes hidrológicos de la demarcación:

“Los planes hidrológicos de cuenca comprenderán obligatoriamente:



(...)

b bis) La descripción general de los usos, que incluya:

(...)

c') La asignación y reserva de recursos para usos y demandas actuales y futuros, así como para la conservación o recuperación del medio natural.

A los efectos de garantizar la conservación o recuperación del medio natural se determinarán los caudales ecológicos y las reservas hidrológicas, de acuerdo con, respectivamente, los artículos 49 ter y siguientes y 244 bis y siguientes del Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril (RDPH).”

En su artículo 17.2 transcribe el artículo 59.7 del TRLA:

“2. 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. En todo caso, se aplicará también a los caudales medioambientales la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones recogida en el artículo 60.3 del texto refundido de la Ley de Aguas.”

Además, en su artículo 18 recoge de forma sintética los conceptos relacionados con el establecimiento e implantación de un régimen de caudales ecológicos:

“1. El plan hidrológico determinará el régimen de caudales ecológicos en los ríos y aguas de transición definidos en la demarcación, incluyendo también las necesidades de agua de los lagos y de las zonas húmedas, atendiendo a lo dispuesto en los artículos 49 ter y siguientes del RDPH.

2. Este régimen de caudales ecológicos se establecerá de modo que permita 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 en ríos o aguas de transición. Para su establecimiento los organismos de cuenca realizarán estudios específicos en cada tramo de río.





3. El proceso de implantación del régimen de caudales ecológicos se desarrollará conforme a un proceso de concertación que tendrá en cuenta los usos y demandas actualmente existentes y su régimen concesional, así como las buenas prácticas.

4. En caso de sequías prolongadas podrá aplicarse un régimen de caudales menos exigente siempre que se cumplan las condiciones que establece el artículo 38 sobre deterioro temporal del estado de las masas de agua. Esta excepción no se aplicará en las zonas incluidas en la red Natura 2000 o en la Lista de humedales de importancia internacional de acuerdo con el Convenio de Ramsar, de 2 de febrero de 1971. En estas zonas se considerará prioritario el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos, aunque se aplicará la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones.

5. En la determinación del flujo interanual medio requerido para el cálculo de los recursos disponibles de agua subterránea se tomará como referencia el régimen de caudales ecológicos calculado según los criterios definidos en los apartados anteriores.”

El artículo 38 “*Deterioro temporal del estado de las masas de agua*” establece las siguientes condiciones para la aplicación de un régimen de caudales menos exigente en caso de sequías prolongadas:

“1. Se podrá admitir el deterioro temporal del estado de las masas de agua si se debe a causas naturales o de fuerza mayor que sean excepcionales o no hayan podido preverse razonablemente, en particular graves inundaciones y sequías prolongadas, o al resultado de circunstancias derivadas de accidentes que tampoco hayan podido preverse razonablemente.

2. Para admitir dicho deterioro deberán cumplirse todas las condiciones siguientes:

a) Que se adopten todas las medidas factibles para impedir que siga deteriorándose el estado y para no poner en peligro el logro de los objetivos medioambientales en otras masas de agua no afectadas por esas circunstancias.

b) Que en el plan hidrológico se especifiquen las condiciones en virtud de las cuales pueden declararse dichas circunstancias como racionalmente imprevistas o excepcionales, incluyendo la adopción de los indicadores adecuados. En el caso de situaciones hidrológicas extremas estas condiciones se derivarán de los estudios a realizar de acuerdo con lo indicado en el artículo 59 y deberán contemplarse los indicadores establecidos en los planes de sequía cuyo registro se incluirá en el plan hidrológico, conforme a lo indicado en el artículo 62.



c) Que las medidas que deban adoptarse en dichas circunstancias excepcionales se incluyan en el programa de medidas y no pongan en peligro la recuperación de la calidad de la masa de agua una vez que hayan cesado las circunstancias.

d) Que los efectos de las circunstancias que sean excepcionales o que no hayan podido preverse razonablemente se revisen anualmente y se adopten, tan pronto como sea razonablemente posible, todas las medidas factibles para devolver la masa de agua a su estado anterior a los efectos de dichas circunstancias, sin perjuicio de lo establecido en la disposición adicional undécima 1.b) del texto refundido de la Ley de Aguas.

e) Que en la siguiente actualización del plan hidrológico se incluya un resumen de los efectos producidos por esas circunstancias y de las medidas que se hayan adoptado o se hayan de adoptar.”

Es importante destacar que el sistema de indicadores para identificar una situación de sequía prolongada viene establecido en los planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía, elaborados por los organismos de cuenca en cumplimiento del artículo 27 de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.

De hecho, el Artículo 62 del RPH establece que:

“1. Los planes hidrológicos tendrán en cuenta en su elaboración los planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía, elaborados por los organismos de cuenca en cumplimiento del artículo 27 de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, de los que incorporarán un resumen, incluyendo el sistema de indicadores y umbrales de funcionamiento utilizados y las principales medidas de prevención y mitigación propuestas.”

2.5 LEY DE AGUAS DE ANDALUCÍA

La Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas para Andalucía, recoge en su artículo 4.8 la definición de caudal ecológico incluida en el RPH, y en su artículo 6 los objetivos medioambientales en materia de agua, entre los que figura la necesidad de definir, implementar y garantizar los caudales ecológicos para su cumplimiento:



“1. Sin perjuicio de lo dispuesto en la Sección VI del Título I del Reglamento de la Planificación Hidrológica, aprobado por Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, constituyen objetivos medioambientales en materia de agua los siguientes:

a) Prevenir el deterioro del estado de todas las masas de agua, superficiales, subterráneas y de las zonas protegidas, y, en su caso, restaurarlas con objeto de alcanzar el buen estado ecológico de las mismas. Para ello se definirán, implementarán y garantizarán los caudales ambientales necesarios para la conservación o recuperación del buen estado ecológico de las masas de agua.”

Además, en el artículo 22 se detallan los objetivos de la planificación hidrológica de acuerdo con lo establecido en el TRLA:

“Sin perjuicio de lo establecido en el artículo 40.1 del Texto Refundido de la Ley de Aguas, y de las normas básicas contenidas en el Reglamento de la Planificación Hidrológica, la planificación en el ámbito de las aguas de competencia de la Comunidad Autónoma de Andalucía tiene como finalidad conseguir el buen estado ecológico del dominio público hidráulico y de las masas de agua, compatibilizado con la garantía sostenible de las demandas de agua. Para ello, la planificación tiene como objetivos:

(...)

b) Dar respuesta a la demanda de agua, con criterios de racionalidad y en función de las disponibilidades reales, una vez garantizados los caudales o demandas ambientales, en los términos establecidos por el artículo 59.7 del Texto Refundido de la Ley de Aguas.

(...)

g) Fijar el caudal ecológico de cada masa de agua, de acuerdo con los requerimientos necesarios para alcanzar el buen estado ecológico de las mismas.”

En el artículo 24.4 en relación a la elaboración de los planes hidrológicos, se establece que:

“a) Los criterios de prioridad se establecerán de forma que se garanticen las necesidades básicas para el consumo doméstico y las necesidades medioambientales para alcanzar el buen estado ecológico de las aguas. El orden de prioridad de uso para las actividades económicas se establecerá en el plan en función de su sostenibilidad, incidencia sobre la



fijación de la población al territorio, el mantenimiento de la cohesión territorial y el mayor valor añadido en términos de creación de empleo y generación de riqueza para Andalucía.”

Por otra parte, en su artículo 44, sobre la asignación de recursos, se establecen los caudales ecológicos como restricciones a los sistemas de explotación:

“4. Los caudales ecológicos o demandas ambientales no tendrán el carácter de uso, por lo que no existirá el deber de indemnización de los costes que generen, debiendo considerarse como una restricción que se impone con carácter general a los sistemas de explotación.”

2.6 INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA PARA LAS DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS INTRACOMUNITARIAS DE ANDALUCÍA

La IPHA, recoge y desarrolla los contenidos del RPH y del TRLA, estableciendo todas las bases metodológicas que han de considerarse en el establecimiento e implantación de los caudales ecológicos y las necesidades hídricas de lagos y humedales.

La IPHA recoge detalladamente en su apartado 3.4, los siguientes aspectos:

- Metodología necesaria para realizar los estudios técnicos destinados a determinar los elementos del régimen de caudales ecológicos en todas las masas de agua, incluyendo los objetivos, ámbito espacial, componentes y caracterización.
- Identificación y caracterización de las masas de agua muy alteradas hidrológicamente.
- Régimen de caudales durante sequías prolongadas.
- Requerimientos hídricos de lagos y zonas húmedas.
- Repercusión del régimen de caudales ecológicos sobre los usos del agua.
- Proceso de concertación del régimen de caudales.
- Seguimiento del régimen de caudales.

Además, la IPHA establece en su apartado 3.4.1 que las fases para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos serán las siguientes:

“a) Una primera fase de desarrollo de los estudios técnicos destinados a determinar los elementos del régimen de caudales ecológicos en todas las masas de agua. Los estudios a desarrollar deben identificar y caracterizar aquellas masas muy alteradas hidrológicamente, sean masas de agua muy modificadas o no, donde pueden existir conflictos significativos con



los usos del agua. Durante esta fase se define un régimen de caudales mínimos menos exigente para sequías prolongadas.

b) Una segunda fase consistente en un proceso de concertación, definido por varios niveles de acción (información, consulta pública y participación activa), en aquellos casos que condicionen significativamente las asignaciones y reservas del plan hidrológico.

c) Una tercera fase consistente en el proceso de implantación concertado de todos los componentes del régimen de caudales ecológicos y su seguimiento adaptativo.

El plan hidrológico recoge una síntesis de los estudios específicos efectuados por el organismo de cuenca para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos.”



3 OBJETIVOS

3.1 RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

El objetivo de este Anejo es establecer el régimen de caudales ecológicos en la DHCMA.

De acuerdo con el RPH y la IPHA, el régimen de caudales ecológicos se ha de establecer de modo que permita 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 en ríos o aguas de transición.

De acuerdo la IPHA apartado 3.4.1.1, para alcanzar estos objetivos el régimen de caudales ecológicos debe cumplir los requisitos siguientes:

- Proporcionar condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante el mantenimiento de los procesos ecológicos y geomorfológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.
- Ofrecer un patrón temporal de los caudales que permita la existencia, como máximo, de cambios leves en la estructura y composición de los ecosistemas acuáticos y hábitat asociados y permita mantener la integridad biológica del ecosistema.

En la medida en que las zonas protegidas de la Red Natura 2000 y de la Lista de Humedales de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar puedan verse afectadas de forma apreciable por el régimen de caudales ecológicos, éstos serán los apropiados para mantener o restablecer un estado de conservación favorable de los hábitat o especies, respondiendo a sus exigencias ecológicas y manteniendo a largo plazo las funciones ecológicas de las que dependen.

En el caso de las especies protegidas por normativa europea (anexo I de la Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, relativa a la conservación de las aves silvestres, y anexos II y IV de la 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) y por normativa nacional/autonómica (Catálogos de Especies Amenazadas, etc.), así como en el caso de los hábitat igualmente protegidos por normativa europea (anexo I de la Directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992) y nacional/autonómica (Inventario Nacional de Hábitat, etc.), el objetivo del régimen de caudales ecológicos será salvaguardar y mantener la funcionalidad ecológica de dichas especies (áreas de

reproducción, cría, alimentación y descanso) y hábitat según los requerimientos y directrices recogidos en las respectivas normativas.

La determinación e implantación del régimen de caudales en las zonas protegidas no se referirá exclusivamente a la propia extensión de la zona protegida, sino también a los elementos del sistema hidrográfico que, pese a estar fuera de ella, puedan tener un impacto apreciable sobre dicha zona.

3.2 RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS DURANTE SEQUÍAS PROLONGADAS

En caso de sequías prolongadas podrá aplicarse un régimen de caudales menos exigente siempre que se cumplan las condiciones que establece el artículo 38 del RPH sobre deterioro temporal del estado de las masas de agua, y de conformidad con lo determinado en el vigente Plan especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía.

Esta excepción no se aplicará en las zonas incluidas en la red Natura 2000, cuando su designación esté relacionada con la protección de hábitats y/o especies ligados al medio acuático, o en la Lista de Humedales de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar. En estas zonas se considerará prioritario el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos, aunque se aplicará la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones, según lo establecido por la normativa vigente.

3.3 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS

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 a través del mantenimiento a largo plazo de la funcionalidad y estructura de dichos ecosistemas, 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.

Para la determinación de los requerimientos hídricos de los lagos y zonas húmedas se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- El régimen de aportes hídricos deberá contribuir a conseguir los objetivos ambientales.



- Si son dependientes de las aguas subterráneas, se deberá mantener un régimen de necesidades hídricas relacionado con los niveles piezométricos, de tal forma que las alteraciones debidas a la actividad humana no tengan como consecuencia:
 - o Impedir alcanzar los objetivos medioambientales especificados para las aguas superficiales asociadas.
 - o Cualquier perjuicio significativo a los ecosistemas terrestres asociados que dependen directamente de la masa de agua subterránea.
- Si están registrados como zonas protegidas, el régimen de aportes hídricos será tal que no impida el cumplimiento de las normas y objetivos en virtud del cual haya sido establecida la zona protegida.
- También se deberán estudiar las circunstancias especiales de la zona inundada y su contorno para proponer medidas que permitan aumentar el valor ambiental de lagos y zonas húmedas.



4 FASES EN EL ESTABLECIMIENTO DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

El proceso de establecimiento del régimen de caudales ecológicos se realiza, tal y como se recoge en el apartado 3.4 de la IPHA, mediante un proceso que se desarrolla en tres fases:

- Desarrollo de los estudios técnicos destinados a determinar los elementos del régimen de caudales ecológicos en todas las masas de agua.
- Proceso de concertación, definido por varios niveles de acción (información, consulta pública y participación activa), en aquellos casos que condicionen significativamente las asignaciones y reservas del plan hidrológico.
- Proceso de implantación y su seguimiento adaptativo.

La complejidad intrínseca de los trabajos técnicos unido al gran número de masas de agua superficial de la DHCMA dificulta la extensión de este proceso tan exhaustivo a todas y cada una de ellas. Por ello, los esfuerzos se centran en aquellas masas de agua que se consideran prioritarias. También debe mencionarse la limitada experiencia en algunos trabajos inherentes a este tipo de determinaciones, que comprenden una doble vertiente: por una parte, análisis hidrológicos de las masas de agua, a realizar en gabinete y para los que se dispone generalmente de información suficiente para su desarrollo; por otra, la realización de trabajos de modelización del hábitat, que exige un tiempo y coste significativos.

Por lo tanto, consideraciones obvias de índole práctica llevaron en el primer ciclo de planificación hidrológica a aplicar un procedimiento que asegura la compatibilidad de los objetivos perseguidos en relación con los medios y plazos disponibles. En este contexto, se realizaron estudios detallados de naturaleza hidrológica para todas las masas de agua y estudios de simulación de hábitat para un número limitado de masas de agua.

El criterio de selección de las masas a estudiar es de notable importancia y se basó en identificar aquellas masas de agua que definan el régimen hidrológico de los principales cursos de agua de la cuenca, puedan ser mantenidas con elementos específicos de regulación y las que puedan ser objeto, por diversas razones, de especial conflictividad.

De esta forma, quedaron cubiertas por estos estudios de modelización de hábitat las denominadas masas de agua estratégicas, que son aquellas en las que el establecimiento del régimen de caudales ecológicos condiciona las asignaciones y reservas de recursos del Plan hidrológico de cuenca.



Obviamente, la concertación se limitó a estas masas de agua estratégicas, en las que se completaron los estudios.



5 METODOLOGÍA

El presente capítulo describe la metodología empleada para realizar los estudios técnicos específicos de determinación del régimen de caudales ecológicos de las masas de agua de la DHCMA. Esta metodología se basa principalmente en la que se expone en la IPHA en sus apartados 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3 y 3.4.4.

Se ha realizado un análisis más detallado en el régimen de caudales ecológicos en las masas de agua de la categoría río, ya que actualmente el estado del arte en cuanto a la evaluación de requerimientos hídricos en lagos y humedales y de caudales ecológicos en masas de agua de transición no se encuentra tan avanzado.

5.1 RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN MASAS DE AGUA SUPERFICIAL DE LA CATEGORÍA RÍO

Como ya se ha mencionado, la metodología para la determinación del régimen de caudales ecológicos sigue las disposiciones establecidas en la IPHA, adaptadas a las particularidades de la demarcación. Este documento establece los procedimientos técnicos básicos para la obtención de dicho régimen y es, por tanto, la referencia fundamental en la que se han basado los estudios realizados.

La metodología establecida en la IPHA se basa en la de la IPH estatal, en cuyo desarrollo colaboró un amplio grupo de expertos representantes de diferentes universidades, centros de investigación y administraciones del agua y de conservación de la naturaleza. Asimismo, este grupo de expertos ha seguido dando apoyo para la realización de los trabajos mediante la redacción de la “Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos” (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008), en la que se detalla la metodología, ilustrándola con ejemplos que complementan y facilitan su aplicación.

5.1.1 ÁMBITO ESPACIAL

El ámbito espacial para la caracterización del régimen de caudales ecológicos se extiende a todas las masas de agua superficial clasificadas en la categoría río de la DHCMA que no sean masas artificiales.

Con carácter general, los resultados obtenidos para ríos serán aplicables a las aguas de transición siempre y cuando se cumplan las funciones ambientales de las mismas.

5.1.2 COMPONENTES DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

El régimen de caudales ecológicos incluye los siguientes componentes:

- Caudales mínimos que deben ser superados con objeto de mantener la diversidad espacial del hábitat y su conectividad, asegurando los mecanismos de control del hábitat sobre las comunidades biológicas, de forma que se favorezca el mantenimiento de las comunidades autóctonas.
- Caudales máximos que no deben ser superados en la gestión ordinaria de las infraestructuras, con el fin de limitar los caudales circulantes y proteger así a las especies autóctonas más vulnerables a estos caudales, especialmente en tramos fuertemente regulados.
- Distribución mensual de los anteriores caudales mínimos y máximos, con el objetivo de establecer una variabilidad temporal del régimen de caudales que sea compatible con los requerimientos de los diferentes estadios vitales de las principales especies de fauna y flora autóctonas presentes en la masa de agua.
- Tasa de cambio máxima aguas abajo de infraestructuras de regulación, con objeto de evitar los efectos negativos de una variación brusca de los caudales, como pueden ser el arrastre de organismos acuáticos durante la curva de ascenso y su aislamiento en la fase de descenso de los caudales. Asimismo, debe contribuir a mantener unas condiciones favorables a la regeneración de especies vegetales acuáticas y ribereñas.
- Caudales de crecida aguas abajo de infraestructuras de regulación, especialmente centrales hidroeléctricas de cierta entidad, con objeto de controlar la presencia y abundancia de las diferentes especies, mantener las condiciones físico-químicas del agua y del sedimento, mejorar las condiciones y disponibilidad del hábitat a través de la dinámica geomorfológica y favorecer los procesos hidrológicos que controlan la conexión de las aguas de transición con el río, el mar y los acuíferos asociados.

A la hora de calcular el régimen de caudales, la IPHA hace distinción entre ríos permanentes, temporales, intermitentes y efímeros. En ríos temporales, ríos intermitentes y ríos efímeros se aplicarán los siguientes criterios metodológicos:



- Temporales: se utilizarán los criterios definidos para la determinación de la distribución mensual de caudales mínimos y máximos en ríos permanentes. Se realizará, además, una caracterización del periodo de cese de caudal.
- Intermitentes, se analizarán los siguientes aspectos:
 - o Periodo de cese de caudal.
 - o Conexión con las aguas subterráneas, definiendo los volúmenes mínimos necesarios para preservar el flujo subsuperficial que alimenta pozas y remansos.
 - o Magnitud de la crecida y periodo de tiempo de recesión al caudal base.
 - o Caudal generador, que permite mantener la dimensión del canal principal del río y su buen funcionamiento morfodinámico.
- Efímeros, se determinarán el tiempo de recesión tras la crecida y el caudal generador.

Cabe destacar que el grado de concreción alcanzado por la IPHA y la experiencia existente es claramente superior en lo referente a la distribución temporal de caudales mínimos en ríos permanentes.

5.1.3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÍNIMOS

La distribución temporal de caudales mínimos se ha obtenido aplicando métodos hidrológicos y sus resultados se han ajustado mediante la modelización de la idoneidad del hábitat en tramos fluviales representativos de cada tipo de río (Figura nº 1).



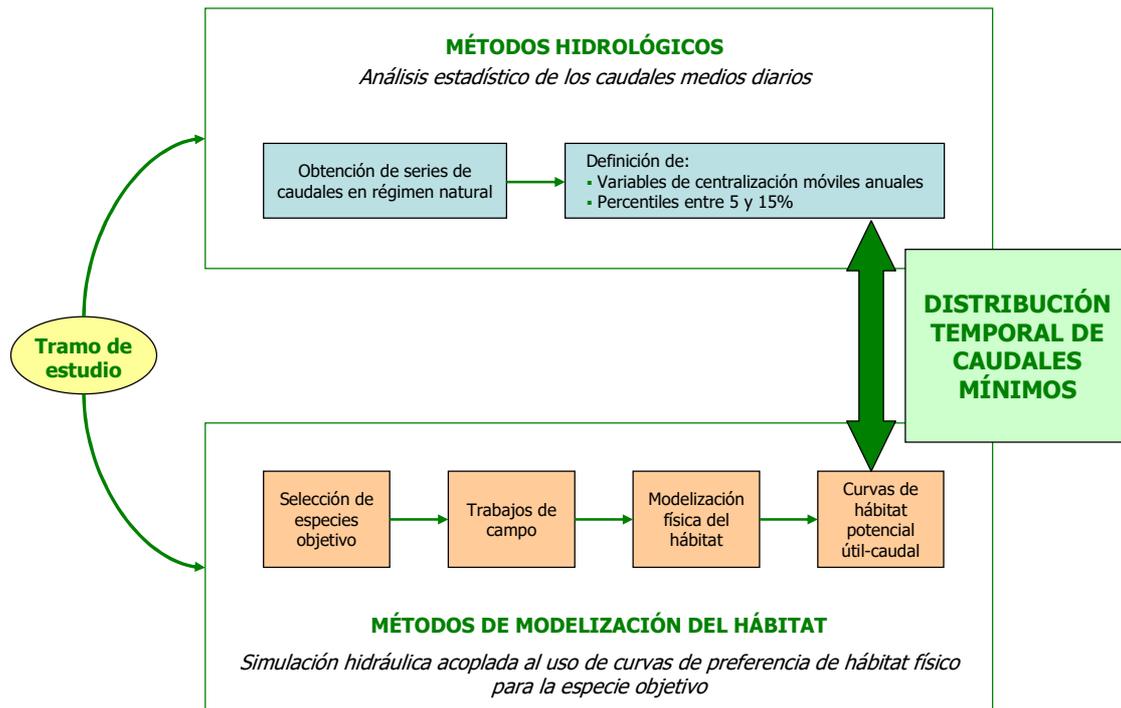


Figura nº 1. Esquema metodológico de la estimación de la distribución temporal de caudales mínimos. Fuente: Consejería de Medio Ambiente, 2011.

5.1.3.1 MÉTODOS HIDROLÓGICOS

En la obtención de caudales ambientales mínimos por métodos hidrológicos se ha considerado el grupo de metodologías que propone la IPHA:

- a) La definición de variables de centralización móviles anuales, de orden único o variable. Las metodologías empleadas han sido las siguientes:
 - Método del caudal básico o QBM (Palau *et al.*, 1998): el caudal mínimo ecológico corresponde con el caudal en el que los incrementos relativos de los valores mínimos de dos intervalos consecutivos de medias móviles, es máximo, obteniéndose de este modo un caudal mínimo para cada año de la serie estudiada y tomando finalmente como valor de caudal mínimo ecológico alguna medida de centralización (QBM media y QBM mediana) de esa serie de caudales mínimos.
 - Método del cambio de pendiente: desarrollado por Baeza (2002), el caudal mínimo se obtiene de aquel caudal a partir del cual la curva de la relación caudal-tamaño del intervalo, cambia significativamente de pendiente (Q pendiente).



- Media móvil de los caudales que han circulado durante 90 días consecutivos: el método se basa en el aplicado en la cuenca del Tajo del Q25d (Baeza y García de Jalón, 1999), método estadístico que plantea como caudal ecológico el definido por la media de los caudales medios mínimos correspondientes a 25 días consecutivos, representando la duración y la magnitud del grupo de caudales más bajos que se producen en un año. Debido a la irregularidad del régimen de los ríos de la DHCMA se ha considerado más representativo ampliar este intervalo, obteniéndose el caudal mínimo calculando la media móvil de los caudales que han circulado durante 90 días consecutivos para no hacer depender los resultados de posibles periodos con caudal nulo, y tomándose finalmente la media de los mínimos de todos los años estudiados (Q 90d).

- b) La definición de percentiles entre el 5 y el 15% a partir de la curva de caudales clasificados, que permitirán definir el umbral habitual del caudal mínimo. Para ello, se ha calculado el valor que deja por debajo al 5% (Percentil 5) o 15% (Percentil 15) de todos los valores anuales, y se ha hallado la media de todos los valores obtenidos de esta forma en la serie de años estudiada.

Las metodologías propuestas necesitan de una serie hidrológica representativa de al menos 20 años en régimen natural que presente una alternancia equilibrada entre años secos y húmedos, y siempre que sea posible definida a escala diaria.

Para la obtención de estas series se han empleado distintos procedimientos:

- Utilización directa de la red de aforos: En aquellas masas en las que se cuenta con datos de estaciones de aforos en los que hay un periodo suficientemente largo de registros en régimen natural o con poca alteración se han empleado los datos aforados (incluidos los de la red hidrométrica de manantiales).
- Restitución de la serie en el caso de régimen alterado, que podrá realizarse mediante las siguientes metodologías:
 - o Restitución mediante balance de aportaciones, detracciones, derivaciones y retornos a escala diaria o mediante su caracterización a escala mensual. En el caso de disponer una serie caracterizada a escala mensual se estima con posterioridad el régimen a escala diaria.





- Modelización hidrológica de series en régimen natural a escala diaria, obtenidas mediante simulación con el modelo Sacramento, o a escala mensual del modelo SIMPA V2 con la estimación posterior de la serie a escala diaria.

En el caso de series obtenidas a escala mensual se ha aplicado posteriormente un patrón de distribución diario correspondiente a estaciones de control en régimen natural o cuasi-natural situadas en masas de características análogas.

En las masas situadas en la parte oriental de la DHCMA, en las que no se dispone de estaciones de aforo en régimen próximo al natural, se ha optado por construir un hidrograma diario con los valores medios mensuales repetidos para los días del mes en el periodo comprendido desde octubre hasta mediados de mayo, y ajustando los valores mensuales de los últimos meses del año hidrológico a una función de curva de decrecimiento de caudales, asumiendo que todo lo que circula por el cauce viene de aportes subterráneos y se comporta uniformemente.

En algunas ocasiones se ha optado por agregar caudales de tramos situados aguas arriba hasta llegar a un caudal próximo al natural que pueda servir para la masa de estudio, y en otras ocasiones, siempre para masas de características muy similares, se han obtenido las series diarias mediante proporcionalidad de aportes.



5.1.3.2 MÉTODOS DE MODELIZACIÓN DEL HÁBITAT

La modelización de la idoneidad del hábitat se basa en la simulación hidráulica acoplada al uso de curvas de preferencia del hábitat físico para la especie o especies objetivo, obteniéndose curvas que relacionen el hábitat potencial útil (HPU) con el caudal en los tramos seleccionados, según se establece en la metodología IFIM (“*Instream Flow Incremental Methodology*”) (Figura nº 2).

La determinación de caudales ecológicos por modelización del hábitat físico se realiza a partir de una cuantificación del hábitat de una especie de referencia (normalmente piscícola) y del análisis de su relación con el caudal mediante simulación hidráulica, para lo que hay que realizar las siguientes tareas:

- Selección de tramos de estudio.
- Selección de especies objetivo.
- Generación de curvas de preferencia de microhábitat, como elemento esencial en la generación de los modelos de hábitat.
- Trabajos de campo destinados a la construcción y calibración de los modelos de hábitat.

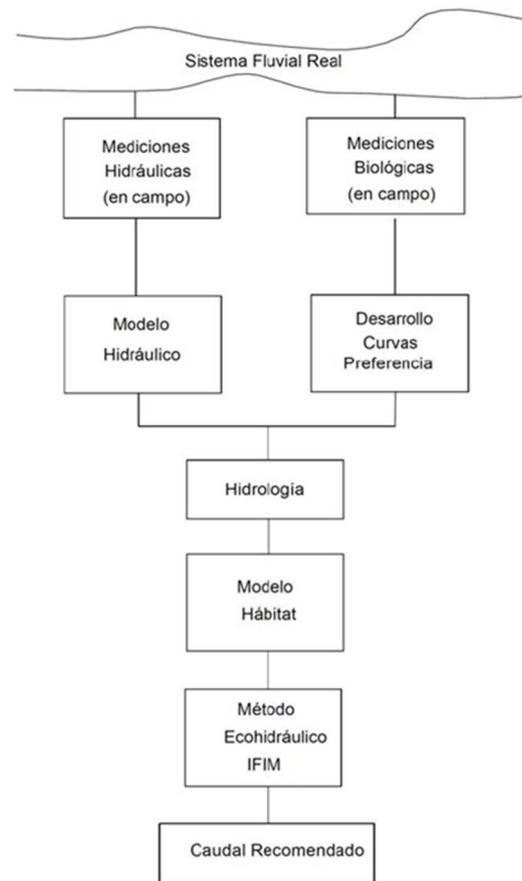


Figura nº 2. Representación esquemática de la metodología IFIM

Los resultados obtenidos por modelización de hábitat son posteriormente analizados y contrastados con los obtenidos por métodos hidrológicos para dar una propuesta de caudales ecológicos mínimos.

5.1.3.2.1 SELECCIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO

La selección de tramos a modelizar se realiza en un número suficiente de masas de agua, recomendándose un mínimo del 10% del total. Además, debe ser suficiente para cubrir, al menos, un tramo en cada uno de los tipos más representativos, especialmente en lo que se refiere a diferencias en el régimen de caudales. Los tramos representativos se seleccionan dando prioridad a las masas de

agua con mayor importancia ambiental o que estén situadas aguas abajo de grandes presas o derivaciones importantes y que puedan condicionar las asignaciones y reservas de recursos del plan hidrológico.

Los tramos se han seleccionado en base a los siguientes criterios:

- Tramos de importancia estratégica, en los que el establecimiento del caudal ecológico pueda tener repercusiones en las asignaciones y reservas de recursos que se establecerán en los planes hidrológicos.
- Tramos de importancia ambiental, prestando especial atención a los elementos de la Red Natura 2000 o con cualquier figura de protección, así como los que alberguen especies en peligro de extinción, sensibles a la alteración de su hábitat, vulnerables o de interés especial.

Asimismo, se ha seleccionado al menos un tramo de cada tipo de río de los establecidos en la IPHA, y han quedado representados todos los sistemas de explotación de la demarcación.

Una vez seleccionadas las masas de agua sobre las que se van a realizar los trabajos de modelización, mediante el reconocimiento de campo se ha realizado la selección de tramos representativos dentro de la propia masa, de modo que estos cuenten con la longitud suficiente para cubrir la variabilidad física y ecológica y que incluyan los distintos mesohábitats presentes en el río.

5.1.3.2.2 SELECCIÓN DE ESPECIES OBJETIVO

La selección de las especies se basa en la consideración de especies autóctonas, dando prioridad a las especies recogidas en los Catálogos de Especies Amenazadas dentro de las categorías “Peligro de extinción” , “Vulnerables” , “Sensibles a la alteración de su hábitat” y de “Interés especial” , así como a las especies recogidas en los anexos II y IV de la Directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992. Se ha tenido en cuenta, además, la viabilidad en la elaboración de sus curvas de preferencia, y su sensibilidad a los cambios en el régimen de caudales, en particular al tipo de alteración hidrológica que sufre la masa de agua, así como la calidad de la información disponible.

Para ello, se ha hecho un censo de las comunidades piscícolas presentes en la DHCMA, y más concretamente, en los tramos seleccionados. Se ha utilizado información procedente de trabajos que presentan muestreos de campo mediante pesca eléctrica, como la base de datos EFI+; el Inventario de peces y el Proyecto SAUCE, facilitados por la Dirección General de Gestión del Medio Natural y Espacios Protegidos; los muestreos de campo realizados por la red de control biológico de la cuenca, y otros

estudios existentes. Para completar la lista de especies presentes en los tramos seleccionados se ha consultado el “Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España” y el “Libro Rojo de los Vertebrados Amenazados de Andalucía” .

Tras identificar las especies autóctonas y el grado de protección en cada caso, se ha llevado a cabo un análisis de los factores que caracterizan la aptitud de las especies más significativas de la DHCMA para ser identificadas como especie objetivo, factores que se sintetizan, por orden de importancia, en:

- Aptitud como especie indicadora de la comunidad biológica.
- Abundancia de la comunidad de peces.
- Importancia taxonómica.
- Detectabilidad.

A partir de estos datos se ha obtenido un listado definitivo de especies sobre las que centrar los trabajos de modelización de hábitat

5.1.3.2.3 ELABORACIÓN Y UTILIZACIÓN DE LAS CURVAS DE HÁBITAT POTENCIAL ÚTIL-CAUDAL

A partir de las simulaciones de idoneidad del hábitat se desarrollan, para las especies objetivo, curvas que relacionan el HPU con el caudal (en adelante, curvas HPU-Q). Para ello se obtienen, a través de modelos hidráulicos, las variables de profundidad y velocidad, que posteriormente se comparan con las curvas de idoneidad de la especie objetivo, de manera que las curvas representan la tolerancia de una especie a unas condiciones concretas del hábitat, asumiendo que estas especies se distribuirán o usarán aquellas zonas con condiciones más favorables (Figura nº 3).

Las curvas se calculan para la preferencia ante variables del hábitat como la profundidad, velocidad o sustrato, y se han desarrollado para tres estadios del ciclo vital de las especies piscícolas seleccionadas: adulto, juvenil y alevín.

Mediante estas curvas HPU-Q se han generado curvas combinadas para facilitar la toma de decisiones. Estas curvas se han obtenido mediante la combinación ponderada y adimensional de hábitat potenciales útiles, determinados para los estadios predominantes en los periodos temporales considerados. Las curvas combinadas se corresponden con un periodo húmedo y otro de estiaje, considerando en cada uno de ellos la predominancia de los estadios de la especie objetivo. A falta de estudios más detallados, y siguiendo las indicaciones de la “Guía para la determinación del régimen

de caudales ecológicos”, en época de estiaje se consideran prioritarios los alevines y en época húmeda los juveniles frente al estadio adulto, persistente durante todo el año. La generación de las curvas combinadas se ha realizado de la siguiente manera:

- Periodo húmedo: 0,6 juveniles + 0,4 adultos.
- Periodo seco: 0,6 alevines + 0,4 adultos.

En la Figura nº 4 se muestran ejemplos de curvas HPU-Q.

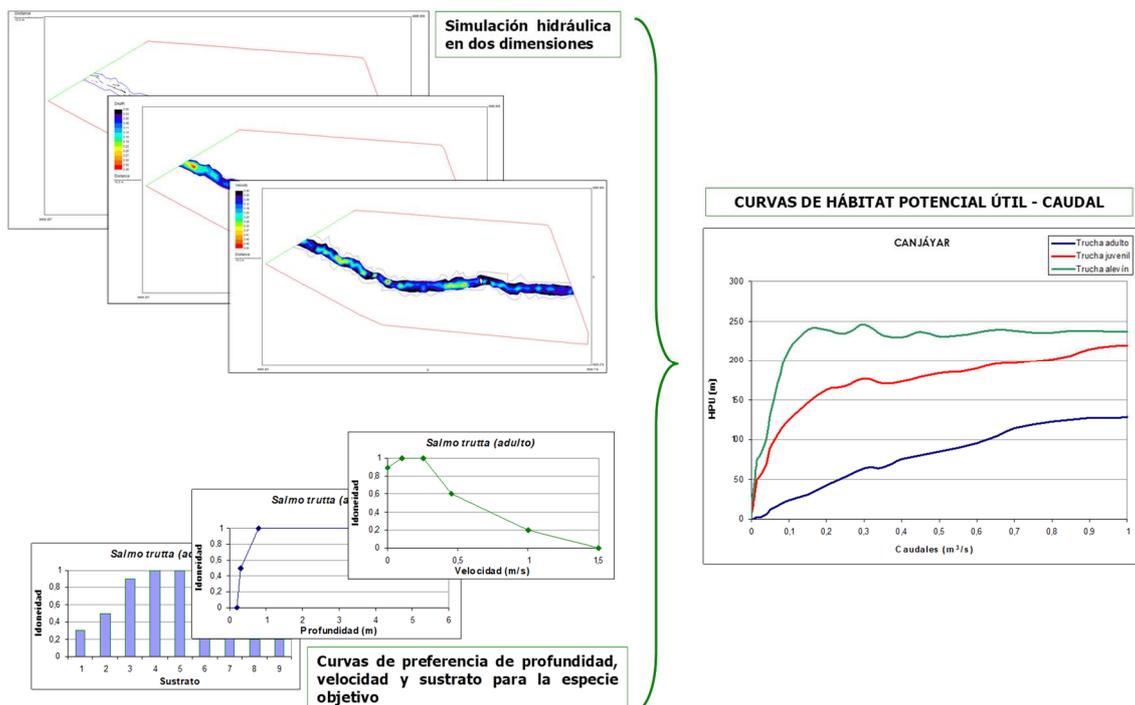


Figura nº 3. Esquema metodológico de la modelización de la idoneidad del hábitat. Fuente: Consejería de Medio Ambiente, 2011.

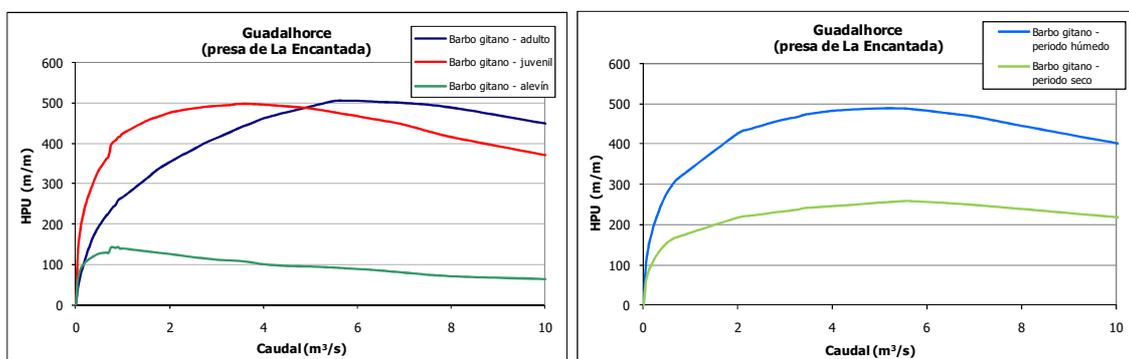


Figura nº 4. Ejemplos de curvas HPU-Q para distintos estadios alevín, juvenil y adulto (izquierda) y combinadas para periodo húmedo y seco (derecha). Fuente: Consejería de Medio Ambiente, 2011.

La simulación de la idoneidad del hábitat se ha realizado mediante modelos bidimensionales siempre que ha sido posible, utilizando el programa RIVER 2D, modelo hidrodinámico bidimensional por elementos finitos que caracteriza la velocidad media de la columna de agua para uso en cauces naturales. Sólo en casos muy concretos, en los que dificultades técnicas lo hayan impedido (cauce invadido por vegetación, fuerte pendiente, toma de datos topográficos compleja, etc.) se ha realizado mediante modelos unidimensionales, con el programa RHYHABSIM, modelo hidrodinámico de resolución mediante el método del paso hidráulico calibrado en cada transepto para el ajuste del perfil de velocidades.

En la Figura nº 5 se pueden ver ejemplos de representación espacial de las simulaciones en una y dos dimensiones.

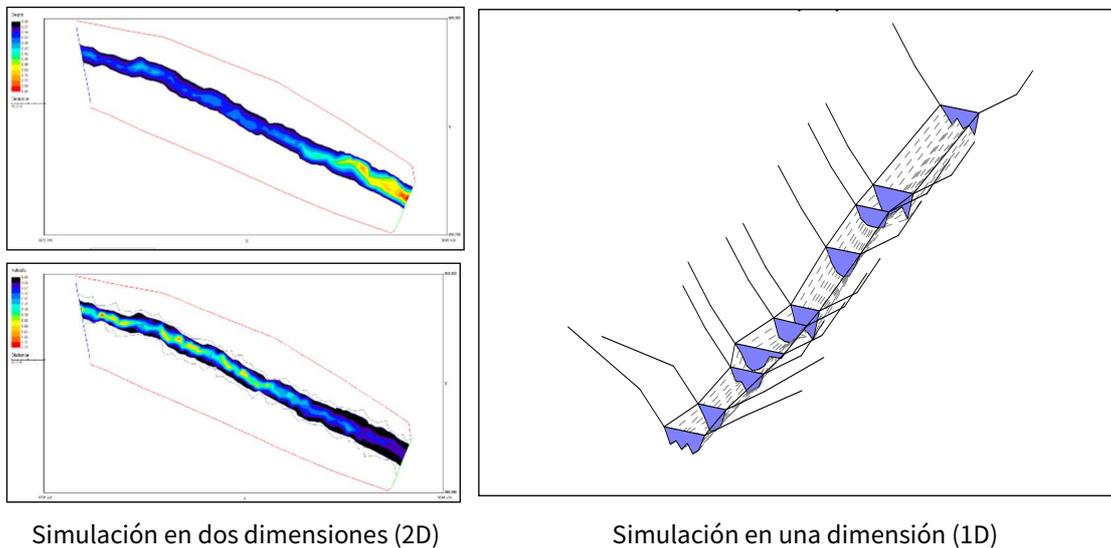


Figura nº 5. Representación espacial de las simulaciones en una y dos dimensiones. Fuente: Consejería de Medio Ambiente, 2011.

Para la realización de los trabajos de campo destinados a la construcción y calibración de los modelos de hábitat se realizaron principalmente dos campañas, la primera en abril-mayo de 2009 y la segunda en julio-agosto del mismo año.

5.1.3.3 OBTENCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS EN RÍOS PERMANENTES

La distribución de caudales mínimos se determina ajustando los caudales obtenidos por métodos hidrológicos al resultado de la modelización de la idoneidad del hábitat, de acuerdo con alguno de los siguientes criterios:

- Considerar el caudal correspondiente a un umbral del HPU comprendido en el rango 50-80% del HPU máximo.
- Considerar el caudal correspondiente a un cambio significativo de pendiente en la curva de HPU-Q.

En el caso de que la curva de HPU sea creciente y sin aparentes máximos, la IPHA establece que hay que adoptar como valor máximo el HPU correspondiente al caudal definido por el rango de percentiles 10-25 % de los caudales medios diarios en régimen natural, obtenido de una serie hidrológica representativa de, al menos, 20 años. Sin embargo, debido al carácter irregular de los ríos de la DHCMA, con una alta variabilidad intraanual, estos percentiles han resultado muy bajos o incluso nulos en muchas masas de agua, por lo que en estos casos se ha adoptado como valor máximo el caudal en el que se produce una estabilización en la curva HPU-Q (Figura nº 6).

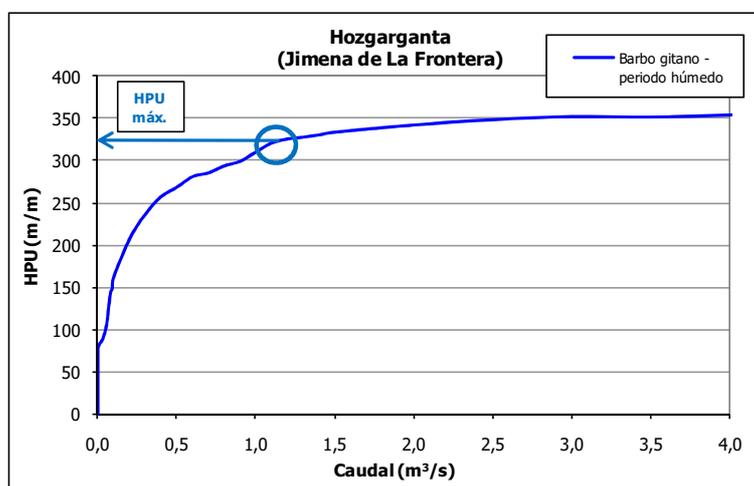


Figura nº 6. Ejemplo de estimación del HPU máximo en una curva creciente y sin máximos. Fuente: Consejería de Medio Ambiente, 2011

Por lo tanto, para la obtención de la distribución de caudales mínimos se analizan los distintos valores obtenidos por métodos hidrológicos (QBM media y mediana, Q90d, Q pendiente, P5 y P15), que se modulan mensualmente de acuerdo con un factor que presente una modulación que se adapte al

cambio natural del flujo, con vistas a adaptar el régimen propuesto a las características inherentes a cada una de las cuencas hidrográficas de estudio.

Para ello, se han utilizado índices mensuales (I_x) basados en las medias de caudales mensuales naturales de modo que se el régimen natural de caudales sirva como un patrón cuyas pautas de fluctuación imita el régimen ecológico propuesto. Estos índices resultan de dividir el caudal medio mensual de cada mes (Q_x) entre el caudal medio mensual del mes mínimo (Q_{\min}). Para atenuar los cambios mensuales, los índices se han elevado a un coeficiente (n), que en la mayor parte de los casos ha sido la raíz cuadrada.

$$I_x = (Q_x/Q_{\min})^n$$

Este régimen se ha comparado con los valores obtenidos a partir de las curvas HPU-Q combinadas, y se han adaptado a los valores comprendidos entre el 50-80% del HPU máximo (Figura nº 7), o en el caso de las masas alteradas hidrológicamente, entre el 30-80% del HPU máximo. Estos rangos son mínimos, pudiendo ser más altos si otros elementos de análisis (tales como la presencia de especies protegidas o hábitats de interés) lo aconsejan, de manera que los porcentajes de HPU son sensiblemente superiores cuando los mínimos se cubren con caudales muy bajos. A partir de estos resultados se establece el caudal mínimo propuesto.

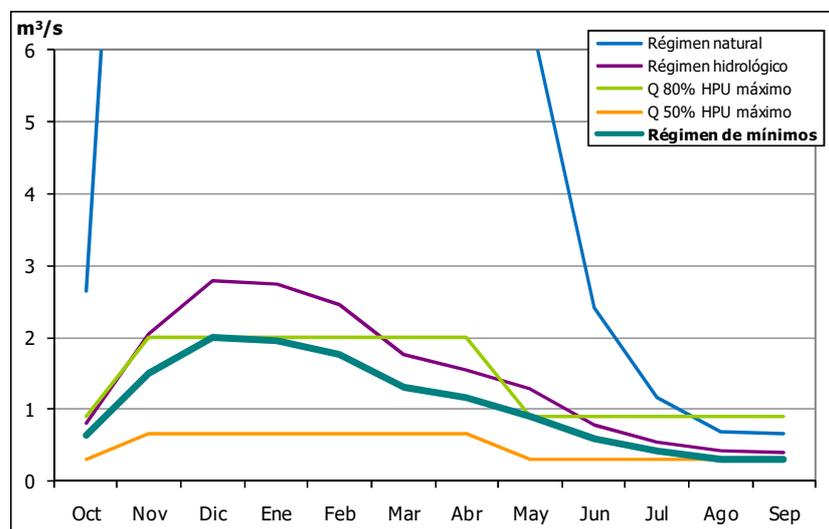


Figura nº 7. Ajuste de los caudales por métodos hidrológicos a los de modelación del hábitat. Fuente: Consejería de Medio Ambiente, 2011

En todo este proceso, se ha tenido en cuenta la coherencia de los resultados dentro de cada cuenca hidrográfica y sus características. Además, se ha procurado dar unos caudales ecológicos en relación

con el régimen natural, ya que se entiende que el régimen de mínimos no debe entrar en incumplimientos significativos con el mismo.

5.1.3.4 OBTENCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS EN RÍOS TEMPORALES, INTERMITENTES Y EFÍMEROS

En este caso, la variación mensual se realiza partiendo del primer mes con valor de caudal superior a cero, a partir del cual se calculan los índices anteriormente descritos.

El régimen así obtenido se ha comparado, al igual que en las masas de agua de categoría río permanentes, con los valores obtenidos a partir de las curvas HPU-Q combinadas, y se ha adaptado a los valores del comprendidos entre el 50-80% del HPU máximo, o en el caso de las masas alteradas hidrológicamente, entre el 30-80% del HPU máximo, con la particularidad de que, en aquellos meses en los que los caudales naturales se encuentren por debajo de estos valores, el régimen de caudales ecológicos propuesto también se ha de encontrar por debajo, y será nulo en función del periodo de cese de caudal determinado.

5.1.4 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÁXIMOS

Durante situaciones de desembalse, conducciones forzadas, etc., es necesario evacuar por un tramo de un río un caudal de una magnitud mayor al que correspondería en condiciones habituales en el tramo en esa época del año.

Estos caudales pueden producir efectos negativos sobre el comportamiento y evolución del sistema fluvial, especialmente si la situación de caudales altos se prolonga durante un tiempo largo. Por esta razón, es interesante conocer los caudales máximos que podrían hacerse circular por un tramo fluvial en situaciones de gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas, poniendo como valor límite aquel que pueda producir daños graves en el ecosistema.

En el diseño de un régimen de caudales que pretenda minimizar los daños ocasionados por la alteración de caudales en un sistema fluvial, se incluye como uno de sus componentes una distribución estacional de caudales máximos, entendiendo por caudales máximos aquellos que no deben ser superados durante la operación y gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas, y se definen en dos periodos hidrológicos homogéneos y representativos, correspondientes al periodo húmedo y seco del año.

Su caracterización se realiza analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración. Con la finalidad de preservar las magnitudes fundamentales del régimen natural, no se utilizan percentiles superiores al 90%, en consonancia con los umbrales propuestos en apartados posteriores para los índices de alteración hidrológica.

Este régimen de caudales máximos se verifica mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, de forma que se garantice tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles, como el mantenimiento de la conectividad del tramo.

Para ello, se asegura que, al menos, se mantenga un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles (alevines y juveniles) (Figura nº 8). Las velocidades admisibles se extraen de curvas que relacionen el tamaño del individuo con la velocidad máxima admisible. Al no disponer de dichas curvas y tratarse de especies piscícolas, la IPHA indica que se utilicen los siguientes intervalos de velocidades máximas limitantes: alevines (0,5-1 m/s), juveniles (1,5-2 m/s) y adultos (<2,5 m/s).

Velocidades m/s	Caudales analizados m ³ /s														
	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,3	1,5	2	3	5	7	10	13	14	16
>0,5	14,9	19,9	25,0	27,6	35,6	47,5	53,8	62,9	67,9	74,7	78,2	82,8	85,7	85,4	86,3
1	2,0	3,0	3,5	3,8	5,5	8,2	9,9	13,7	25,0	45,9	59,0	68,8	75,2	76,4	77,5
1,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	1,2	1,3	3,3	6,0	11,0	16,7	32,7	47,4	51,8	58,2
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	2,4	5,7	8,5	11,3	12,1	16,8
2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,4	2,9	3,3	3,7

Figura nº 8. Ejemplo de análisis de la disponibilidad de refugio para distintos valores de caudal en el río Campanillas aguas abajo de la presa de Casasola. Fuente: Consejería de Medio Ambiente, 2011

Por lo tanto, para el diseño de la distribución de caudales máximos se ha utilizado como condicionante la velocidad limitante (velocidad crítica) para la evolución y desarrollo de la fauna piscícola. Se han definido los dos periodos en función de las emergencias de alevines de las especies de peces condicionantes: periodo seco (mayo-octubre¹) y periodo húmedo (noviembre-abril²).

De este modo, las velocidades producidas en el cauce con un determinado caudal circulante se han obtenido de los programas hidráulicos que se han generado al modelizar el hábitat, y se ha utilizado

¹ Salvo para las masas del subsistema III-2, que, por tener un régimen nival, se considera de diciembre a junio.

² Salvo para las masas del subsistema III-2, que, por tener un régimen nival, se considera de julio a noviembre.

como criterio para validar y fijar el caudal máximo en el periodo seco la velocidad para alevines de 0,5-1 m/s, y para el periodo húmedo la velocidad para juveniles de 1,5-2 m/s.

5.1.5 TASA DE CAMBIO

La determinación de un régimen de caudales ecológicos implica también el establecer unos márgenes admisibles para los cambios de caudal instantáneo en los ríos, o tasa de cambio, que sean compatibles con la capacidad de respuesta de las comunidades naturales. Así, con objeto de evitar los efectos negativos de una variación brusca de los caudales, en las masas de agua ubicadas aguas abajo de infraestructuras de regulación, se ha estimado una tasa máxima de cambio en situaciones de gestión ordinaria tanto para las condiciones de ascenso como de descenso de caudal, definida como la máxima diferencia de caudal entre dos valores sucesivos de una serie hidrológica por unidad de tiempo.

La tasa máxima de cambio se determina considerando la distribución de variaciones temporales sucesivas en régimen natural. Su estimación se ha realizado a partir del análisis de una serie hidrológica representativa de caudales medios diarios de, al menos, 20 años de duración, calculando las series clasificadas anuales de incrementos medios diarios, tanto en ascenso como en descenso, sobre las que se ha establecido un percentil de superación en ascenso y en descenso del 95% y se ha obtenido una estimación media de las tasas de cambio. Si bien en la IPHA se recomienda que el percentil no sea superior al 70-90%, en el caso de los ríos de la DHCMA se ha optado por un percentil del 95%, dado el carácter irregular de los mismos.

Dada la complejidad de este tema, en la actualidad existe una conciencia generalizada de que hay que seguir investigando en este tema para mejorar los métodos de estimación de dicha variable antes de que pueda ser trasladada a las normas de explotación de este tipo de aprovechamientos. Entretanto, se ha suprimido la propuesta provisional de tasas de cambio que figuraba en el Anejo V del Plan Hidrológico del ciclo 2009-2015.

5.1.6 CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS

En aquellos tramos situados aguas abajo de importantes infraestructuras de regulación la crecida asociada al caudal generador se aproxima al caudal de sección llena del cauce, o en su defecto, a la máxima crecida ordinaria, y se define incluyendo su magnitud, frecuencia, duración, estacionalidad y tasa máxima de cambio, tanto en la curva de ascenso como en la curva de descenso del hidrograma de la crecida.

La magnitud de la crecida asociada al caudal generador se ha calculado, por tanto, para distintos periodos de retorno:

- Caudal máximo con periodo de retorno $T=1,5$.
- Caudal máximo con periodo de retorno $T=2$.
- Caudal máximo con periodo de retorno del estudio de caudales generadores del Mapa de caudales máximos (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), 2011), en el que se varía la duración del periodo de retorno en cada hidrorregión en función de datos fisiográficos y climáticos de las cuencas.

La tasa máxima de cambio, la frecuencia y la duración de la crecida asociada al caudal generador se obtienen del análisis estadístico de la serie representativa del régimen hidrológico del río con 20 años de datos. Estas variables se han calculado tanto para la crecida correspondiente al periodo de retorno $T=2$, como al asociado al caudal generador del estudio realizado por el CEDEX.

La validación del caudal generador se debe llevar a cabo mediante la modelización hidráulica del cauce, en un tramo representativo de su estructura y funcionalidad, teniendo en cuenta, para ello, los estudios de inundabilidad del tramo afectado, las condiciones físicas y biológicas actuales, sus posibles efectos perjudiciales sobre las variables ambientales y los riesgos asociados desde el punto de vista de las infraestructuras.

5.1.7 MASAS DE AGUA MUY ALTERADAS HIDROLÓGICAMENTE

En los ríos y estuarios identificados como masas de agua se analiza su grado de alteración hidrológica mediante el cálculo de índices de alteración hidrológica, identificándose aquellas masas que se encuentren en un grado severo de distorsión respecto a los caudales naturales en la situación actual, presentando conflictos entre los usos existentes y el régimen de caudales ecológicos.

Con estos índices se comparan las condiciones del régimen natural de referencia con las condiciones actuales, utilizando para ello un conjunto de parámetros que caracterizan estadísticamente la variación hidrológica inter e intraanual. Los parámetros utilizados se basan en las características fundamentales del régimen hidrológico, como magnitud, duración, frecuencia, estacionalidad y tasa de cambio. Se entiende que una masa de agua está muy alterada hidrológicamente cuando presenta una desviación significativa en la magnitud de los parámetros que caracterizan las condiciones mensuales y anuales del régimen hidrológico natural, repercutiendo de manera importante sobre la

disponibilidad de hábitat tanto para los organismos acuáticos como para los organismos terrestres asociados.

Para estudiar la alteración hidrológica se ha empleado el método IAHRIS (*Índices de Alteración Hidrológica en Ríos*) (Martínez y Fernández, 2010), que propone un conjunto de índices de alteración hidrológica que permiten evaluar, de manera objetiva y eficiente, los cambios que sobre los elementos del régimen de caudales con mayor trascendencia ambiental inducen los aprovechamientos de los recursos hídricos. Dada la finalidad del trabajo, resulta ventajosa la clasificación que hace IAHRIS de la alteración en cinco intervalos que pueden homologarse con los de la evaluación del estado ecológico.

En las masas de agua muy alteradas hidrológicamente, se define un régimen de caudales con los criterios indicados en los apartados anteriores, en lo que se refiere a la distribución temporal de máximos y mínimos, tasa de cambio y caudal generador, pero ajustando los caudales mediante la simulación de la idoneidad del hábitat para las especies objetivo identificadas de modo que el umbral utilizado para fijar el régimen de mínimos esté comprendido entre el 30 y el 80% del HPU máximo de la masa de agua, para las especies objetivo analizadas.

Este umbral del 30% no se ha tenido en cuenta en los tramos situados en espacios de la Red Natura 2000 entre cuyos objetivos esté la conservación de hábitats o especies relacionados con el medio hídrico. Para las demás características del régimen de caudales se proponen escenarios adecuados a la intensidad de la alteración que presentan y, en su caso, se contemplan las condiciones específicas que para las masas designadas como muy modificadas se hayan establecido.

5.1.8 RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS DURANTE SEQUÍAS PROLONGADAS

En caso de sequías prolongadas se puede aplicar un régimen de caudales menos exigente, siempre que se cumplan las condiciones que establece el artículo 38 del RPH sobre deterioro temporal del estado de las masas de agua, y de conformidad con lo determinado en el vigente Plan especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía.

Esta excepción no se aplica en las zonas incluidas en la red Natura 2000 o en la Lista de Humedales de Importancia Internacional de acuerdo con el Convenio de Ramsar. En estas zonas se considera prioritario el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos, aunque se aplicará la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones, según lo establecido por la normativa vigente.

El régimen de caudales durante sequías prolongadas se caracteriza por una distribución mensual de mínimos y se determina mediante simulación de la idoneidad del hábitat. La simulación del hábitat se basa en un umbral de relajación con el objetivo de permitir el mantenimiento, como mínimo, de un 25% del HPU máximo.

La distribución mensual de los caudales correspondientes a este régimen es proporcional a la distribución mensual correspondiente al régimen ordinario de caudales ecológicos establecida, con el fin de mantener el carácter natural de la distribución de mínimos, conservando las características hidrológicas de la masa de agua.

La adaptación desde el régimen ordinario será proporcional a la situación del sistema hidrológico, definida según los indicadores establecidos en el Plan Especial de Actuación en Situación de Alerta y Eventual Sequía (PES), teniendo en cuenta las curvas combinadas elaboradas para tal fin, y evitando, en todo caso, deterioros irreversibles de los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados.

5.2 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS

En el caso de lagos y zonas húmedas no se determina un régimen de caudales ecológico como en el caso de las masas de agua tipo río, sin requerimientos hídricos. Los estudios técnicos para determinar los mismos se han basado en los criterios básicos establecidos en la IPHA, aunque no en todos los casos ha sido posible aplicarlos con el mismo grado de exhaustividad, fundamentalmente por la escasa información disponible. Estos criterios son los siguientes:

- a) El régimen de aportes hídricos deberá contribuir a conseguir los objetivos ambientales.
- b) Si son dependientes de las aguas subterráneas, se deberá mantener un régimen de necesidades hídricas 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.
 - Cualquier perjuicio significativo a los ecosistemas terrestres asociados que dependen directamente de la masa de agua subterránea.



- c) Si están registrados como zonas protegidas, el régimen de aportes hídricos será tal que no impida el cumplimiento de las normas y objetivos en virtud del cual haya sido establecida la zona protegida.

Asimismo, en los nuevos trabajos realizados para el tercer ciclo de planificación hidrológica, para los que se ha seguido la misma metodología, se ha contado con además con el “Manual para la determinación de las necesidades hídricas de los humedales. El contexto español” (Sánchez y Viñals, 2012), para cuya elaboración se emplearon, entre otros, los trabajos realizados durante el primer ciclo.

La caracterización de los requerimientos hídricos se ha realizado a partir de las variables físicas que reflejan más adecuadamente las características estructurales y funcionales de cada lago. La información hidrológica necesaria (registros en las superficies de inundación, niveles de lámina de agua, etc.) se ha obtenido a partir de registros históricos y de modelización.

Se ha intentado asegurar que los criterios numéricos a partir de los cuales se han formulado las propuestas de régimen hídrico hayan tenido como referencia las condiciones naturales y permitan alcanzar condiciones coherentes con la consecución de las funciones y objetivos ambientales perseguidos.

Los trabajos técnicos desarrollados han seguido el siguiente esquema:

- Selección de lagos y zonas húmedas: masas de agua de la categoría lagos o humedales con alguna figura de protección que estén afectados por presiones y estén conectados con aguas subterráneas, o que alberguen especies en peligro de extinción.
- Caracterización de los diferentes factores que influyen en el régimen hídrico: climáticos, hidromorfológicos, hidrogeológicos, biológicos, funcionamiento hidrológico y balance, presiones y usos del suelo.
- Estimación de las necesidades hídricas de lagos y humedales:
 - o Modelización del comportamiento hidráulico a partir de la información obtenida: modelo conceptual, balance aproximado o modelización hidrológica sencilla.
 - o Establecimiento, en la medida de lo posible, de la relación del comportamiento ecológico con el funcionamiento hidrológico, identificando la relación existente entre una serie de indicadores, generalmente la orla de vegetación, y sus parámetros





con el funcionamiento hidrológico del lago o zona húmeda, determinando qué rangos de valores de los parámetros hidráulicos mantienen las condiciones óptimas para los indicadores elegidos.

- Determinación, a partir de la relación anterior, de los aportes superficiales y/o subterráneos necesarios para mantener los valores de las variables hidráulicas durante episodios de mínimos y de crecidas, los valores máximos de las variables hidráulicas y el régimen estacional.

5.2.1 SELECCIÓN DE LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS

Teniendo en cuenta la cantidad, variedad y complejidad de los humedales de la DHCMA, así como el escaso nivel de conocimiento actual, la determinación de sus necesidades hídricas supone un gran reto difícil de acometer cuando se trata de plazos y recursos limitados. Resulta necesario pues racionalizar el estudio de las necesidades hídricas, estableciendo un orden de prioridades según la urgencia de su determinación.

El procedimiento de selección se realiza sobre la base de un árbol de decisión donde paso a paso se van incorporando los diferentes criterios (Figura nº 9).



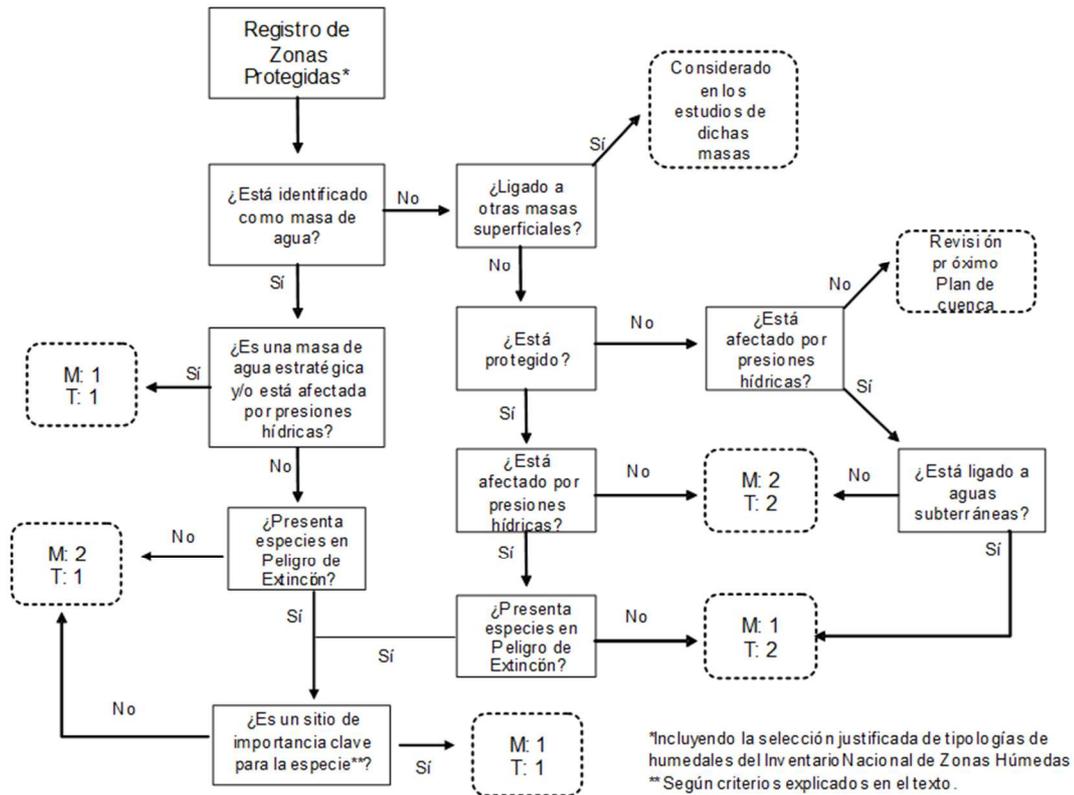


Figura nº 9. Proceso de priorización en el estudio de humedales

Como resultado final, el conjunto de humedales de cada demarcación quedará diferenciado según el momento temporal dentro del proceso de planificación en el que se van a desarrollar los estudios y el tipo de estudio a desarrollar en función de su grado de detalle:

- Momento temporal:
 - o M1: determinación para su inclusión en el Plan Hidrológico de cuenca.
 - o M2: determinación integrada en el programa de medidas del Plan Hidrológico de cuenca.
- Tipo de estudio:
 - o T1: estudio en detalle.
 - o T2: estudio que comprende básicamente el balance hídrico del lago o zona húmeda.

La identificación de humedales y su posterior selección de nivel de estudios requiere tres pasos diferenciados:



- En primer lugar, se identifican los humedales recogidos en el Registro de Zonas Protegidas (humedales de Importancia Internacional incluidos en la lista del Convenio Ramsar, humedales del Inventario Nacional de Zonas Húmedas y humedales del Inventario de Humedales de Andalucía).
- Posteriormente se descartan aquellos casos no sujetos a estudio (exclusión previa) por su escasa importancia, la naturaleza del humedal (artificiales) y el tamaño mínimo (en su máximo nivel de inundación no alcanzan el tamaño mínimo, establecido en 2 ha).
- Finalmente se aplican los criterios establecidos en el árbol de decisión para la selección del nivel de detalle y momento de estudio.

En lo que a las especies en peligro de extinción se refiere, inicialmente se considerarán solamente las especies catalogadas en peligro de extinción que figuran en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas. Sin embargo, para seleccionar el momento y nivel de estudio se tendrá en cuenta el grado de dependencia del humedal que tienen tales especies, diferenciando dos niveles:

- Nivel 1: el humedal representa una importancia clave para la conservación de la(s) especie(s), en cuyo caso se clasifica como M1-T1.
- Nivel 2: el humedal representa un enclave de apoyo para la conservación de la(s) especie(s), en cuyo caso se clasifica como un M2-T1.

Para evaluar el grado de dependencia de las especies al humedal se han tenido en cuenta las exigencias y funciones ecológicas de las que dependen. En el caso de las aves se considera particularmente la reproducción, abundancia, frecuencia y regularidad de la presencia de la especie. Los criterios para asignarles el nivel de dependencia serán los siguientes:

- Nivel 1:
 - o Especies acuáticas o especies que desarrollan alguna parte de su ciclo vital dentro del agua.
 - o Especies con nidificación comprobada al menos un año.
 - o Total acumulado > 100 ejemplares, considerando para cada año la cifra del máximo conteo, mínimo 2 años.
- Nivel 2:
 - o Especies con nidificación probable (en época de cría) no comprobada.



- Total acumulado < 100 ejemplares, considerando para cada año la cifra del máximo conteo, mínimo 2 años; o > 100 ejemplares, un solo año.

No se considera dentro de ninguno de los niveles anteriores las especies de aves que no se haya registrado su presencia durante los últimos 5 años o su presencia haya sido esporádica (< 5 ejemplares).

5.2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RÉGIMEN HÍDRICO

Para aquellos lagos y humedales seleccionados se han identificado los aspectos necesarios para establecer sus necesidades demandas hídricas. Las características consideradas han sido las siguientes:

Identificación del tipo de humedal: Los humedales considerados como masas de agua de categoría de lago se han incluido en los tipos que establece la IPHA, y en los humedales no considerados como masas de agua se han identificado aquellos que se alimentan de aportes de aguas continentales y, en los casos en que la disponibilidad de información lo ha permitido y son asimilables a los tipos de masas, se les ha asignado la tipología de masa de agua que corresponda.

Caracterización climática: Se han obtenido datos de las variables fundamentales para realizar el balance hídrico posterior: precipitación, temperaturas medias, máximas y mínimas, evaporación y evapotranspiración potencial y real. Los datos obtenidos son de buena calidad y representativos de las condiciones climáticas del humedal y su cuenca vertiente.

Caracterización hidrogeológica: En el caso de humedales con aportación subterránea de agua, se ha descrito 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 los casos en los que ha sido posible, la información ha sido obtenida a partir de series históricas suficientemente representativas de condiciones inalteradas o con escasas alteraciones hidrológicas. En caso de no existir batimetría del humedal, se ha generado una batimetría mediante el uso de modelos digitales del terreno (MDT) de la mejor resolución disponible.

Caracterización hidromorfológica: Las variables hidromorfológicas son las que en la mayor parte de los casos van a tener una influencia más determinante sobre el ecosistema presente en el humedal. Se

ha contado con una batimetría del humedal, así como con datos de la superficie encharcada y de la profundidad y sus variaciones estacionales e interanuales.

Funcionamiento hidrológico y balance hídrico: Se ha analizado el funcionamiento hidrológico y balance hídrico, identificando y cuantificando, cuando esto ha sido posible, los aportes de agua que alimentan el sistema, en particular los de origen subterráneo, y las salidas o pérdidas. Se ha establecido un modelo conceptual sobre el funcionamiento del humedal, identificando todos sus componentes y sus variaciones estacionales e interanuales. Esto ha permitido 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.

Balance fisicoquímico: Cuando ha sido posible, se ha caracterizado 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 fisicoquímicas del humedal y éste pierda sus características, además de los aportes es necesario conocer su composición. En su caso esto será de aplicación también para las masas de agua subterránea asociadas al funcionamiento del humedal.

Caracterización ecológica: Se han caracterizado 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, como se verá más adelante. En los casos en los que ha sido posible se han determinado los valores de los elementos de calidad recogidos en la IPHA, y su comparación con los valores de referencia del tipo ecológico al que corresponda.

Identificación de presiones: Se han identificado las extracciones de agua en humedales y su evolución histórica, así como el uso directo que se realiza de las mismas, los aportes artificiales de agua (tales como los retornos de riego), etc. También se han identificado otras presiones tales como los cambios de usos del suelo, problemas de calidad del agua, etc.

5.2.3 ESTIMACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

Una vez conocido el funcionamiento hidrológico del humedal, es necesario caracterizar su relación con ciertas variables ecológicas clave que determinan la estructura y funcionamiento del humedal. Para establecer la relación entre hidrología y ecología es necesario identificar en cada caso los indicadores adecuados. En principio se puede utilizar cualquiera de los organismos indicadores del estado ecológico establecidos por la DMA para los lagos.

Según la información disponible, las propuestas de requerimientos hídricos se han formulado empleando diferentes aproximaciones que pueden ser clasificadas a grandes rasgos en los siguientes tipos:

- Aproximaciones hidrológicas: se fundamentan en que el régimen hidrológico natural constituye el factor principal de organización de los ecosistemas acuáticos. Las propuestas que reflejen este régimen natural propiciarán los procesos y condiciones necesarios para conservar los hábitats y especies. El cálculo se realiza a partir de series hidrológicas en régimen natural y se trata de identificar los parámetros hidrológicos con mayor significado ecológico y geomorfológico. Así, por ejemplo, la caracterización de los hidroperiodos de referencia permite conocer el régimen de fluctuaciones del nivel de la lámina de agua, aspecto particularmente importante en el control de la distribución de organismos. Estas fluctuaciones determinan la estructura y composición de la vegetación del litoral de los humedales, que al mismo tiempo son importantes para los invertebrados y la disponibilidad de hábitats de peces y aves.
- Aproximaciones hidráulicas: definen parámetros físicos limitantes para hábitats o especies, tales como calados mínimos o superficies mínimas. A partir del estudio de la relación entre estos parámetros hidráulicos se definen los volúmenes mínimos de agua en el humedal.
- Aproximaciones hidrobiológicas: analizan las respuestas de determinadas especies a los cambios en el régimen de inundación o los hidroperiodos. Se denominan también métodos de simulación de hábitat, y definen las necesidades hídricas de los humedales a partir de un estudio exhaustivo de los parámetros hidráulicos de una especie o comunidad representativa del humedal. La vegetación perilagunar destaca como un grupo idóneo en este tipo de aproximaciones. Gran parte del valor ecológico de humedales guarda relación con la

composición y estructura de la vegetación, constituyendo en sí misma hábitats con interés de conservación y albergando una buena parte de la biodiversidad de estos humedales.

5.3 MASAS DE AGUA DE TRANSICIÓN

Es conocida la complejidad propia de las masas de agua de esta categoría, incluso en ausencia de un régimen mareal. Los fenómenos propios de las aguas de transición no permiten un tratamiento general, sino que demandan estudios específicos que permitan considerar sus particularidades. Las lógicas condiciones de continuidad con los valores obtenidos en los tramos inmediatos aguas arriba facilitan un valor inicial que puede colaborar en la definición.

Por lo tanto, las necesidades hídricas propias de las masas de agua de transición deben ser planteadas desde el conocimiento y la experiencia actuales, sin cerrar determinaciones definitivas que no estén debidamente fundadas. Los clásicos procedimientos de avance por aproximaciones sucesivas deben ser de aplicación. El seguimiento de la evolución es en este caso un punto fundamental.

En este marco de situación, los estudios deben centrarse en la definición de un régimen de caudales que asegure unas condiciones de salinidad próximas a las condiciones de referencia para las diferentes zonas de los estuarios, comparando el régimen obtenido con el propuesto para la masa aguas arriba del mismo. Sin embargo, por la ya citada complejidad propia de estas masas y al relativamente poco desarrollado estado del arte en estos ecosistemas, los resultados alcanzados deben ser considerados como un mero, aunque interesante, estudio académico, sin posibilidad de ser plasmados en normativa con vistas a un seguimiento y control del cumplimiento.

El desarrollo y aplicación de metodologías concretas para el cálculo del régimen de caudales que mantengan la integridad ecológica de las aguas de transición ha sido muy limitada en comparación a la variedad de metodologías desarrolladas para ecosistemas fluviales.

La “Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos” (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008) incorpora una propuesta metodológica específica para las aguas de transición. En ella, se hace una revisión de qué son los sistemas de transición y cómo se ven alterados o modificados, de los factores que determinan el régimen de caudales ecológicos en estos sistemas, así como de los diferentes estudios y metodologías desarrolladas hasta el momento para ello. Finalmente, realiza una propuesta concreta metodológica para la determinación del régimen de caudales ecológicos en aguas de transición. Como ideas esenciales en las que se basa la metodología destacan:



- La determinación de caudales ecológicos en aguas de transición deberá basarse en la clasificación en tipologías ecológicas de estos sistemas.
- El cálculo del régimen de caudales ecológicos deberá realizarse en base al análisis estadístico de la dinámica correspondiente a condiciones hidrológicas inalteradas (régimen natural). A partir de éstos se establecerán los umbrales de las variables indicadoras.
- Se propone la salinidad como indicador del proceso de mezcla de agua dulce y salada, que es uno de los procesos hidrodinámicos trascendentales para el mantenimiento de las funciones ecológicas de los estuarios.
- Las principales líneas de investigación en el campo de los caudales ecológicos en estuarios han de abarcar necesariamente el estudio de las relaciones entre los caudales y las especies y comunidades de estos sistemas, así como la dinámica sedimentaria de los mismos.



6 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS

6.1 PROPUESTA DE RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN MASAS DE AGUA SUPERFICIAL DE CATEGORÍA RÍO

En este apartado se muestran los resultados obtenidos tras aplicar el proceso metodológico detallado en el apartado 5 de este Anejo en las masas de agua seleccionadas de la categoría río de la DHCMA. Basado en los resultados obtenidos, se presenta la propuesta de régimen de caudales ecológicos: mínimos, durante sequías prolongadas, máximos y régimen de crecidas.

6.1.1 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÍNIMOS

6.1.1.1 MÉTODOS HIDROLÓGICOS

La estimación de los caudales mínimos por métodos hidrológicos se realizó en un total de 96 puntos, repartidos por las 121 masas de agua de la categoría río de la DHCMA que no se corresponden con masas artificiales.

Estos puntos, junto con la metodología empleada para la construcción de la serie en régimen natural, se pueden observar en la Figura nº 10.

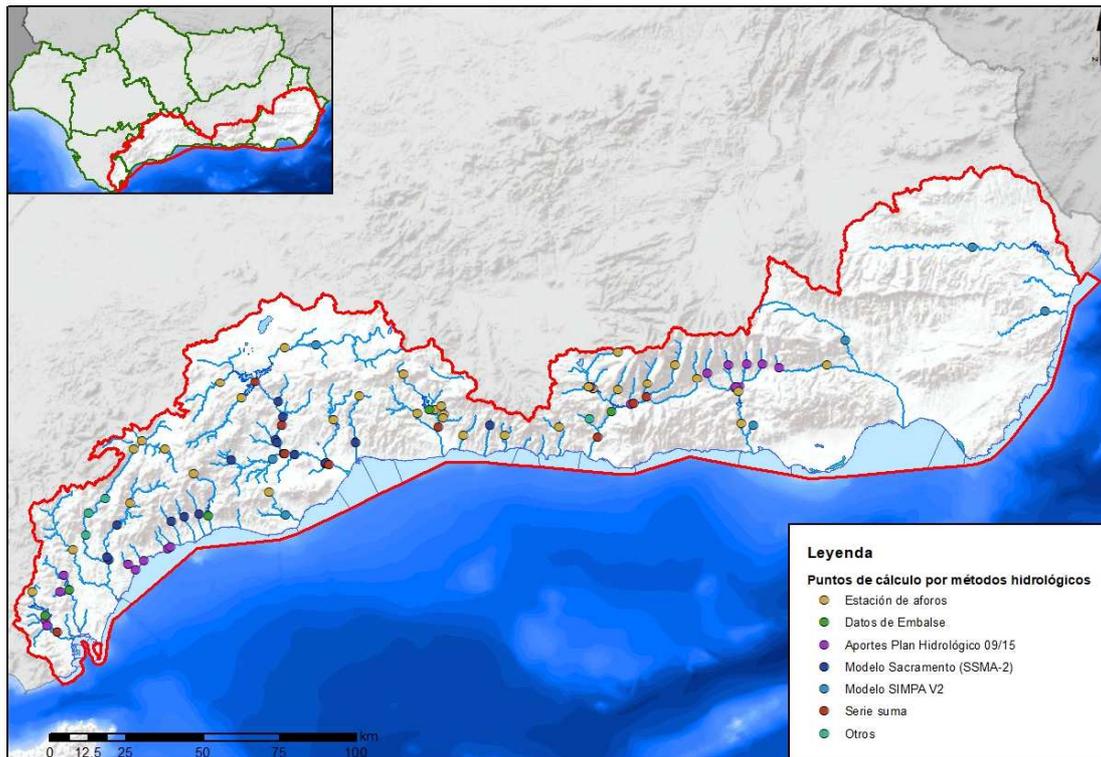


Figura nº 10. Puntos de estimación de caudales mínimos por métodos hidrológicos

En estos puntos se calcularon los siguientes valores de caudales mínimos: QBM media, QBM mediana, Q 90d, Q pendiente, Percentil 5 y Percentil 15.

La ausencia de puntos de cálculo en ciertas masas de agua se debe principalmente a la no disponibilidad de datos para construir una serie en régimen natural, o bien a la imposibilidad de aplicar un régimen de caudales ecológicos en dichos tramos.

6.1.1.2 MÉTODOS DE MODELIZACIÓN DEL HÁBITAT

6.1.1.2.1 SELECCIÓN DE MASAS DE ESTUDIO

De las 123 masas de agua de la categoría río presentes en la DHCMA se seleccionaron un total de 32 tramos para realizar los trabajos de modelización de la idoneidad de hábitat. Esta cifra supone un 26% de masas totales de la categoría río, lo que se encuentra muy por encima del 10% mínimo que recomienda la IPHA.

Los tramos seleccionados se encuentran repartidos por todo el ámbito de la demarcación hidrográfica de modo que se cubran todas las tipologías de masas río de la DHCMA, así como las distintas clases de

masa según su régimen de caudales. En esta selección, se incluyen tramos tanto de importancia estratégica como de importancia ambiental, quedando representados todos los sistemas de explotación.

Los tramos seleccionados, en los que se hicieron los trabajos de campo necesarios para la modelización de hábitat, se recogen en la Figura nº 11.

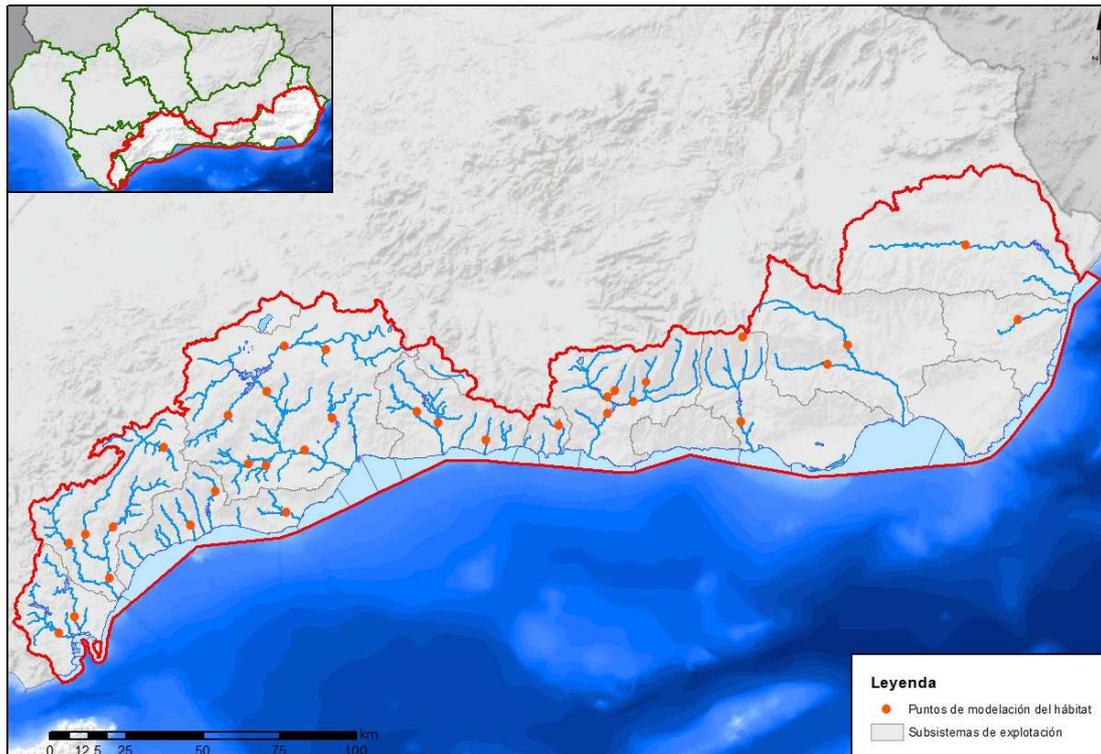


Figura nº 11. Puntos de estimación de caudales mínimos por métodos de modelización hábitat

Además, se contó con los resultados del trabajo realizado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía “Evaluación de la calidad ecológica del río Trevélez y determinación de sus caudales ecológicos” (2006), del que se seleccionó uno de los siete tramos en los que se hizo modelización del hábitat.

6.1.1.2.2 SELECCIÓN DE ESPECIES OBJETIVO

Se determinó para cada masa de agua la especie o especies objetivo sobre las que centrar los trabajos de modelización. Finalmente, se seleccionaron aquellas para las que se dispone de curvas de preferencia, que son:

- *Salmo trutta* (trucha), en un 30% de los tramos estudiados.

- *Barbus sclateri* (barbo gitano), en un 64% de los tramos estudiados.
- *Pseudochondrostoma willkommii* (boga del Guadiana), en un 30% de los tramos estudiados.

Normalmente se seleccionó una única especie por tramo. Sin embargo, en las masas en las que además del barbo gitano aparece la boga del Guadiana, se eligieron ambas, por ser la boga una variedad exclusiva de los ríos del Mediterráneo sur, seleccionando en estos casos los valores de caudales por modelización de la especie que arroje los resultados más restrictivos.

Por otra parte, se tuvo en cuenta la importancia de la presencia del fartet (*Aphanius iberus*) en la cuenca baja del río Adra, que constituye el área de distribución más meridional de este endemismo ibérico, si bien no fue posible incluirlo como especie objetivo en los trabajos de modelización del hábitat al no existir curvas de preferencia en el momento de realizar los trabajos.

6.1.1.2.3 MODELIZACIÓN DEL HÁBITAT

De las 32 masas de agua en las que se llevó a cabo la modelización del hábitat, los trabajos se realizaron en dos dimensiones en 30 masas de agua y en una dimensión para 2 masas de agua (Medio Guadalfeo y Bajo Lanjarón), debido a la densidad de la vegetación.

Para la modelización se emplearon las siguientes curvas existentes:

- Trucha (*Salmo trutta*), elaborada por García Jalón *et al.* (1997).
- Barbo gitano (*Barbus sclateri*), elaborada por Martínez-Capel (2000).
- Boga del Guadiana (*Pseudochondrostoma willkommii*), elaborada para los trabajos de establecimiento del régimen de caudales ecológicos en las demarcaciones hidrográficas intercomunitarias de la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Para cada masa se analizaron los resultados de las curvas HPU-Q, tanto para los tres estadios estudiados (adultos, juveniles y alevines), como para las curvas combinadas (periodo húmedo y periodo seco), determinándose para cada una de ellas los caudales correspondientes al cambio de pendiente y al 80%, 50% y 30% del HPU máximo.

6.1.1.3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÍNIMOS

La propuesta de régimen de caudales ecológicos mínimos se realizó para un total de 22 puntos situados en las 20 masas de agua de la DHCMA consideradas como estratégicas. Estos puntos y masas de agua se recogen en la Figura nº 12.

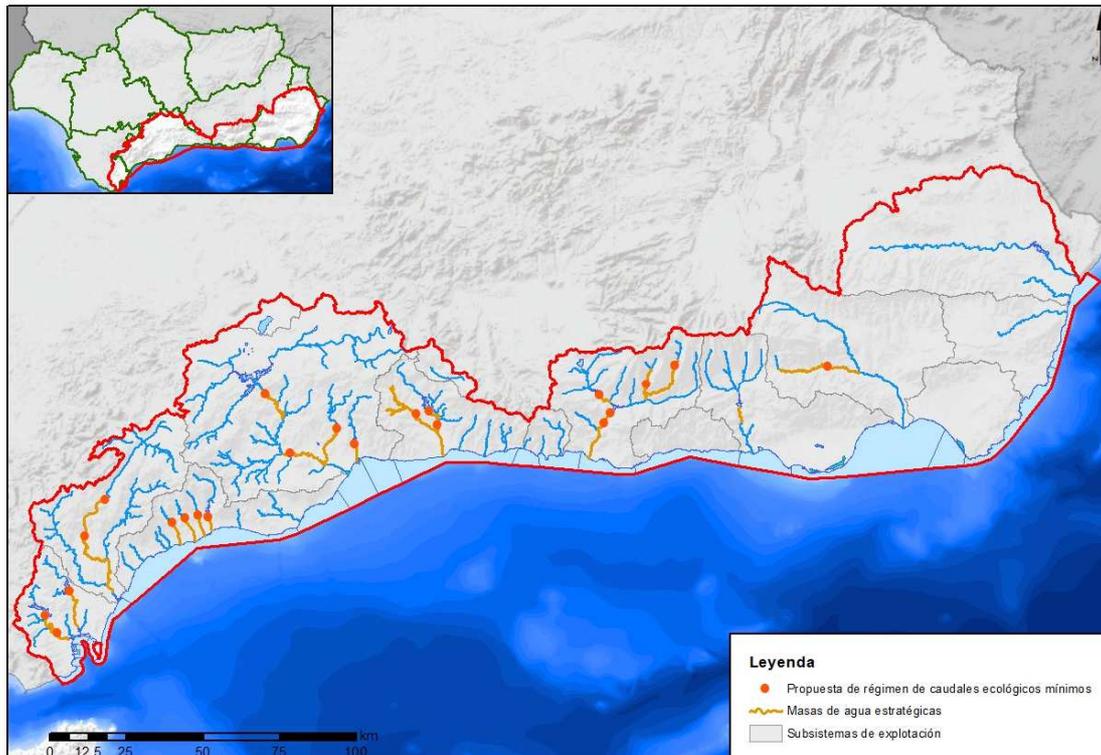


Figura nº 12. Tramos con propuesta de régimen de caudales ecológicos mínimos

Teniendo en cuenta tanto los resultados técnicos, trabajos de campo como el proceso de concertación del Plan Hidrológico del ciclo 2015-2021, se muestra en la Tabla nº 1 la propuesta de régimen de caudales ecológicos mínimos en las masas de agua categoría río de la DHCMA.

Subsistema	Masa de agua superficial categoría río		Lugar	Clasificación río	Muy alterada hidrológicamente	Especie objetivo	Régimen de caudales mínimos (m³/s)														
	Código	Nombre					Propuesta	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media anual	% Nat
I-1	ES060MSPF0611050	Bajo Palmones	Presa de Charco Redondo	Intermitente	Sí	-	Régimen final	0,04	0,13	0,36	0,27	0,21	0,17	0,11	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,12	12%
			Aguas abajo de afluentes	Permanente	Sí	Barbogitano	Régimen final	0,32	0,55	0,88	0,69	0,62	0,46	0,38	0,25	0,08	0,08	0,08	0,08	0,37	14%
	ES060MSPF0611110Z	Medio y Bajo Guadarranque	Presa de Guadarranque	Intermitente	Sí	Boga del Guadiana	Régimen final	0,05	0,08	0,30	0,23	0,19	0,15	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,11	7%
I-2	ES060MSPF0612061	Guadiaro Buitreras-Corchado	Buitreras (EA 6033)	Permanente	No	-	Régimen final	0,65	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	1,04	13%
	ES060MSPF0612062	Bajo Guadiaro	San Pablo Buceite (EA 6060)	Permanente	No	Boga del Guadiana	Régimen transitorio	0,63	1,50	2,00	1,95	1,77	1,31	0,65	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,94	8%
							Régimen final	0,63	1,50	2,00	1,95	1,77	1,31	1,16	0,90	0,60	0,41	0,31	0,30	1,07	9%
I-3	ES060MSPF0613062	Bajo Guadalmanza	Tras trasvase	Permanente	Sí	-	Régimen transitorio	0,13	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,16	0,15	0,09	0,07	0,08	0,15	26%
							Régimen final	0,13	0,26	0,30	0,29	0,24	0,19	0,18	0,16	0,15	0,09	0,07	0,08	0,18	31%
	ES060MSPF0613072Z	Medio y Bajo Guadalmina	Tras trasvase	Permanente	Sí	Barbogitano	Régimen transitorio	0,14	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,18	0,17	0,11	0,09	0,09	0,16	26%
							Régimen final	0,14	0,29	0,34	0,33	0,27	0,22	0,20	0,18	0,17	0,11	0,09	0,09	0,20	32%
	ES060MSPF0613092Z	Medio y Bajo Guadaiza	Tras trasvase	Permanente	Sí	-	Régimen transitorio	0,10	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,09	0,07	0,07	0,12	26%

Subsistema	Masa de agua superficial categoría río		Lugar	Clasificación río	Muy alterada hidrológicamente	Especie objetivo	Régimen de caudales mínimos (m³/s)															
	Código	Nombre					Propuesta	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media anual	% Nat	
I-4	ES060MSPF0613140	Bajo Verde de Marbella	Presa de La Concepción	Permanente	Sí	Boga del Guadiana	Régimen final	0,10	0,21	0,26	0,24	0,20	0,17	0,15	0,14	0,14	0,09	0,07	0,07	0,15	32%	
							Régimen transitorio	0,15	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,19	0,15	0,12	0,09	0,11	0,19	9%	
	ES060MSPF0614150A	Guadalhorce entre Tajo de la Encantada y Jévar	Presa de La Encantada	Permanente	Sí	Barbo gitano	Régimen transitorio	0,30	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,33	7%	
							Régimen final	0,47	0,59	0,75	0,80	0,79	0,73	0,64	0,57	0,45	0,32	0,30	0,33	0,56	13%	
	ES060MSPF0614200	Bajo Campanillas	Presa de Casasola	Permanente	Sí	Barbo gitano	Régimen transitorio	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	8%
							Régimen final	0,02	0,05	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	10%
ES060MSPF0614210	Bajo Guadalhorce	Azud de Aljaima	Permanente	Sí	Boga del Guadiana	Régimen transitorio	0,55	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,63	7%		
						Régimen final	0,65	0,85	1,27	1,58	1,60	1,05	0,80	0,73	0,63	0,56	0,55	0,55	0,90	10%		
ES060MSPF0614250	Bajo Guadalmedina	Presa del Limonero	Temporal	Sí	-	Régimen final	0,02	0,04	0,05	0,08	0,06	0,05	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	8%		
II-1	ES060MSPF0621060	Benamargosa	Salto del Negro (EA 6047)	Temporal	Sí	Barbo gitano	Régimen transitorio	0,05	0,14	0,20	0,22	0,21	0,18	0,16	0,13	0,10	0,07	0,03	0,02	0,13	18%	

Subsistema	Masa de agua superficial categoría río		Lugar	Clasificación río	Muy alterada hidrológicamente	Especie objetivo	Régimen de caudales mínimos (m ³ /s)														
	Código	Nombre					Propuesta	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media anual	% Nat
	ES060MSPF0621070	Vélez y Bajo Guaro	Presa de la Viñuela	Intermitente	Sí	-	Régimen final	0,05	0,25	0,39	0,45	0,44	0,35	0,28	0,22	0,19	0,07	0,03	0,02	0,23	33%
							Régimen transitorio	0,06	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,00	0,00	0,00	0,08
			Régimen final	0,06	0,19	0,37	0,20	0,18	0,20	0,18	0,22	0,11	0,00	0,00	0,00	0,14	9%				
			Régimen transitorio	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,03	0,01	0,01	0,12	5%			
			Régimen final	0,15	0,27	0,45	0,32	0,30	0,30	0,25	0,26	0,15	0,03	0,01	0,01	0,21	9%				
III-2	ES060MSPF0632040A	Medio Trevélez	Azud Trevélez (EA 6103) ³	Permanente	Sí	Trucha	Régimen final	0,20	0,20	0,39	0,38	0,39	0,40	0,43	0,47	0,46	0,20	0,20	0,20	0,33	29%
	ES060MSPF0632040B	Medio y Bajo Poqueira	Central Pampaneira (EA 6055)	Permanente	No	Trucha	Régimen final	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	50%
	ES060MSPF0632130A	Izbor entre Béznar y Rules	Presa de Béznar	Permanente	Sí	Trucha	Régimen final	0,20	0,23	0,25	0,25	0,26	0,26	0,24	0,25	0,23	0,16	0,13	0,16	0,22	11%
	ES060MSPF0632150A	Bajo Guadalfeo	Presa de Rules	Permanente	Sí	Trucha	Régimen final	0,52	0,70	0,80	0,78	0,78	0,77	0,78	0,90	0,82	0,46	0,30	0,31	0,66	11%
			Azud de Vélez	Permanente	Sí	Trucha	Régimen final	0,25	0,25	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,25	0,25	0,25	0,34	6%

³ Régimen de caudales ecológicos mínimos modificado como resultado del proceso de concertación.

Subsistema	Masa de agua superficial categoría río		Lugar	Clasificación río	Muy alterada hidrológicamente	Especie objetivo	Régimen de caudales mínimos (m ³ /s)														
	Código	Nombre					Propuesta	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media anual	% Nat
III-4	ES060MSPF0634070A	Adra entre presa y Fuentes de Marbella	Presa de Benínar	Permanente	Sí	-	Régimen final	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IV-1	ES060MSPF0641020	Medio y Bajo Canjáyar	Canjáyar (EA 6024)	Permanente	Sí	Trucha	Régimen transitorio	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,10	0,07	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	18%
							Régimen final	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,10	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04	0,06	20%

Tabla nº 1. Propuesta de régimen de caudales mínimos

En la mayor parte de las masas la propuesta consistió en un único régimen de mínimos o régimen final. Sin embargo, en algunas de ellas se consideró necesario establecer dos: un régimen transitorio y otro régimen final, que corresponde al escenario en el que se hayan llevado a cabo las actuaciones previstas en el Programa de Medidas necesarias para hacer posible la implantación de este régimen.

A continuación, se recogen una serie de consideraciones acerca del régimen propuestos en cada masa de agua de cada subsistema de explotación:

SUBSISTEMA I-1

Palmones y Guadarranque: Se propone un único régimen de caudales ecológicos mínimos, puesto que en circunstancias normales existen recursos hídricos suficientes regulados para mantener estos caudales. En ambos casos, el régimen de caudales mínimos incluye un caudal de dilución del 3% del caudal medio anual durante los meses de verano.

SUBSISTEMA I-2

Buitreras: El objetivo final es alcanzable en el primer horizonte (2027), y requeriría una revisión de los términos concesionales de Endesa Generación en el aprovechamiento de Buitreras para incluir un condicionado ambiental de acuerdo con estos caudales, al margen de las modificaciones en la toma para el trasvase Guadiaro-Majaceite.

San Pablo Buceite: En el Bajo Guadiaro se propone de forma transitoria rebajar el régimen de caudales ecológicos en el periodo de la campaña de riego (abril-septiembre) para equiparlo a los equivalentes al 50% del HPU máximo. Una rebaja mayor afectaría negativamente al Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) “Estuario del Río Guadiaro” , situado aguas abajo de este tramo. Se establece este régimen transitorio hasta que se hayan realizado las actuaciones necesarias para corregir los déficits estivales.

SUBSISTEMA I-3

Guadalmansa, Guadalmina y Guadaiza: Para los trasvases de los ríos Guadalmansa, Guadalmina y Guadaiza, la propuesta final corresponde al escenario en el que se hayan construido las infraestructuras previstas de desalación y reutilización, ya esté plenamente operativo un sistema de gestión mancomunado de los recursos y se haya corregido la sobreexplotación de los acuíferos.

Entretanto, se propone un régimen transitorio que consiste en limitar los caudales ecológicos en el periodo invernal a los correspondientes al 50% del HPU máximo.

La Concepción: El régimen propuesto resulta de rebajar el obtenido por métodos hidrológicos de modo que esté por encima del 50% del HPU máximo, salvo los meses de verano, en los que coincide con dicho valor. Esta propuesta final corresponde al escenario en el que se hayan construido las infraestructuras previstas de desalación y reutilización, ya esté plenamente operativo un sistema de gestión mancomunado de los recursos y se haya corregido la sobreexplotación de los acuíferos. Transitoriamente se propone un régimen equivalente al 50% del HPU máximo, salvo en los meses estivales, en los que se adopta el hidrológico, cuyo valor mínimo es el 30% del HPU máximo, pues se trata de una masa muy alterada hidrológicamente. El tramo está situado en el LIC fluvial "Río Verde", pero este régimen, al estar en la actualidad el cauce desconfigurado, no va a cubrir las necesidades ecológicas del tramo en su estado actual.

SUBSISTEMA I-4

La Encantada: Dada la grave problemática de déficit aguas abajo de los embalses del Guadalhorce, se propone para la presa de la Encantada un régimen de caudales ecológicos transitorio que equivale al 50% del HPU máximo (se trata de un LIC fluvial) a la espera de la realización de las distintas actuaciones planificadas para corregir el actual desequilibrio en los balances (corrección de vertidos salinos, reutilización en riegos agrícolas, etc.).

Casasola: Aguas abajo del embalse de Casasola, al igual que en los otros dos tramos de la cuenca del Medio-Bajo Guadalhorce, se propone un régimen transitorio reducido, pero en este caso equivale al 30% del HPU máximo, al tratarse de una masa de agua muy modificada por alteración de su régimen hidrológico sin ninguna figura de protección. Además, para que el régimen sea realmente efectivo, sería necesaria la restauración del cauce (fuertemente desestabilizado) para devolverle su morfología natural.

Azud de Aljaima: Por idénticas razones, se hace también una propuesta transitoria de caudales ecológicos aguas abajo del azud de Aljaima.

El Limonero: A pesar de tratarse de un tramo encauzado de muy reducido potencial ambiental, cuenta con uso potencial en ocio y una problemática de vertidos residuales descontrolados y malos olores, por lo que se propone un caudal mínimo que cumpla funciones estéticas e higiénicas. Este régimen podrá ser revisado en función de evaluaciones posteriores de la calidad del agua circulante en el

periodo de estiaje, así como de la propia eficacia de los vertidos desde la presa para cumplir con los objetivos perseguidos, ya que podría suceder que la totalidad de los caudales liberados se infiltren en el acuífero aluvial, en cuyo caso habría que reconsiderar la pertinencia de establecer un régimen de caudales ecológicos mínimos en la presa.

SUBSISTEMA II-1

Benamargosa: Al igual que en otros sectores, éste presenta en la actualidad una cierta insuficiencia de recursos hídricos disponibles, por lo que se propone un régimen transitorio equivalente al obtenido por métodos hidrológicos, pero suprimiendo la posibilidad de trasvases en el periodo de verano. La aplicación efectiva de este régimen de caudales ecológicos requerirá de una actuación para restituir el dique a su estado inicial mediante la limpieza de los aterramientos.

Vélez y Bajo Guaro: Para el río Vélez-Guaro en sus dos emplazamientos, el primero aguas abajo de la presa de La Viñuela y el segundo tras la confluencia de los afluentes de la margen izquierda, al tratarse de una masa muy modificada por alteración de su régimen hidrológico y en un sector que en la actualidad presenta una cierta insuficiencia de recursos disponibles, se propone, a la espera de que se lleven a cabo las actuaciones necesarias para resolver esta problemática, un régimen transitorio que se corresponde con el 30% del HPU máximo, salvo en los meses de verano. En dichos meses, el caudal vertido desde el embalse de La Viñuela sería nulo, al tratarse de un curso de agua temporal, mientras que en las presas de derivación de los afluentes de la margen izquierda se interrumpirían los trasvases (al igual que desde las presas del Benamargosa). Por otra parte, también en este caso el estado de aterramiento actual de los diques de derivación impide la aplicación efectiva de cualquier régimen de caudales ecológicos, por lo que se hace necesario realizar actuaciones de limpieza de acarreo para restituir estas obras a su estado inicial.

SUBSISTEMA III-2

Poqueira: Se trata de un tramo afectado fundamentalmente por aprovechamientos hidroeléctricos y situado en el LIC "Sierra Nevada", por lo que el régimen propuesto se corresponde con el 80% del HPU máximo, no pudiéndose derivar cuando los caudales circulantes por el río se sitúen por debajo de este valor. La implantación de dicho régimen y del que se establezca para la masa situada aguas arriba (Central Poqueira) requerirá la revisión de los términos concesionales de los aprovechamientos hidroeléctricos para incorporar los consiguientes condicionados ambientales.

Trevélez: Para el río Trevélez, al tratarse de una masa situada en un espacio protegido (LIC "Sierra Nevada"), la propuesta se sitúa entre el 50% y el 80% del HPU máximo. Dicho régimen se establece para el punto de derivación de la acequia real de Cástaras, por la que se conducen los caudales para el abastecimiento urbano del sistema de la Contraviesa, y que se localiza en el límite del Parque Nacional Sierra Nevada, y deja por otro lado un margen de caudales disponibles durante el periodo de estiaje para los aprovechamientos existentes a lo largo de toda la masa que, en cualquier caso, deberán respetar un caudal mínimo de al menos el 50% del HPU máximo.

Béznar: En el caso del embalse de Béznar, el régimen de caudales ecológicos propuesto (obtenido de adaptar los resultados del régimen hidrológico al 50% del HPU máximo) persigue la conservación de los hábitats ribereños del tramo situado entre el pie de la presa y la cola del embalse de Rules. Dichos caudales ecológicos serían posteriormente regulados en este último.

Rules: Entre la presa de Rules y el azud de Vélez, el régimen de caudales propuesto pretende el no deterioro del ecosistema fluvial, en la actualidad bien conservado, así con el mantenimiento de los valores de este tramo para usos recreativos. No obstante, además de dichos caudales, se ha previsto el vertido desde la presa de un caudal de saturación del aluvial equivalente a 20 hm³ al año, evaluación que procede del proyecto de la obra de regulación y que deberá ser revisado mediante aforos diferenciales para determinar el régimen definitivo de vertidos desde el embalse necesario para la implantación de los caudales ecológicos.

Azud de Vélez: Para el Guadalfeo aguas abajo del azud de Vélez se propone un régimen de caudales ecológicos mínimos situado entre el 30% y el 50% del HPU máximo, pues se trata de un tramo alterado hidrológicamente sin ninguna figura de protección.

SUBSISTEMA III-4

Benímar: Los caudales ecológicos aguas abajo de las Fuentes de Marbella se encuentran en la actualidad plenamente garantizados por las cuantiosas fugas desde el embalse, que resurgen en dicho manantial. La implantación de un régimen de vertidos desde la presa con fines ambientales en el tramo intermedio se consideraba no viable en los ciclos de planificación hidrológica anteriores, por la crítica situación deficitaria del subsistema III-4 y, sobre todo, por la reducción de la capacidad del embalse como consecuencia de las limitaciones al nivel para evitar problemas de inestabilidad en las laderas del propio embalse unido a la problemática de filtraciones.

SUBSISTEMA IV-1

Canjáyar: El régimen de caudales ecológicos mínimos se sitúa entre el 80% y el 50% del HPU máximo, si bien dada la fuerte presión extractiva durante el periodo de estiaje, se establece un régimen transitorio en el periodo junio a septiembre, durante el que se hace equivaler al 30% del HPU máximo.

SUBSISTEMA V-2

Cuevas de Almanzora: El carácter totalmente artificial del tramo encauzado desde el pie de presa hasta la desembocadura del río en el mar permite descartar el interés de establecer un régimen de flujo con fines ambientales en dicho tramo, circunstancia a la que se le añade el hecho de que el embalse de Cuevas de Almanzora permanezca desde hace casi diez años fuera de servicio por la ausencia total de reservas.

6.1.2 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÁXIMOS

El régimen de máximos se calculó en aquellas masas situadas aguas abajo de infraestructuras hidráulicas que tienen capacidad de regulación. Este régimen se definió para dos periodos hidrológicos:

- Periodo húmedo: de noviembre a abril, salvo para las masas del sistema III-2, que por tener un régimen nival (debido al deshielo de las cumbres de Sierra Nevada) se considera de diciembre a junio.
- Periodo seco: de mayo a octubre, salvo para las masas del sistema III-2, que por tener un régimen nival se considera de julio a noviembre.

La Figura nº 13 muestra la localización de las masas de agua estratégicas de la demarcación y en la Tabla nº 2 se incluye la propuesta de régimen de caudales máximos en dichas masas.

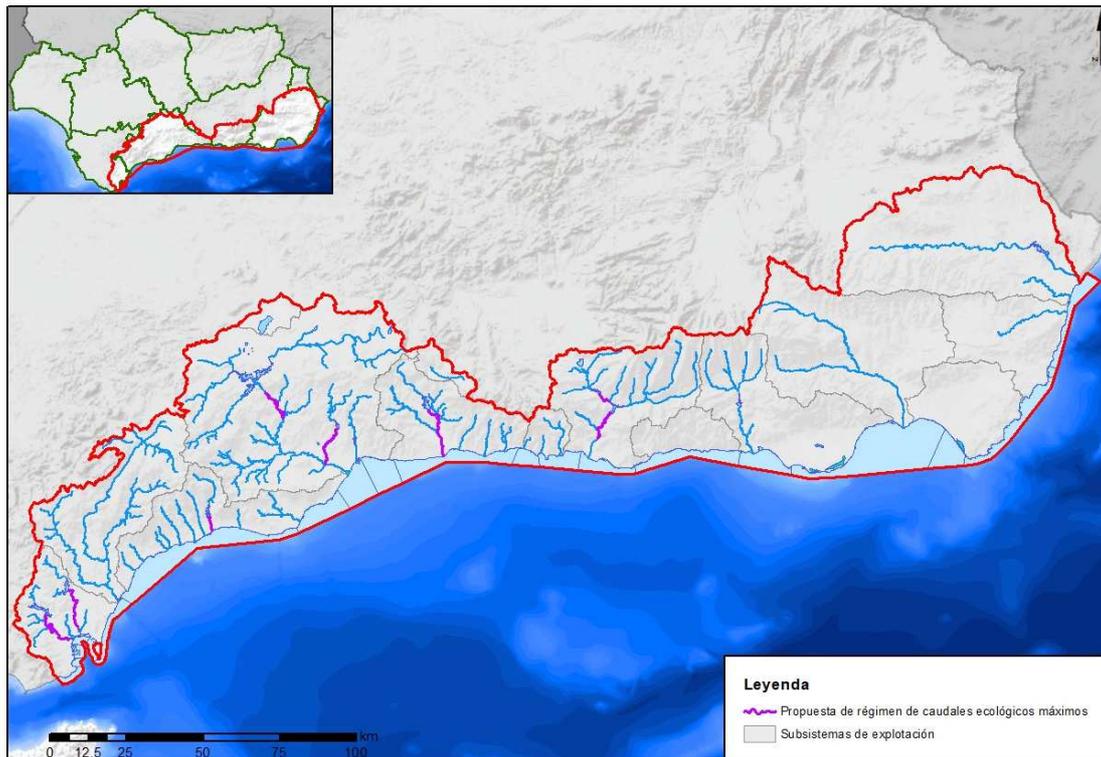


Figura nº 13. Masas de agua con propuesta de régimen de caudales ecológicos máximos

Subsistema	Masa de agua		Infraestructura de regulación	P 90 (m³/s)		Régimen de máximos (m³/s)	
	Código	Nombre		Periodo húmedo	Periodo seco	Periodo húmedo	Periodo seco
I-1	ES060MSPF06 11050	Bajo Palmones	Presa de Charco Redondo	5,54	0,39	5,5	5,5
	ES060MSPF06 11110Z	Medio y Bajo Guadarranque	Presa de Guadarranque	4,06	0,05	4,1	4,1
I-3	ES060MSPF06 13140	Bajo Verde de Marbella	Presa de la Concepción	8,92	1,00	8,9	8,9
I-4	ES060MSPF06 14150A	Guadalhorce entre Jévar y Grande	Presa de La Encantada	15,46	3,75	15,5	3,8
	ES060MSPF06 14200	Bajo Campanillas	Presa de Casasola	4,08	0,17	4,1	1,3
II-1	ES060MSPF06 21070	Vélez y Bajo Guaro	Presa de la Viñuela	4,85	0,90	4,9	0,9

Subsistema	Masa de agua		Infraestructura de regulación	P 90 (m ³ /s)		Régimen de máximos (m ³ /s)	
	Código	Nombre		Periodo húmedo	Periodo seco	Periodo húmedo	Periodo seco
III-2	ES060MSPF0632130A	Ízbor entre Béznar y Rules ⁴	Presa de Béznar	3,40	2,75	3,4	3,4
	ES060MSPF0632150A	Bajo Guadalfeo ⁵	Presa de Rules	15,73	6,07	13,5	13,5

Tabla nº 2. Propuesta de régimen de caudales máximos

Este régimen de máximos no deberá ser superado durante la operación y gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas, no siendo de aplicación en las operaciones para mantenimiento y garantizar la seguridad en las presas.

6.1.3 RÉGIMEN DE CRECIDAS

El régimen de crecidas se estimó aguas abajo de los embalses de la DHCMA, calculándose para los distintos periodos de retorno su magnitud, duración, frecuencia y tasa de cambio.

En la Tabla nº 3 se recoge la propuesta de régimen de crecidas en las masas de agua estratégicas de la demarcación.

⁴ El tramo no reúne condiciones para los alevines en el periodo seco, por lo que se le pone la misma limitación que para el periodo húmedo (juveniles). Según la validación biológica, admitiría valores sensiblemente superiores.

⁵ El tramo no reúne condiciones para los alevines en el periodo seco, por lo que se le pone la misma limitación que para el periodo húmedo (juveniles). Según la validación biológica, admitiría valores sensiblemente superiores.

Sistema / Subsistema	Masa de agua	Código	Infraestructura	Frecuencia (años)	Magnitud			Duración media (días)	Estacionalidad	Tasa máxima de cambio	
					Caudal punta (m³/s)	Volumen total (hm³)	% apo. natural			Ascendente (m³/s/día)	Descendente (m³/s/día)
I-1	Bajo Palmones	ES060MSPF0611050	Presa de Charco Redondo	T = 5,5	50,1	9,6	28,7%	4	Dic - Ene	34,7	-24,2
	Medio y Bajo Guadarranque	ES060MSPF0611110Z	Presa de Guadarranque	T = 5,5	54,3	10,7	40,4%	7	Dic - Feb	50,1	-31,1
I-3	Bajo Verde de Marbella	ES060MSPF0613140	Presa de La Concepción	T = 5,5	38,9	11,7	17,1%	5	Nov - Mar	9,1	-8,0
I-4	Guadalhorce entre Tajo de la Encantada y Jévar	ES060MSPF0614150A	Presa de La Encantada	T = 5,5	82,3	24,7	17,5%	7	Ene - Mar	57,8	-27,9
	Bajo Campanillas	ES060MSPF0614200	Presa de Casasola	T = 5,5	27,5	4,4	16,2%	4	Oct - Feb	14,2	14,7
II-1	Vélez y Bajo Guaro	ES060MSPF0621070	Presa de La Viñuela	T = 5,5	12,5	2,9	5,6%	4	Ene - May	7,8	-5,2
III-2	Ízbor entre Béznar y Rules	ES060MSPF0632130A	Presa de Béznar	T = 5,5	8,6	2,5	4,1%	6	Sep - Jun	4,1	-3,7
	Bajo Guadalfeo	ES060MSPF0632150A	Presa de Rules	T = 5,5	40,3	12,5	6,7%	4	Nov - Feb	7,0	-3,7
III-4	Adra entre presa y Fuentes de Marbella	ES060MSPF0634070A	Presa de Benínar	T = 6,5	12,2	3,7	11,2%	5	Sep - May	2,7	-7,2

Tabla nº 3. Propuesta de régimen de crecidas

Dado que dichas crecidas se definen para mantener un cauce bien conformado, solo es necesario generarlas si se superase el periodo indicado sin que de manera natural o artificial haya discurrido un evento de magnitud equivalente o superior aguas abajo de la presa.

En el caso del embalse de Casasola, dada su reducida capacidad y que el objetivo principal de su construcción fue precisamente la protección del Bajo Guadalhorce frente a sus violentas avenidas (para lo cual se mantiene de manera permanente una amplia reserva para laminación), además de ser el Bajo Campanillas una masa muy modificada por alteración de su régimen hidrológico, se opta por fijar como régimen de crecidas el que resulta del análisis para un periodo de retorno de 2 años, aunque generando tales eventos con la periodicidad correspondiente al de 5,5.

Para la presa de Benínar, a la espera del resultado de las actuaciones previstas para estabilizar las laderas, mejorar la estanqueidad del vaso del embalse y reducir sus cuantiosas fugas, se establece como régimen transitorio de crecidas el consistente en la generación de eventos de características análogas al propuesto como régimen definitivo, pero introduciendo como factor adicional condicionante de su periodicidad el que el estado de las reservas embalsadas supere los 22,9 hm³ (cota 342).

Respecto a los trasvases internos, la política a seguir en los que se realizan al embalse de La Concepción consistire en que cada año, de forma alterna, cada una de las presas de derivación interrumpiera los trasvases durante el periodo de aguas altas, de modo que el río aguas abajo funcione en régimen natural durante dicho periodo, permitiendo así la conservación de las características morfológicas del cauce. Idéntica política debería aplicarse para los trasvases a La Viñuela, si bien en éstos, además de mantener los desagües de fondo permanentemente abiertos durante dichos periodos, sería necesaria la instalación de compuertas en las tomas de derivación para permitir su cierre temporal.

6.1.4 RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS DURANTE SEQUÍAS PROLONGADAS

Para algunas masas de agua se consideró necesario definir un régimen de caudales menos restrictivo durante sequías prolongadas. Este régimen menos exigente se aplica en 19 de los 22 puntos que cuentan con un régimen de caudales ecológicos.

En la Figura nº 14 se muestran las masas de agua superficial de categoría río que cuentan con un régimen de caudales durante sequías prolongadas. De forma general, se ha fijado directamente como

tope mínimo de caudales en situaciones de sequía prolongada el valor correspondiente al 30% del HPU máximo, umbral que sube hasta el 50% en los tramos incluidos en la Red Natura 2000.

Este régimen menos restrictivo será vigente solo una vez decretada la situación de sequía prolongada, según el criterio establecido en los planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía, elaborados por los organismos de cuenca en cumplimiento del artículo 27 de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.

En los tramos protegidos será de aplicación la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento, de acuerdo con lo establecido por la normativa vigente.

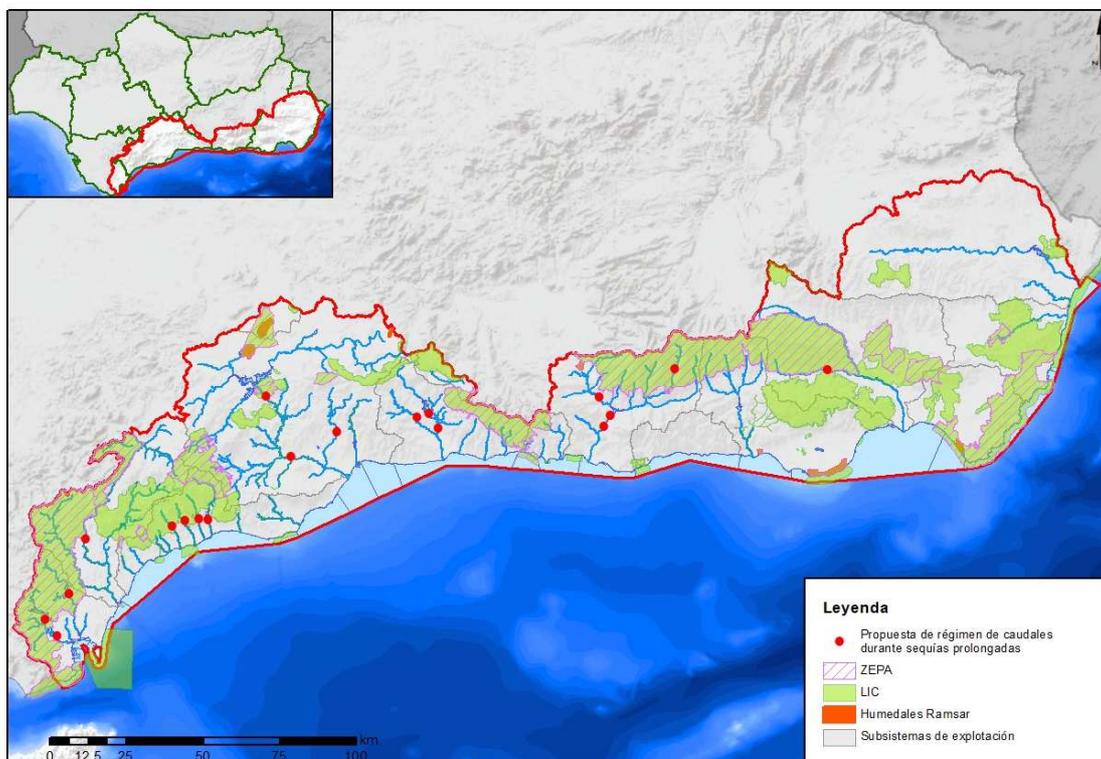


Figura nº 14. Tramos con propuesta de régimen de caudales durante sequías prolongadas

En la Tabla nº 4 se incluye dicha propuesta.



Subsistema	Masa de agua		Lugar	Régimen de caudales durante sequías prolongadas (m ³ /s)													
	Código	Nombre		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media anual	% Nat
I-1	ES060MSPF 0611050	Bajo Palmones	Presa de Charco Redondo	0,01	0,13	0,20	0,20	0,20	0,17	0,11	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,09	8%
			Aguas abajo de afluentes	0,01	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,11	4%
	ES060MSPF 0611110Z	Medio y Bajo Guadarranque	Presa de Guadarranque	0,05	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	4%
I-2	ES060MSPF 0612062	Bajo Guadiaro	San Pablo Buceite (EA 6060)	0,30	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,48	4%
I-3	ES060MSPF 0613062	Bajo Guadalmanza	Presa de derivación*	0,13	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,16	0,15	0,09	0,07	0,08	0,15	26%
	ES060MSPF 0613072Z	Medio y Bajo Guadalmina	Presa de derivación*	0,14	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,18	0,17	0,11	0,09	0,09	0,16	26%
	ES060MSPF 0613092Z	Medio y Bajo Guadaiza	Presa de derivación*	0,10	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,09	0,07	0,07	0,12	26%
	ES060MSPF 0613140	Bajo Verde de Marbella	Presa de La Concepción*	0,15	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,19	0,15	0,12	0,09	0,11	0,19	9%
I-4	ES060MSPF 0614150A	Guadalhorce entre Tajo de la Encantada y Jévar	Presa de La Encantada*	0,30	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,33	7%
	ES060MSPF 0614200	Bajo Campanillas	Presa de Casasola*	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	8%

Subsistema	Masa de agua		Lugar	Régimen de caudales durante sequías prolongadas (m ³ /s)													
	Código	Nombre		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media anual	% Nat
	ES060MSPF 0614210	Bajo Guadalhorce	Azud de Aljaima*	0,55	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,63	7%
II-1	ES060MSPF 0621060	Benamargosa	Salto del Negro (EA 6047)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02	0,05	7%
	ES060MSPF 0621070	Vélez y Bajo Guaro	Presa de La Viñuela*	0,06	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,00	0,00	0,00	0,08	5%
			Aguas debajo de afluentes MI*	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,03	0,01	0,01	0,12	5%
III-2	ES060MSPF 0632040A	Medio Trevélez	Azud Trevélez	0,10	0,10	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,10	0,10	0,10	0,22	19%
	ES060MSPF 0632130A	Ízbor entre Béznar y Rules	Presa de Béznar	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,08	0,08	0,06	3%
	ES060MSPF 0632150A	Bajo Guadalfeo	Presa de Rules	0,15	0,15	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,15	0,15	0,15	0,24	4%
			Azud de Vélez	0,15	0,15	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,15	0,15	0,15	0,24	4%
IV-1	ES060MSPF 0641020	Medio y Bajo Canjáyar	Canjáyar	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	11%

* Coincidente con el régimen transitorio establecido en la propuesta de mínimos

Tabla nº 4. Propuesta de régimen de caudales durante sequías prolongadas

6.2 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS

Los estudios realizados para los lagos y zonas húmedas seleccionados comprenden fundamentalmente dos apartados:

- Caracterización del lago o zona húmeda: climatología, geología, vegetación y fauna, valores ecológicos más relevantes y un análisis del funcionamiento hidrológico e hidrogeológico del lago.
- Estimación de las necesidades hídricas del humedal. Fundamentalmente, se ha tratado de establecer una relación entre las diferentes especies vegetales de la orla del lago, especialmente de aquellas con especial relevancia ecológica y alto grado de protección, y el mantenimiento de unas determinadas condiciones de superficie inundada y/o altura de la lámina de agua durante los períodos de tiempo en los que la vegetación presenta un estadio más sensible. Se concluye con una propuesta de umbral de altura de lámina o superficie encharcada que no debe ser rebasado en aras de la protección de la vegetación estudiada.

El acercamiento de la planificación hidrológica a esta materia pretende aportar también directrices para la mejor gestión de estas áreas singulares. En consecuencia, los estudios centran en la aportación de sugerencias de índole práctica para aumentar los valores ambientales intrínsecos a los lagos y humedales.

6.2.1 SELECCIÓN DE LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS

Para la selección de lagos y humedales en los que determinar sus necesidades hídricas partió del total de 39 lagos y humedales recogidos en el Registro de Zonas Protegidas de la DHCMA durante el primer ciclo de planificación hidrológica. Posteriormente, se procedió a excluir aquellos que incumplen los criterios indicados en el apartado 5.2.1 de este Anejo. Por último, se seleccionó el nivel de detalle en los estudios y el momento su realización.

En la Tabla nº 5 se muestran los resultados generales del proceso de selección de humedales.



Humedales		Nº
Humedales de partida		39
Humedales excluidos previamente:		7
<i>Humedales artificiales</i>		2
<i>Humedales que no alcanzan el tamaño mínimo (2 ha)</i>		5
Humedales ligados a otras masas de agua superficial distintas de lagos		7
Humedales para estudio	<i>M1-T1</i>	13
	<i>M1-T2</i>	7
	<i>M2-T1</i>	3
	<i>M2-T2</i>	2
	Total	25

Tabla nº 5. Resultados generales del proceso de selección de humedales

El listado de humedales sujetos al estudio de sus necesidades hídricas clasificados según el momento de realización y nivel de profundidad en los estudios es el que se muestra en la Tabla nº 6.

Clase	Humedal	Masa de agua		Provincia
M1-T1	Turberas de Padul	ES060MSPF0632510	Turberas del Padul	Granada
	Albufera Honda	ES060MSPF0643500	Albufera de Adra	Almería
	Albufera Nueva	ES060MSPF0643500	Albufera de Adra	Almería
	Laguna de las Camuñas	ES060MSPF0614500	Complejo Lagunar de Campillos	Málaga
	Laguna de Capacete	ES060MSPF0614500	Complejo Lagunar de Campillos	Málaga
	Laguna de Cerero	ES060MSPF0614500	Complejo Lagunar de Campillos	Málaga
	Laguna Dulce	ES060MSPF0614500	Complejo Lagunar de Campillos	Málaga
	Laguna Salada	ES060MSPF0614510	Laguna Salada de Campillos	Málaga
	Laguna de Cortijo Grande			Málaga
	Laguna de Toro			Málaga
	Laguna de Fuente de Piedra	ES060MSPF0615500	Laguna de Fuente de Piedra	Málaga
	Laguna de Cantarranas			Málaga
Laguneto del Pueblo			Málaga	
M1-T2	Laguna Redonda	ES060MSPF0614500	Complejo Lagunar de Campillos	Málaga
	Laguna de la Marcela			Málaga
	Cañada de las Norias			Almería
	Charca de Suárez			Granada
	Laguna de los Prados			Málaga
	Laguna del Chaparral			Málaga



Clase	Humedal	Masa de agua	Provincia
	Laguna de la Herrera		Málaga
M2-T1	Lagunas de Alta Montaña de Sierra Nevada	ES060MSPF0632500 Laguna de la Caldera	Granada
	Laguna Grande	ES060MSPF0614520 Lagunas de Archidona	Málaga
	Laguna Chica	ES060MSPF0614520 Lagunas de Archidona	Málaga
M2-T2	Laguna de Caja		Málaga
	Laguna del Viso		Málaga

Tabla nº 6. Humedales seleccionados clasificados según el momento de estudio y nivel de detalle

Algunos de los humedales clasificados en la clase M1-T1 forman parte de complejos que presentan problemáticas y características funcionales muy similares. Con la finalidad de profundizar mejor en los estudios de modelización, se realizó una agrupación y selección entre los mismos para desarrollar un análisis con mayor detalle. Los resultados así obtenidos serán extrapolados a los humedales restantes de cada complejo.

La selección de humedales M1-T1 objeto de un estudio de mayor detalle se muestra en la Tabla nº 7 y la Figura nº 15. Para su selección, se han empleado los siguientes criterios:

- Importancia ecológica del humedal en el contexto del complejo de humedales
- Información disponible
- Figuras de protección
- Representatividad de los diferentes tipos de humedales

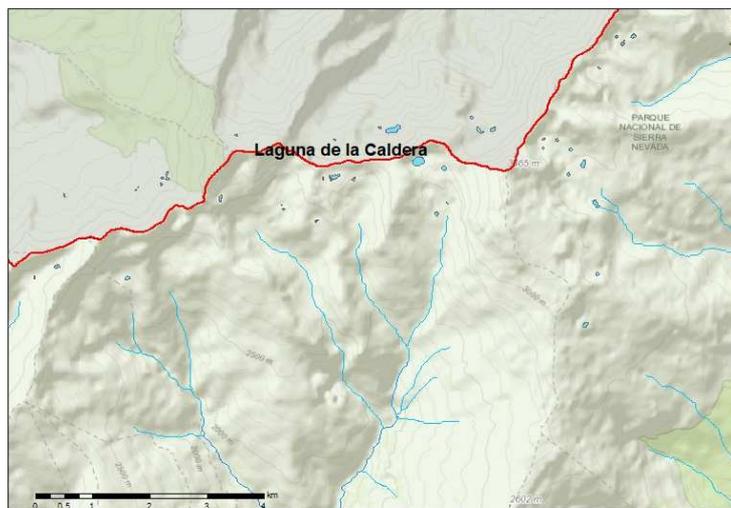
Zona húmeda	Estudios en detalle
Fuente de Piedra	Laguna de Fuente de Piedra
Albufera de Adra	Albufera Honda
Campillos	Laguna Dulce
	Laguna Salada
Turberas de Padul	Turberas de Padul

Tabla nº 7. Nivel de estudios para los humedales de la clase M1-T1



Figura nº 15. Humedales con estudio de detalle de sus necesidades hídricas en el primer ciclo de planificación hidrológica

Por su parte, los trabajos de los humedales clasificados en la clase M2-T1 (Laguna de la Caldera y Lagunas Grande y Chica de Archidona) han sido abordados para la presente revisión y actualización del Plan Hidrológico, a los que se ha incorporado la Laguna Herrera por haber sido designada como masa de agua en el tercer ciclo de planificación hidrológica (Figura nº 16).



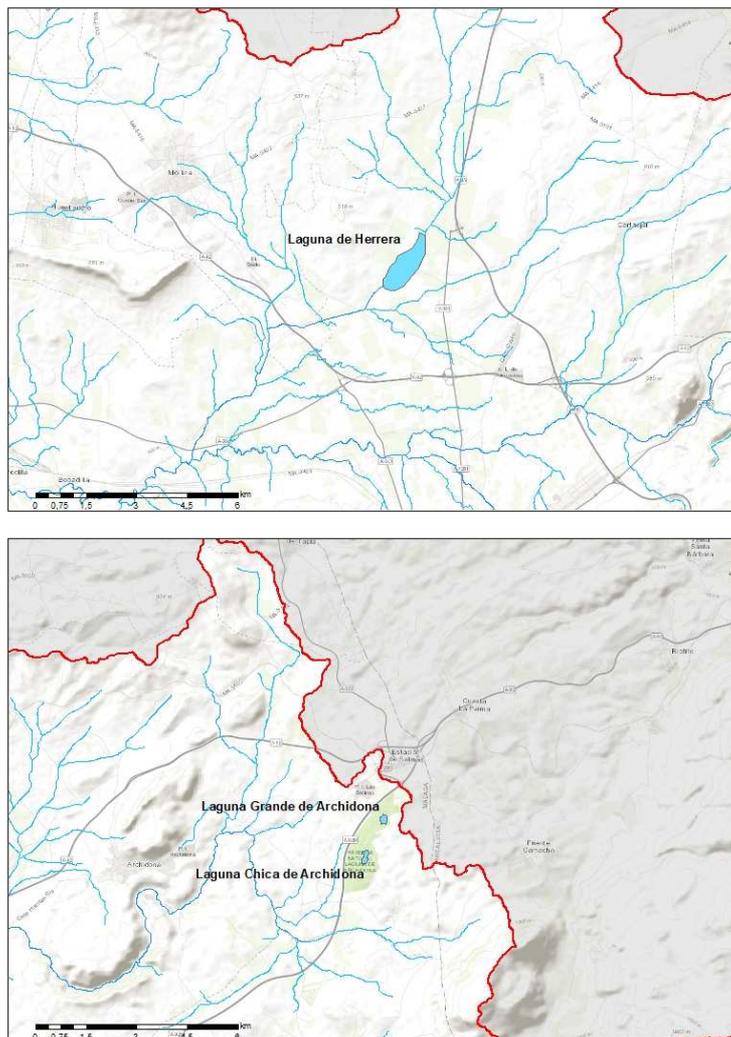


Figura nº 16. Humedales con estudio de detalle de sus necesidades hídricas en el tercer ciclo de planificación hidrológica

En la Figura nº 17 se muestra la localización en la demarcación de todos los humedales con estudio de detalle de sus necesidades hídricas.

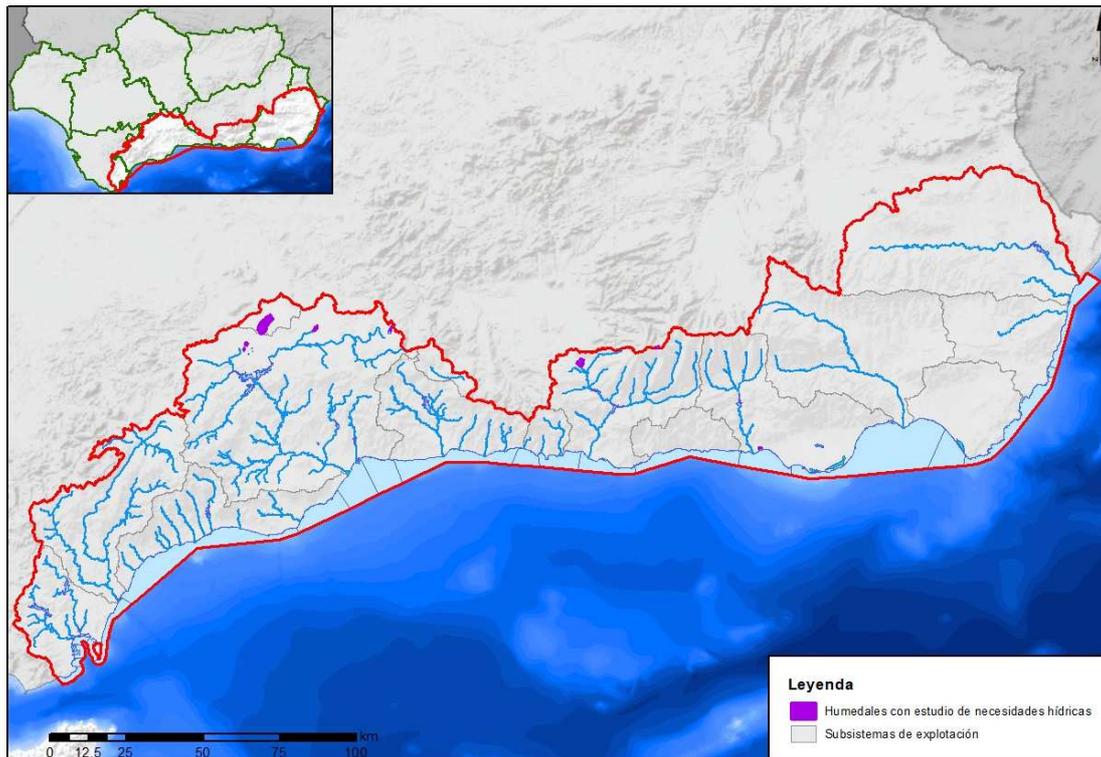


Figura nº 17. Humedales con estudio de necesidades hídricas

6.2.2 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAGOS Y HUMEDALES

Los requerimientos hídricos de los lagos y humedales de la DHCMA se han estimado en aquellos seleccionados para la realización de estudios de detalle de sus necesidades, que son un total de 9, de los cuales 4 se han incorporado en la presente revisión y actualización del Plan Hidrológico y cuyos trabajos de detalle se incluyen en el Apéndice V.1 a este anejo.

En las siguientes tablas (Tabla nº 8 a Tabla nº 14) se recoge dicha estimación, bien en volumen bien en niveles de la lámina de agua, diferenciando entre distintos años tipo (seco, medio y húmedo)



	Laguna Dulce de Campillos (hm ³)			Laguna Salada de Campillos (Dm ³)		
	Año seco	Año medio	Año húmedo	Año seco	Año medio	Año húmedo
Octubre	0,07	0,12	0,32	0,00	0,00	55,76
Noviembre	0,08	0,16	0,39	2,04	17,91	76,99
Diciembre	0,07	0,17	0,45	0,00	28,15	115,07
Enero	0,10	0,20	0,49	4,97	24,90	133,16
Febrero	0,10	0,20	0,50	5,74	35,59	139,14
Marzo	0,10	0,22	0,54	5,06	38,74	150,46
Abril	0,10	0,22	0,50	0,00	31,71	137,89
Mayo	0,09	0,20	0,49	0,00	8,37	111,82
Junio	0,07	0,17	0,39	0,00	0,00	89,28
Julio	0,06	0,13	0,31	0,00	0,00	51,89
Agosto	0,05	0,11	0,25	0,00	0,00	15,40
Septiembre	0,05	0,10	0,21	0,00	0,00	0,00

Tabla nº 8. Necesidades hídricas de las Lagunas de Campillos

	Laguna Grande (Dm ³)			Laguna Chica (Dm ³)		
	Año seco	Año medio	Año húmedo	Año seco	Año medio	Año húmedo
Octubre	128,73	179,82	213,33	9,24	12,63	47,16
Noviembre	131,36	188,59	242,31	8,13	25,80	56,54
Diciembre	142,73	215,12	273,91	18,69	45,32	101,51
Enero	152,40	235,42	278,65	18,21	58,94	119,96
Febrero	151,46	237,58	282,37	21,92	64,10	124,58
Marzo	171,01	238,95	281,95	21,08	68,63	124,45
Abril	160,40	229,59	282,11	17,56	58,31	123,82
Mayo	153,74	222,99	269,95	5,24	51,96	102,72
Junio	143,56	211,49	258,44	0,14	29,59	87,82
Julio	132,91	201,33	249,17	0,00	22,53	79,29
Agosto	123,26	193,14	240,23	0,00	18,18	74,89
Septiembre	117,22	188,10	236,26	0,00	14,88	72,11

Tabla nº 9. Necesidades hídricas de las Lagunas de Archidona



Dm ³	Laguna Herrera		
	Año seco	Año medio	Año húmedo
Octubre	0,00	0,00	0,00
Noviembre	0,00	0,00	317,43
Diciembre	0,00	0,00	1.173,26
Enero	0,00	0,00	1.034,17
Febrero	0,00	0,00	623,95
Marzo	0,00	0,00	0,00
Abril	0,00	0,00	0,00
Mayo	0,00	0,00	0,00
Junio	0,00	0,00	0,00
Julio	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00	0,00
Septiembre	0,00	0,00	0,00

Tabla nº 10. Necesidades hídricas de la Laguna de la Herrera

hm ³	Laguna de Fuente de Piedra		
	Año seco	Año medio	Año húmedo
Octubre	0,12	1,04	9,74
Noviembre	0,24	1,02	9,79
Diciembre	0,45	2,47	11,77
Enero	0,75	4,30	14,56
Febrero	0,92	4,65	14,00
Marzo	0,85	4,63	13,54
Abril	0,62	4,40	14,96
Mayo	0,15	3,48	14,20
Junio	0,00	2,05	12,60
Julio	0,08	0,39	10,70
Agosto	0,00	0,10	8,80
Septiembre	0,07	0,07	7,47

Tabla nº 11. Necesidades hídricas de la Laguna de Fuente de Piedra



Dm ³	Laguna de la Caldera		
	Año seco	Año medio	Año húmedo
Octubre	2,82	20,73	33,43
Noviembre	3,01	27,12	44,11
Diciembre	5,53	27,92	49,43
Enero	5,70	28,16	50,30
Febrero	7,00	34,65	50,58
Marzo	10,21	38,97	57,29
Abril	13,85	43,34	66,33
Mayo	15,47	45,76	59,03
Junio	5,85	37,61	51,03
Julio	1,64	33,34	46,15
Agosto	0,00	30,24	42,86
Septiembre	0,00	22,97	40,95

Tabla nº 12. Necesidades hídricas de la Laguna de la Caldera

c.s.n.m. (m)	Turberas de Padul		
	Año húmedo y medio	Año seco	Sequía prolongada
Octubre	773,6	772,6	771,6
Noviembre	773,6	772,6	771,6
Diciembre	774,0	773,0	772,0
Enero	774,0	773,0	772,0
Febrero	774,0	773,0	772,0
Marzo	773,7	772,7	771,7
Abril	773,7	772,7	771,7
Mayo	773,7	772,7	771,7
Junio	773,4	772,4	771,4
Julio	773,4	772,4	771,4
Agosto	773,4	772,4	771,4
Septiembre	773,6	772,6	771,6

Tabla nº 13. Necesidades hídricas de las Turberas de Padul



Calado (cm)	Albufera Honda de Adra		
	Año seco	Año medio	Año húmedo
Octubre	167-127	171-143	227-194
Noviembre	185-151	227-204	263-235
Diciembre	188-155	256-226	295-273
Enero	206-174	260-232	340-325
Febrero	214-183	280-256	337-319
Marzo	231-202	274-248	326-310
Abril	229-196	282-263	329-317
Mayo	211-174	274-247	315-301
Junio	183-144	258-218	299-279
Julio	150-108	234-188	278-250
Agosto	122-82	206-160	253-217
Septiembre	123-82	187-146	235-196

Tabla nº 14. Necesidades hídricas de la Albufera Honda de Adra

6.3 RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN LAS AGUAS DE TRANSICIÓN

En este apartado incluye un análisis de los diferentes ámbitos estuarinos y zonas de marisma definidas en la demarcación (Figura nº 18), que, en principio, requerirían un estudio del régimen de caudales ecológicos.

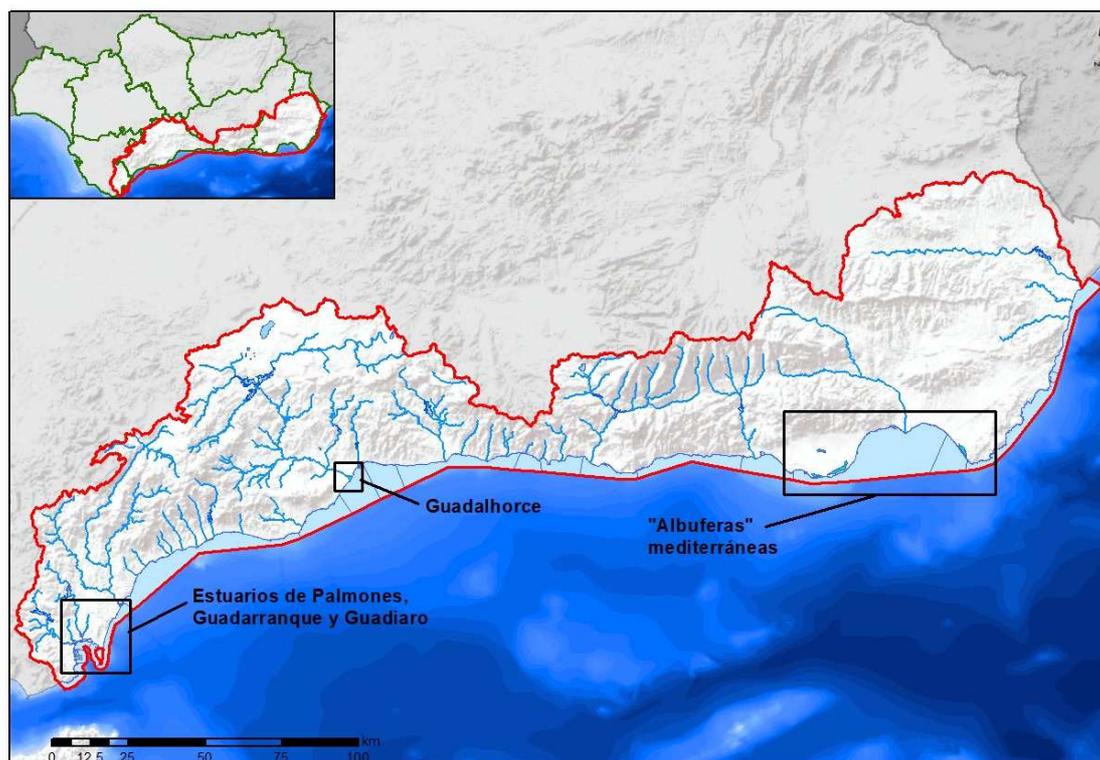


Figura nº 18. Ámbitos estuarinos y zonas de marismas

En primer lugar, se realizó un análisis del aporte de agua dulce que recibe cada uno de estos ámbitos por parte de las aguas continentales. Así, en los casos en los que alguno de los ámbitos reciba de forma muy esporádica aportes de agua dulce, de manera, que la dinámica dominante en el mismo sea la marina la mayor parte del tiempo, no se considera necesario la estimación del régimen de caudales ecológicos puesto que el aporte fluvial no determina, en ningún caso, la dinámica natural del sistema.

Con el fin de conocer la dinámica dominante en las masas de agua de transición andaluzas, se identificaron los aportes de agua dulce que reciben de continentales cada uno de los ámbitos y se estudiaron los datos de salinidad disponibles procedentes de las estaciones de control de calidad de las aguas litorales de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible.

Por otra parte, se analizó la regulación que sufre cada uno de los ámbitos, considerándose innecesario el análisis de caudales ecológicos en aquellas masas donde el régimen actual es similar al natural.

A continuación, se resumen las conclusiones del análisis realizado, que se sintetiza en la Tabla nº 15:



- El **estuario del río Palmones** y su marisma asociada, que recibe aportes del río Palmones (regulado) y en menor medida del Guadacortes, muestra gran variabilidad en los datos de salinidad registrados.
- Igualmente ocurre con el **estuario del río Guadarranque**, donde los valores de salinidad registrados son muy variables. Los principales aportes que recibe este estuario son del río Guadarranque, que está regulado, y del arroyo Madre Vieja.
- El **río Guadiaro**, cuya cuenca no está regulada, presenta, como ocurre en los pequeños estuarios comentados anteriormente, valores de salinidad muy variados en su tramo estuarino. El río sufre, aparte de diferentes captaciones en su curso, una importante detracción de caudal para el trasvase Guadiaro-Majaceite. No obstante, la alteración que suponen no es comparable a los efectos producidos por una infraestructura de regulación.
- En el caso la **desembocadura del río Guadalhorce**, la zona abarca una serie de lagunas de variadas características morfológicas y morfométricas y que se mantienen permanentemente inundadas por afloramiento de aguas subterráneas asociadas al acuífero detrítico del delta y su cauce fluvial (el río Guadalhorce). El hidoperíodo de este complejo está relacionado con el régimen micromareal y las infiltraciones del río, al ser el acuífero que las alimenta un acuífero costero. La salinidad de las aguas en las distintas lagunas de este complejo varía en función de su situación relativa respecto al litoral y al río.
- Los **Charcones de Punta Entinas** constituyen un humedal de aguas salobres que reciben también aportes endorreicos subterráneos e infiltraciones marinas. El aporte de escorrentía superficial es escaso, ya que su cuenca está poco jerarquizada por la escasa pendiente y la alteración morfológica provocada por la construcción de invernaderos.
- La **Salina de los Cerrillos** abarca una serie de terrenos inundables que reciben también aportes endorreicos subterráneos e infiltraciones marinas. La masa contiene una salina que ocupa casi toda su superficie, actualmente sin explotar, a la que se bombeaba agua directamente del mar.
- Finalmente, la situación litoral de las **Salinas de Cabo de Gata**, en una cota inferior a la del mar, es su característica hidrográfica más relevante, permitiendo la entrada directa de agua marina por gravedad y dirigida por los vientos dominantes de poniente.



Masa de agua		Modificada regulación	Masa continental aguas arriba	Embalse aguas arriba
Código	Nombre			
ES060MSPF610027	Estuario del Guadarranque	Si	ES060MSPF0611130 Bajo Guadarranque ES060MSPF0611120 La Madre Vieja	Embalse de Guadarranque
ES060MSPF610028	Estuario del Guadiaro	No	ES060MSPF0612062 Bajo Guadiaro	No
ES060MSPF610029	Marismas del Palmones	Si	ES060MSPF0611050 Bajo Palmones ES060MSPF0611060 Guadacortes	Embalse de Charco Redondo
ES060MSPF610033	Charcones de Punta Entinas	No	No	No
ES060MSPF610034	Salinas de los Cerrillos	No	No	No
ES060MSPF610035	Albufera del Cabo de Gata	No	No	No
ES060MSPF610036	Desembocadura del Guadalhorce	No	ES060MSPF0614220 Desembocadura del Guadalhorce	Embalses del Guadalhorce, muy aguas arriba de la zona estuarina

Tabla nº 15. Resumen del análisis de ámbitos estuarinos y zonas de marismas

Los humedales Charcones de Punta Entinas, Salinas de los Cerrillos y Albufera del Cabo de Gata son, por tanto, principalmente salinos, recibiendo escasos aportes de agua dulce.

A la vista de lo anterior, se resumen en la Tabla nº 16 las masas de agua de transición de la DHCMA que finalmente requerirían un análisis del régimen de caudales ecológicos.

Masa de agua	
Código	Nombre
610029	Marismas del Palmones
610027	Estuario del Guadarranque
610028	Estuario del Guadiaro
610036	Desembocadura del Guadalhorce

Tabla nº 16. Masas de agua de transición que requieren un análisis del régimen de caudales ecológicos

Como se ha comentado, las “albuferas” mediterráneas Salina de los Cerrillos, Charcones de Punta Entinas y la albufera de Cabo de Gata son zonas de transición donde no se considera oportuno el planteamiento de un posible cálculo de régimen de caudales ecológicos por las razones ya expuestas.



Por otra parte, respecto al resto de estuarios definidos en la demarcación en los que sí se requeriría un régimen de caudales ecológicos, los modelos necesarios, además de altamente complejos, son muy exigentes en cuanto al número de datos que requieren, frecuencia, grado de detalle y exactitud. Actualmente, ninguno de los ámbitos definidos cuenta con los datos mínimos necesarios para abordar el desarrollo de los modelos explicados (datos de marea, batimetría, avance de la cuña salina, etc.).

Se propone, por tanto, la recopilación de la información y datos mencionados que permita el correcto desarrollo de las metodologías específicas para la determinación del régimen de caudales ecológicos en los ámbitos de transición señalados. Como ejemplo se puede citar la necesidad de realizar campañas de muestreo de salinidad y temperatura con la frecuencia necesaria en diferentes puntos significativos, ubicación de mareógrafos a lo largo de los estuarios donde se den medidas de marea en continuo, campaña batimétrica para rodar el modelo con una geometría real, etc.



7 PROCESO DE CONCERTACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

La implantación de los caudales ecológicos debe desarrollarse conforme a un proceso específico de concertación que tenga en cuenta los usos y demandas actualmente existentes y su régimen concesional, así como las buenas prácticas, de modo que se puedan conciliar los requerimientos ambientales con los usos dentro de cada masa de agua.

El proceso de concertación del régimen de caudales ecológicos tiene como objetivos:

- Valorar su integridad hidrológica y ambiental.
- Analizar la viabilidad técnica, económica y social de su implantación efectiva.
- Proponer un plan de implantación y gestión adaptativa.

La dificultad del proceso es evidente y exige un tratamiento específico, caso a caso, dentro de los procesos de información, consulta pública y participación pública activa, en el que también se ha de poner de manifiesto la necesidad de buscar la compatibilidad para la consecución de los objetivos de planificación establecidos en la legislación de aguas, así como las diferentes oportunidades espaciales y temporales que quepa concebir en cada caso particular. En los casos más complejos, son necesarias mesas de negociación directa con todos los agentes involucrados, tanto de forma sectorial como en un tratamiento conjunto.

En esta fase se realizó, tal y como se ha comentado en los apartados anteriores, una selección de las masas estratégicas, que son aquellas en las que se ha desarrollado el proceso de concertación. En la Tabla nº 17 se recoge el listado de dichas masas y en la Figura nº 19 un mapa de su situación.

Subsistema	Masa de agua		Lugar
	Código	Nombre	
I-1	ES060MSPF0611050	Bajo Palmones	Presa de Charco Redondo
			Aguas abajo de los afluentes
	ES060MSPF0611110Z	Medio y Bajo Guadarranque	Presa de Guadarranque
I-2	ES060MSPF0612061	Guadiaro Buitreras-Corchado	Buitreras (EA 6033)
	ES060MSPF0612062	Bajo Guadiaro	San Pablo Buceite (EA 6060)
I-3	ES060MSPF0613062	Bajo Guadalmanza	Tras trasvase
	ES060MSPF0613072Z	Bajo Guadalmina	Tras trasvase
	ES060MSPF0613092Z	Bajo Guadaiza	Tras trasvase
	ES060MSPF0613140	Bajo Verde de Marbella	Presa de La Concepción

Subsistema	Masa de agua		Lugar
	Código	Nombre	
I-4	ES060MSPF0614150A	Guadalhorce entre Tajo de la Encantada y Jévar	Presas de La Encantada
	ES060MSPF0614210	Bajo Guadalhorce	Azud de Aljaima
	ES060MSPF0614200	Bajo Campanillas	Presas de Casasola
	ES060MSPF0614250	Bajo Guadalmedina	Presas del Limonero
II-1	ES060MSPF0621060	Benamargosa	Salto del Negro (EA 6047)
	ES060MSPF0621070	Vélez y Bajo Guaro	Presas de la Viñuela
	ES060MSPF0621070	Vélez y Bajo Guaro	A. abajo de los afluentes de la M.I.
III-2	ES060MSPF0632040A	Medio Trevélez	Azud Trevélez
	ES060MSPF0632040B	Medio y Bajo Poqueira	Central Pampaneira
	ES060MSPF0632130A	Izbor entre Béznar y Rules	Presas de Béznar
	ES060MSPF0632150A	Bajo Guadalfeo	Presas de Rules Azud de Vélez
III-4	ES060MSPF0634070A	Adra entre presas y Fuentes de Marbella	Presas de Benínar
IV-1	ES060MSPF0641020	Medio y Bajo Canjáyar	Canjáyar (EA 6024)

Tabla nº 17. Masas de agua estratégicas para el proceso de concertación del régimen de caudales ecológicos

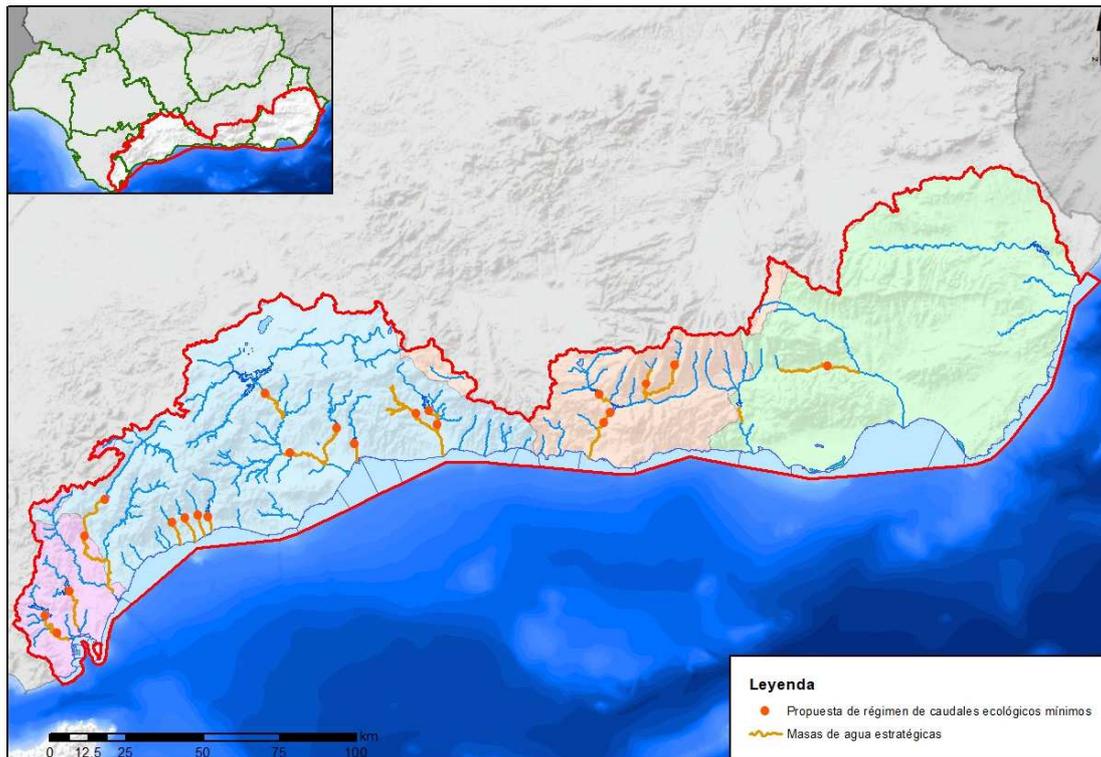


Figura nº 19. Masas de agua estratégicas para la implantación del régimen de caudales ecológicos

Coincidiendo con el periodo de consulta pública del Plan Hidrológico del ciclo 2009-2015, y con la finalidad de concertar el régimen de caudales ecológicos en la demarcación, se realizaron 7 jornadas de trabajo, una interna, con responsables de la Administración, y otras 6 con los afectados en cada sistema de explotación.

El proceso de concertación del régimen de caudales ecológicos se resume en el Anejo XI (Participación Pública) del Plan Hidrológico del ciclo 2009-2015 y se detalla en el trabajo “Establecimiento del régimen de caudales ecológicos en las masas de agua superficial continentales de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas” (Consejería de Medio Ambiente, 2011).

8 REGIONALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS A LA TOTALIDAD DE LAS MASAS DE AGUA DE LA CATEGORÍA RÍO

Tal y como se indica en el apartado 3.4.1.2. de la IPHA, el ámbito espacial para la caracterización del régimen de caudales ecológicos se extenderá a todas las masas de agua superficial clasificadas en la categoría de río.

En la regionalización de resultados a la totalidad de masas de agua de la categoría río se ha tenido en cuenta la clasificación por tipos hidrológicos o hidrorregiones en las que se encuadran, y se han aplicado de forma proporcional los resultados obtenidos en los estudios técnicos siguiendo esta clasificación.

En la Figura nº 20 se incluye un mapa con la clasificación por tipos empleada para la regionalización de resultados.

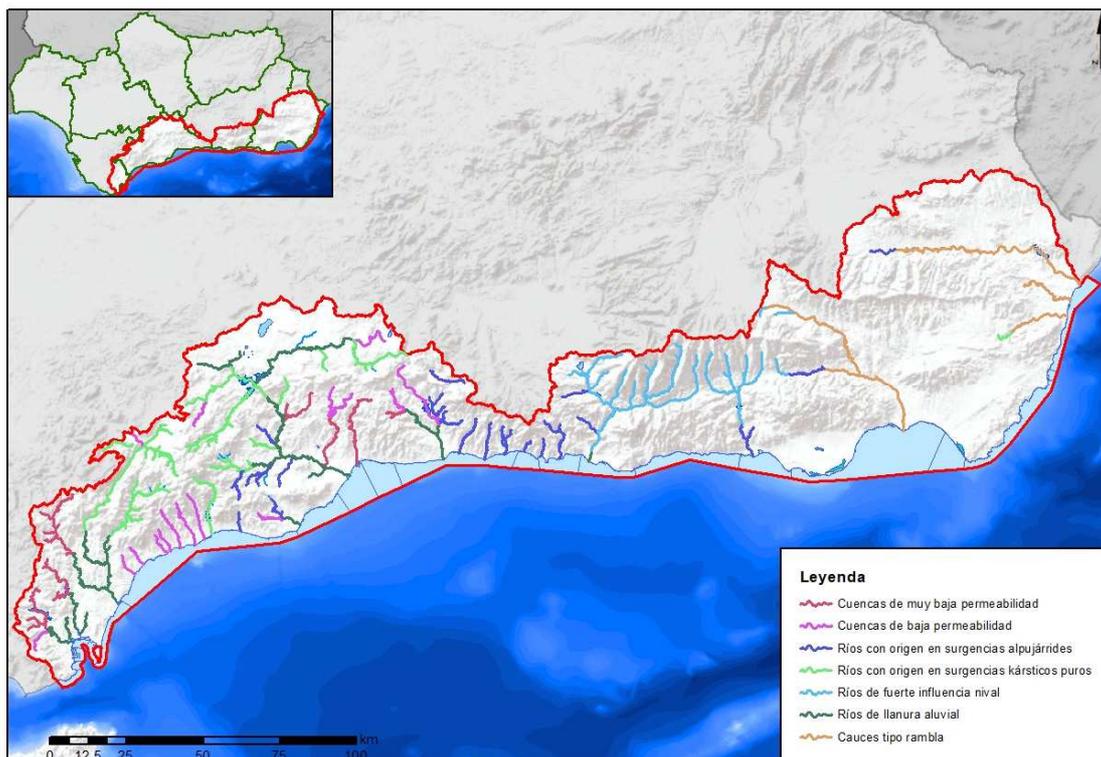


Figura nº 20. Clasificación por tipos hidrológicos

También se tuvo en cuenta el carácter permanente o temporal de las masas de agua de la categoría río, para lo que se han clasificado las mismas en los cuatro tipos que recoge la IPHA:

- Ríos permanentes: cursos fluviales que en, régimen natural, presentan agua fluyendo, de manera habitual, durante todo el año en su cauce.
- Ríos temporales o estacionales: cursos fluviales que, en régimen natural, presentan una marcada estacionalidad, caracterizada por presentar bajo caudal o permanecer secos en verano, fluyendo agua, al menos, durante un periodo medio de 300 días al año.
- Ríos intermitentes o fuertemente estacionales: cursos fluviales que, en régimen natural, presentan una elevada temporalidad, fluyendo agua durante un periodo medio comprendido entre 100 y 300 días al año.
- Río efímeros: cursos fluviales en los que, en régimen natural, tan sólo fluye agua superficialmente de manera esporádica, en episodios de tormenta, durante un periodo medio inferior a 100 días al año.

En la Figura nº 21 se incluye un mapa con la clasificación de los ríos de la DHCMA según su carácter permanente o temporal.

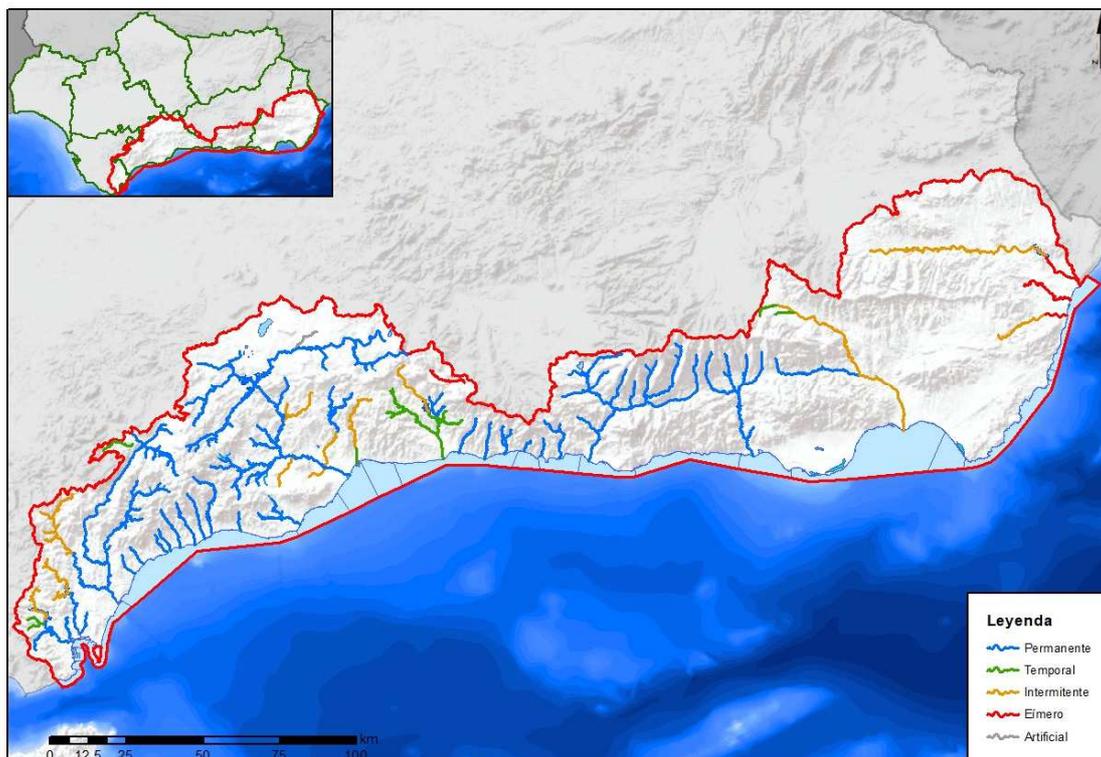


Figura nº 21. Clasificación de los ríos según su carácter permanente o temporal

Hay que destacar que el carácter de intermitente o efímero de la mayoría de las masas de la parte oriental de la demarcación (subsistemas IV-1, V-1 y V-2) viene determinado, no por el caudal que circularía en condiciones naturales, sino por la morfología actual de los cauces.

Para la regionalización se partió de los resultados obtenidos para las masas estratégicas, tanto por métodos hidrológicos como por modelización del hábitat. Además, se contaba con los resultados por métodos hidrológicos y de modelización del hábitat del resto de masas en las que se realizaron estos trabajos, y para las que la propuesta de régimen de caudales ecológicos mínimos se hizo siguiendo la metodología general empleada en las masas estratégicas, ya expuesta en el apartado 5.1.3 de este Anejo. Por último, en el resto de las masas se partió de los resultados por métodos hidrológicos, que se compararon y, según el caso, ajustaron a los resultados obtenidos mediante modelización de hábitat extrapolados a la masa en cuestión.

En el presente ciclo de planificación hidrológica, esta regionalización se ha extendido, siguiendo la misma metodología, a las nuevas masas de agua de la categoría río resultantes de los cambios introducidos en su delimitación. Del mismo modo, se ha incorporado un régimen de caudales ecológicos mínimos en la masa de agua ES060MSPF0634070A Adra entre presa y Fuentes de Marbella, en la presa de Benínar, para la que los trabajos planificados de ampliación de la capacidad de desagüe del aliviadero permitirán retomar al menos la cota 342 en incrementar la capacidad actual del embalse. En su definición se ha tenido en cuenta su condición de masa de agua muy alterada hidrológicamente.

En resumen, la extensión de las determinaciones a todas las masas de agua a partir de las obtenidas en las estratégicas se ha llevado a cabo con el apoyo de la clasificación por tipos hidrológicos o hidrorregiones y los estudios por métodos hidrológicos y de modelización del hábitat que se han efectuado en las distintas masas.

En la Tabla nº 18 se recoge la propuesta de régimen de caudales mínimos en todas las masas de agua de la categoría río que no son embalses ni masas de agua artificiales de la DHCMA, en la que aparecen sombreadas en azul las propuestas de las masas estratégicas, y en verde las de otras masas de agua que cuentan con resultados de modelización de hábitat.

Masa de agua		Lugar	Régimen de caudales ecológicos mínimos (m ³ /s)													
Código	Nombre		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media	% Q nat.
ES060MSPF0611010	Alto Palmones	Charco Redondo (EA 6083)	0,016	0,154	0,268	0,186	0,141	0,103	0,079	0,023	0,006	0,000	0,000	0,000	0,08	23%
ES060MSPF0611030	Valdeinfierno-La Hoya	Fin masa	0,175	0,465	0,806	0,506	0,454	0,200	0,140	0,043	0,001	0,001	0,001	0,007	0,23	29%
ES060MSPF0611040	Raudal	Fin masa	0,194	0,498	0,901	0,539	0,500	0,272	0,222	0,096	0,015	0,003	0,001	0,001	0,27	36%
ES060MSPF0611050	Bajo Palmones	Presa de Charco Redondo	0,040	0,130	0,362	0,267	0,214	0,166	0,111	0,064	0,032	0,032	0,032	0,032	0,12	12%
		Aguas abajo afluentes	0,317	0,547	0,883	0,687	0,625	0,463	0,378	0,246	0,080	0,080	0,080	0,080	0,37	14%
		Fin masa	0,350	0,713	1,177	0,822	0,811	0,528	0,406	0,247	0,080	0,080	0,080	0,080	0,45	12%
ES060MSPF0611060	Guadacortes	Fin masa	0,025	0,044	0,060	0,056	0,042	0,037	0,031	0,023	0,010	0,007	0,006	0,006	0,03	14%
ES060MSPF0611080	Alto Guadarranque	Fin masa	0,078	0,177	0,530	0,378	0,318	0,250	0,140	0,080	0,021	0,003	0,000	0,000	0,16	19%
ES060MSPF0611100	Los Codos	Fin masa	0,042	0,095	0,284	0,202	0,170	0,134	0,075	0,043	0,011	0,002	0,000	0,000	0,09	19%
ES060MSPF0611110Z	Medio y Bajo Guadarranque	Presa de Guadarranque	0,045	0,080	0,300	0,230	0,188	0,146	0,080	0,060	0,045	0,045	0,045	0,045	0,11	7%
ES060MSPF0611120	La Madre Vieja	Fin masa	0,045	0,077	0,095	0,090	0,081	0,074	0,065	0,060	0,034	0,026	0,021	0,017	0,06	15%
ES060MSPF0612010A	Alto Guadalquivir	Molino del Cojo (EA 6029)	0,090	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,12	38%
ES060MSPF0612010B	Cabecera Guadiaro	Montejaque (EA 6105)	0,140	0,200	0,270	0,380	0,380	0,400	0,350	0,310	0,260	0,200	0,130	0,120	0,26	26%
ES060MSPF0612020	Gaduarez	Fin masa	0,150	0,400	0,500	0,660	0,480	0,550	0,430	0,340	0,180	0,130	0,060	0,040	0,33	23%
ES060MSPF0612030	Guadiaro Montejaque-Cortes	Buitreras (EA 6033)	0,650	1,440	1,440	1,440	1,440	1,440	1,440	0,650	0,650	0,650	0,650	0,650	1,04	13%
ES060MSPF0612040A	Alto Genal	Puente Jubrique (EA 6058)	0,270	0,440	0,610	1,040	0,890	0,620	0,550	0,450	0,360	0,300	0,230	0,180	0,49	29%
		Gaucín	0,550	1,150	1,590	1,600	1,550	1,080	0,890	0,750	0,510	0,370	0,310	0,300	0,89	28%
ES060MSPF0612040B	Bajo Genal	Fin masa	0,700	1,400	1,860	1,960	1,820	1,250	1,060	0,840	0,550	0,390	0,320	0,340	1,04	28%

Masa de agua		Lugar	Régimen de caudales ecológicos mínimos (m ³ /s)													
Código	Nombre		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media	% Q nat.
ES060MSPF0612050A	Alto Hozgarganta	Jimena de la Frontera (EA 6028)	0,242	0,398	0,600	0,543	0,468	0,431	0,369	0,306	0,090	0,000	0,000	0,000	0,29	13%
ES060MSPF0612050B	Bajo Hozgarganta	Fin masa	0,295	0,505	0,841	0,714	0,585	0,503	0,377	0,233	0,084	0,028	0,017	0,019	0,35	11%
ES060MSPF0612061	Guadiaro Buitreras-Corchado	Buitreras (EA 6033)	0,650	1,440	1,440	1,440	1,440	1,440	1,440	0,650	0,650	0,650	0,650	0,650	1,04	13%
ES060MSPF0612062	Bajo Guadiaro	San Pablo Buceite (EA 6060)	0,630	1,500	2,000	1,950	1,770	1,310	1,160	0,900	0,600	0,410	0,310	0,300	1,07	9%
		San Martín del Tesorillo (EA 6116)	0,740	2,400	3,500	3,400	3,000	2,000	1,710	1,330	0,690	0,400	0,260	0,250	1,64	14%
ES060MSPF0613010	Alto Manilva	Fin masa	0,053	0,109	0,129	0,122	0,101	0,083	0,073	0,060	0,041	0,032	0,029	0,029	0,07	29%
ES060MSPF0613020	Bajo Manilva	Fin masa	0,057	0,119	0,141	0,133	0,110	0,090	0,080	0,065	0,045	0,035	0,032	0,032	0,08	29%
ES060MSPF0613030	Vaquero	Fin masa	0,057	0,117	0,139	0,131	0,109	0,089	0,079	0,065	0,044	0,035	0,031	0,032	0,08	29%
ES060MSPF0613040	Padrón	Fin masa	0,053	0,110	0,131	0,124	0,102	0,084	0,074	0,061	0,041	0,033	0,029	0,030	0,07	29%
ES060MSPF0613050	Castor	Fin masa	0,047	0,097	0,115	0,109	0,090	0,074	0,065	0,054	0,036	0,029	0,026	0,026	0,06	29%
ES060MSPF0613061	Alto Guadalmanza	Fin masa	0,130	0,260	0,300	0,290	0,240	0,190	0,180	0,160	0,150	0,090	0,070	0,080	0,18	31%
ES060MSPF0613062	Bajo Guadalmanza	Presa derivación	0,130	0,260	0,300	0,290	0,240	0,190	0,180	0,160	0,150	0,090	0,070	0,080	0,18	31%
		Fin masa	0,160	0,330	0,380	0,370	0,310	0,240	0,200	0,160	0,120	0,100	0,090	0,090	0,21	29%
ES060MSPF0613071	Alto Guadalmina	Fin masa	0,140	0,290	0,340	0,330	0,270	0,220	0,200	0,180	0,170	0,110	0,090	0,090	0,20	31%
ES060MSPF0613072Z	Medio y Bajo Guadalmina	Presa derivación	0,140	0,290	0,340	0,330	0,270	0,220	0,200	0,180	0,170	0,110	0,090	0,090	0,20	31%
		Fin masa	0,190	0,390	0,450	0,430	0,380	0,280	0,240	0,190	0,130	0,110	0,100	0,110	0,25	30%
ES060MSPF0613091	Alto Guadaiza	Fin masa	0,100	0,210	0,260	0,240	0,200	0,170	0,150	0,140	0,140	0,090	0,070	0,070	0,15	32%

Masa de agua		Lugar	Régimen de caudales ecológicos mínimos (m ³ /s)													
Código	Nombre		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media	% Q nat.
ES060MSPF0613092Z	Medio y Bajo Guadaiza	Presa derivación	0,100	0,210	0,260	0,240	0,200	0,170	0,150	0,140	0,140	0,090	0,070	0,070	0,15	32%
		Fin masa	0,120	0,270	0,310	0,290	0,240	0,190	0,170	0,140	0,100	0,080	0,070	0,080	0,17	31%
ES060MSPF0613110	Cabecera Verde de Marbella	Fin masa	0,110	0,170	0,260	0,210	0,200	0,200	0,180	0,130	0,100	0,080	0,060	0,060	0,15	23%
ES060MSPF0613120	Medio-Alto Verde de Marbella	Fin masa	0,290	0,490	0,700	0,560	0,550	0,510	0,430	0,330	0,240	0,190	0,150	0,160	0,38	23%
ES060MSPF0613140	Bajo Verde de Marbella	Presa de La Concepción	0,150	0,280	0,400	0,360	0,340	0,330	0,260	0,190	0,150	0,150	0,150	0,150	0,24	11%
		Fin masa	0,150	0,280	0,400	0,360	0,340	0,330	0,260	0,190	0,150	0,150	0,150	0,150	0,24	11%
ES060MSPF0613150	Real	Fin masa	0,032	0,083	0,091	0,064	0,058	0,046	0,029	0,017	0,012	0,009	0,009	0,011	0,04	14%
ES060MSPF0613160	Alto y Medio Fuengirola	Confluencia Alaminos y Ojén	0,072	0,108	0,153	0,132	0,110	0,088	0,063	0,040	0,023	0,017	0,017	0,028	0,07	9%
ES060MSPF0613170	Bajo Fuengirola	Fin masa	0,078	0,119	0,167	0,144	0,122	0,098	0,072	0,046	0,028	0,020	0,019	0,030	0,08	9%
ES060MSPF0614021A	Cabecera del Guadalhorce	Fin masa	0,041	0,062	0,096	0,101	0,092	0,079	0,059	0,052	0,041	0,030	0,029	0,035	0,06	16%
ES060MSPF0614021B	Alto Guadalhorce	Bobadilla (EA 6091)	0,180	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,22	9%
ES060MSPF0614021C	Marín (Alto Guadalhorce)	Fin masa	0,024	0,052	0,115	0,136	0,120	0,096	0,061	0,055	0,041	0,032	0,031	0,027	0,07	16%
ES060MSPF0614022	La Villa	Fin masa	0,040	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,05	28%
ES060MSPF0614040A	Serrato	Fin masa	0,126	0,182	0,251	0,209	0,143	0,113	0,100	0,054	0,020	0,009	0,011	0,030	0,10	22%
ES060MSPF0614040B	Guadalteba	Teba (EA 6093)	0,190	0,300	0,390	0,420	0,450	0,370	0,310	0,250	0,180	0,140	0,130	0,150	0,27	22%
ES060MSPF0614050	La Venta	Fin masa (a. ab. Manantial Torrox)	0,031	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,04	7%
ES060MSPF0614070A	Alto Turón	Fin masa	0,171	0,204	0,266	0,200	0,153	0,131	0,119	0,070	0,032	0,021	0,029	0,038	0,12	22%

Masa de agua		Lugar	Régimen de caudales ecológicos mínimos (m ³ /s)													
Código	Nombre		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media	% Q nat.
ES060MSPF0614070B	Medio Turón	Ardales (EA 6011)	0,186	0,340	0,553	0,538	0,570	0,424	0,324	0,237	0,132	0,069	0,056	0,065	0,29	22%
ES060MSPF0614090A	Desfiladero de los Gaitanes	Aguas abajo presas Guadalhorce	0,470	0,590	0,750	0,800	0,790	0,730	0,640	0,570	0,450	0,320	0,300	0,330	0,56	13%
ES060MSPF0614100	Piedras	Fin masa	0,030	0,127	0,141	0,136	0,124	0,066	0,049	0,040	0,030	0,028	0,026	0,024	0,07	23%
ES060MSPF0614110	Jévar	Fin masa	0,011	0,086	0,127	0,140	0,093	0,037	0,023	0,023	0,010	0,007	0,005	0,005	0,05	13%
ES060MSPF0614120	Las Cañas	Zalea (EA 6064)	0,019	0,061	0,069	0,085	0,072	0,038	0,036	0,027	0,018	0,006	0,006	0,007	0,04	11%
ES060MSPF0614130	Casarabonela	Molino Garrido (EA 6063)	0,022	0,052	0,069	0,064	0,060	0,049	0,037	0,032	0,020	0,012	0,010	0,011	0,04	11%
ES060MSPF0614140A	Alto-Medio Grande Guadalhorce	Las Millanas (EA 6035)	0,390	0,630	0,690	0,660	0,690	0,580	0,520	0,440	0,330	0,270	0,240	0,240	0,47	26%
		Cerro Blanco	0,560	1,010	1,130	1,090	1,090	0,850	0,720	0,590	0,430	0,350	0,310	0,330	0,71	24%
ES060MSPF0614140B	Pereilas	Fin masa	0,071	0,113	0,125	0,118	0,110	0,095	0,080	0,066	0,054	0,045	0,040	0,042	0,08	13%
ES060MSPF0614140C	Bajo Grande del Guadalhorce	Fin masa	0,700	1,320	1,520	1,490	1,470	1,140	0,950	0,790	0,610	0,500	0,450	0,450	0,95	24%
ES060MSPF0614150A	Guadalhorce entre Tajo de la Encantada y Jévar	Presa de La Encantada	0,470	0,590	0,750	0,800	0,790	0,730	0,640	0,570	0,450	0,320	0,300	0,330	0,56	13%
ES060MSPF0614150B	Guadalhorce entre Jévar y Grande	Puente Coronado (EA 6077)	0,390	0,520	0,700	0,790	0,800	0,610	0,490	0,470	0,390	0,290	0,280	0,290	0,50	10%
ES060MSPF0614160	Fahala	Fin masa	0,002	0,050	0,066	0,073	0,061	0,032	0,009	0,007	0,006	0,004	0,003	0,002	0,03	10%
ES060MSPF0614170	Breña Higuera	Fin masa	0,005	0,018	0,034	0,037	0,033	0,017	0,010	0,013	0,007	0,006	0,005	0,004	0,02	9%
ES060MSPF0614180	Alto Campanillas	Los Llanes (EA 6021)	0,040	0,077	0,127	0,109	0,096	0,066	0,051	0,043	0,027	0,022	0,021	0,022	0,06	13%
ES060MSPF0614200	Bajo Campanillas	Presa de Casasola	0,020	0,050	0,090	0,080	0,070	0,060	0,050	0,040	0,025	0,020	0,020	0,020	0,05	10%
ES060MSPF0614210	Bajo Guadalhorce	Tras confluencia Grande	0,650	0,850	1,270	1,580	1,600	1,050	0,800	0,730	0,630	0,560	0,550	0,550	0,90	10%

Masa de agua		Lugar	Régimen de caudales ecológicos mínimos (m ³ /s)													
Código	Nombre		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media	% Q nat.
ES060MSPF0614220	Desembocadura Guadalhorce	A. abajo Campanillas y Breña H.	0,720	0,920	1,430	1,780	1,750	1,120	0,840	0,780	0,650	0,580	0,580	0,590	0,98	9%
ES060MSPF0614230	Alto y Medio Guadalmedina	Casabermeja (EA 6022)	0,011	0,044	0,111	0,104	0,078	0,069	0,044	0,028	0,008	0,002	0,001	0,002	0,04	24%
ES060MSPF0614250	Bajo Guadalmedina	Presa El Limonero	0,019	0,041	0,044	0,070	0,056	0,043	0,043	0,026	0,012	0,010	0,010	0,010	0,03	8%
ES060MSPF0621010	Alto y Medio Guaro	Alfarnatejo (EA 6013)	0,007	0,029	0,071	0,081	0,046	0,044	0,028	0,016	0,002	0,000	0,000	0,000	0,03	15%
ES060MSPF0621030	Alcaucín-Bermuza	La Viñuela (EA 6015)	0,013	0,066	0,068	0,053	0,071	0,073	0,045	0,033	0,011	0,004	0,002	0,002	0,04	16%
		Los González (EA 6016)	0,022	0,039	0,042	0,043	0,044	0,042	0,035	0,034	0,020	0,014	0,011	0,010	0,03	17%
ES060MSPF0621040	Almanchares	Pasada Granadillos (EA 6017)	0,014	0,016	0,012	0,017	0,022	0,024	0,021	0,015	0,006	0,001	0,000	0,003	0,01	16%
ES060MSPF0621050	Rubite	Hoya del Bujo (EA 6018)	0,014	0,045	0,051	0,052	0,054	0,049	0,037	0,021	0,007	0,002	0,000	0,001	0,03	15%
ES060MSPF0621060	Benamargosa	Salto del Negro (EA 6047)	0,050	0,248	0,389	0,450	0,437	0,355	0,280	0,223	0,191	0,069	0,031	0,015	0,23	33%
ES060MSPF0621070	Vélez y Bajo Guaro	Presa Viñuela	0,061	0,185	0,370	0,198	0,179	0,204	0,178	0,223	0,107	0,000	0,000	0,000	0,14	9%
		Aguas abajo afluentes MI	0,150	0,267	0,450	0,324	0,302	0,298	0,251	0,265	0,150	0,026	0,005	0,010	0,21	9%
ES060MSPF0622010Z	La Madre	Azud de derivación	0,032	0,070	0,082	0,070	0,068	0,065	0,060	0,051	0,045	0,039	0,034	0,029	0,05	17%
ES060MSPF0623010	Algarrobo	La Umbría (EA 6020)	0,039	0,070	0,085	0,062	0,078	0,058	0,046	0,035	0,019	0,012	0,013	0,022	0,04	16%
ES060MSPF0623020	Torrox	Fin masa	0,050	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,06	15%
ES060MSPF0623030	Chíllar	Vegueta de la Grama	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,03	22%
		Fin masa	0,067	0,089	0,086	0,075	0,072	0,072	0,071	0,062	0,057	0,057	0,059	0,060	0,07	17%
ES060MSPF0631010	La Miel	Fin masa	0,015	0,031	0,035	0,028	0,025	0,021	0,019	0,013	0,009	0,005	0,004	0,005	0,02	16%
ES060MSPF0631020	Jate	Fin masa	0,021	0,049	0,047	0,034	0,025	0,022	0,019	0,012	0,006	0,003	0,002	0,005	0,02	16%

Masa de agua		Lugar	Régimen de caudales ecológicos mínimos (m ³ /s)													
Código	Nombre		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media	% Q nat.
ES060MSPF0631030	Alto y Medio Verde Almuñécar	Cázulas (EA 6052)	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,10	22%
ES060MSPF0631040	Bajo Verde Almuñécar	Fin masa	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,05	6%
ES060MSPF0632010	Alto Guadalfeo	Narila (EA 6010)	0,085	0,136	0,179	0,184	0,169	0,168	0,182	0,168	0,103	0,038	0,015	0,032	0,12	30%
ES060MSPF0632020	Alto Trevélez	Fin masa	0,290	0,340	0,390	0,380	0,390	0,400	0,430	0,470	0,460	0,300	0,220	0,210	0,36	32%
ES060MSPF0632030	Alto Poqueira	Fin masa	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,35	48%
ES060MSPF0632040A	Medio Trevélez	Azud Trevélez (EA 6103)	0,200	0,200	0,390	0,380	0,390	0,400	0,430	0,470	0,460	0,200	0,200	0,200	0,33	29%
ES060MSPF0632040B	Medio y Bajo Poqueira	Central Pampaneira (EA 6055)	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,50	50%
ES060MSPF0632040C	Bajo Trevélez	Fin masa	0,059	0,737	0,803	0,760	0,778	0,799	0,876	0,957	0,910	0,599	0,446	0,412	0,72	34%
ES060MSPF0632050	Chico de Órgiva	Fin masa	0,044	0,062	0,073	0,068	0,068	0,063	0,060	0,082	0,068	0,034	0,027	0,029	0,06	27%
ES060MSPF0632060A	Guadalfeo Cádiar-Trevélez	Fin masa	0,190	0,280	0,360	0,370	0,310	0,280	0,300	0,250	0,130	0,080	0,060	0,110	0,23	32%
ES060MSPF0632060B	Medio Guadalfeo	Puente de Órgiva (EA 6101)	0,420	0,520	0,570	0,560	0,560	0,580	0,610	0,650	0,610	0,420	0,310	0,300	0,51	20%
ES060MSPF0632070	Alto Dúrcal	Los Sauces	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,21	50%
ES060MSPF0632080A	Medio y Bajo Dúrcal	Restábal (EA 6098)	0,300	0,370	0,430	0,450	0,470	0,410	0,380	0,440	0,370	0,220	0,140	0,200	0,35	22%
ES060MSPF0632080B	Albuñuelas	Fin masa	0,043	0,074	0,092	0,095	0,085	0,076	0,072	0,064	0,060	0,054	0,049	0,043	0,07	17%
ES060MSPF0632090	Torrente	Fin masa	0,055	0,077	0,091	0,084	0,084	0,079	0,074	0,102	0,085	0,042	0,033	0,036	0,07	27%
ES060MSPF0632110	Alto y Medio Lanjarón	Fin masa	0,064	0,090	0,105	0,098	0,098	0,092	0,086	0,119	0,099	0,049	0,039	0,042	0,08	27%
ES060MSPF0632120	Bajo Lanjarón	Lanjarón (EA 6097)	0,064	0,090	0,105	0,098	0,098	0,092	0,086	0,119	0,099	0,049	0,039	0,042	0,08	27%
ES060MSPF0632130A	Ízbor entre Béznar y Rules	Presa de Béznar	0,200	0,230	0,250	0,250	0,260	0,260	0,240	0,250	0,230	0,160	0,130	0,160	0,22	11%

Masa de agua		Lugar	Régimen de caudales ecológicos mínimos (m ³ /s)													
Código	Nombre		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media	% Q nat.
ES060MSPF0632140	La Toba	Puente Guájjar-Fondón (EA 6114)	0,087	0,099	0,112	0,126	0,119	0,106	0,105	0,100	0,094	0,084	0,075	0,075	0,10	17%
ES060MSPF0632150A	Bajo Guadalfeo	Presa de Rules	0,520	0,700	0,800	0,780	0,780	0,770	0,780	0,900	0,820	0,460	0,300	0,310	0,66	11%
		Azud de Vélez	0,250	0,250	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,250	0,250	0,250	0,34	6%
ES060MSPF0632150B	Desembocadura Guadalfeo	Azud El Vínculo	0,150	0,150	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,150	0,150	0,150	0,24	4%
ES060MSPF0634010	Alto Alcolea	Fin masa	0,014	0,022	0,037	0,037	0,035	0,038	0,036	0,030	0,020	0,010	0,007	0,008	0,02	27%
ES060MSPF0634020	Alto Bayárcal	Fin masa	0,019	0,029	0,048	0,049	0,047	0,050	0,048	0,040	0,026	0,013	0,009	0,011	0,03	27%
ES060MSPF0634030	Alto Yátor	Fin masa	0,034	0,052	0,087	0,088	0,084	0,090	0,086	0,072	0,047	0,023	0,016	0,019	0,06	27%
ES060MSPF0634040	Alto Ugjíjar	Nechite (EA 6104)	0,020	0,030	0,050	0,051	0,049	0,053	0,050	0,042	0,027	0,014	0,009	0,011	0,03	27%
ES060MSPF0634050A	Bajo Alcolea-Bayárcal	El Esparragal	0,061	0,093	0,156	0,159	0,151	0,163	0,155	0,130	0,084	0,042	0,029	0,034	0,10	27%
ES060MSPF0634050B	Bajo Ugjíjar	Las Tosquillas (EA 6005)	0,052	0,080	0,133	0,136	0,129	0,139	0,132	0,111	0,072	0,036	0,025	0,029	0,09	27%
ES060MSPF0634050C	Bajo Yátor	Olivarejo	0,056	0,086	0,144	0,147	0,139	0,151	0,143	0,120	0,078	0,039	0,027	0,032	0,10	27%
ES060MSPF0634060	Embalse de Benínar	Darrícal (EA 6069)	0,170	0,260	0,440	0,440	0,420	0,450	0,430	0,360	0,230	0,120	0,080	0,100	0,29	27%
ES060MSPF0634070A	Adra entre presa y Fuentes de Marbella	Presa de Benínar	0,099	0,112	0,130	0,131	0,129	0,131	0,129	0,123	0,109	0,089	0,080	0,084	0,112	10%
ES060MSPF0634070B	Adra entre Fuentes de Marbella y Chico	Fuentes de Marbella (EA 6009)	0,170	0,170	0,170	0,580	0,380	0,330	0,280	0,210	0,210	0,210	0,170	0,170	0,25	27%
ES060MSPF0634080	Chico de Adra	La Ventilla (EA 6048)	0,024	0,035	0,055	0,065	0,049	0,034	0,032	0,025	0,020	0,016	0,016	0,017	0,03	16%
ES060MSPF0634090	Bajo Adra	Fin masa	0,140	0,170	0,170	0,170	0,170	0,170	0,170	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,16	16%
ES060MSPF0641010	Alto Canjáyar	Fin masa	0,013	0,017	0,019	0,018	0,018	0,022	0,028	0,020	0,015	0,013	0,012	0,011	0,02	20%
ES060MSPF0641020	Medio y Bajo Canjáyar	Canjáyar (EA 6024)	0,049	0,062	0,067	0,066	0,070	0,082	0,100	0,067	0,051	0,045	0,041	0,040	0,06	20%

Masa de agua		Lugar	Régimen de caudales ecológicos mínimos (m ³ /s)													
Código	Nombre		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media	% Q nat.
ES060MSPF0641025	Huéneja o Isfalada	Toma derivación	0,021	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,02	15%
ES060MSPF0641030	Alto y Medio Nacimiento	El Chono	0,060	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,08	8%
ES060MSPF0641035	Fiñana	Toma derivación	0,018	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,02	15%
ES060MSPF0641040	Bajo Nacimiento	Fin masa	0,040	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,05	5%
ES060MSPF0641050	Medio Andarax	A. arriba rambla de Tabernas	0,067	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,08	4%
ES060MSPF0641060Z	Bajo Andarax	A. abajo rambla de Tabernas	0,076	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,09	4%
ES060MSPF0651010Z	Alto y Medio Aguas	Fin masa	0,050	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,07	20%
ES060MSPF0651030	Bajo Aguas	Fin masa	0,004	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,03	7%
ES060MSPF0652010	Antas	Fin masa	0,012	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,02	11%
ES060MSPF0652020	Alto Almanzora	Cantoria (EA 6067)	0,120	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,16	11%
ES060MSPF0652040	Medio Almanzora	Fin masa	0,160	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,160	0,160	0,160	0,160	0,160	0,22	11%
ES060MSPF0652060	Bajo Almanzora	Presa de Cuevas de Almanzora	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: Sombreadas en azul las propuestas de las masas de agua estratégicas, y en verde las de otras masas que cuentan con resultados de modelización del hábitat.

Tabla nº 18. Propuesta de régimen de caudales ecológicos en todas las masas de agua de la categoría río

9 REPERCUSIÓN DE LA IMPLANTACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS SOBRE LOS USOS DEL AGUA

Es notorio el fuerte aprovechamiento del recurso hídrico en gran parte del territorio de la DHCMA. Son muy numerosas las concesiones que han sido otorgadas para permitir dicho uso, así como el largo plazo restante hasta su extinción, que en muchos casos se extiende hasta el año 2060 (disposiciones transitorias de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas). Incluso en algunos casos, la misma normativa contempla la renovación automática del aprovechamiento, aunque se puedan introducir las oportunas modificaciones en el título habilitante.

Obviamente, al implementar un régimen de caudales ecológicos en las distintas masas de agua, y debido a su carácter de restricción (y no de uso) es probable que se deriven afecciones a los distintos usuarios (abastecimiento, regadío, energía, etc.) que utilizan este recurso. Es necesario analizar cada caso concreto, pues la casuística es muy diversa.

Las principales afecciones se derivarán de los caudales mínimos, aunque también procederán de los máximos, y pueden producirse en un uso consuntivo o en uno no consuntivo.

En algunos casos estas afecciones serán limitadas y podrán ser aceptadas por los usuarios dentro del proceso de concertación. En otros casos, en los cuales existe un fuerte aprovechamiento del recurso hídrico por determinados usos, como el riego, el abastecimiento, etc., sufrirán una afección de cierta entidad, pudiendo originarse una disminución de mayor o menor cuantía en la garantía de satisfacción de dicha demanda.

También existen otros usos, por ejemplo, la producción de energía hidroeléctrica, en los que sólo en contados períodos el caudal aprovechado se acerca al máximo concedido. En estas situaciones, la imposición de caudales ecológicos no compatibles con el uso preexistente originará una afección al reducir el volumen de agua aprovechado.

Por ello, cuando existan afecciones de cierta magnitud, se deberá llevar a cabo un tratamiento singular de cada caso para intentar llegar a una solución viable y de general aceptación.

En el Anejo VI Asignación y Reservas de Recursos a Usos del presente Plan Hidrológico se comprueban los efectos que tiene la implantación del régimen de caudales ecológicos sobre los niveles de garantía



de las distintas unidades de demandas afectadas y compatibilidad con los usos existentes, utilizando modelos de simulación.



10 GLOSARIO DE ABREVIATURAS

CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
DHCMA	Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas
DMA	Directiva Marco del Agua
HPU	Hábitat Potencial Útil
IAHRIS	Índices de Alteración Hidrológica en Ríos
IFIM	<i>Instream Flow Incremental Methodology</i>
IPHA	Instrucción de Planificación Hidrológica para las Demarcaciones Intracomunitarias de Andalucía
LIC	Lugares de Importancia Comunitaria
PES	Plan Especial de Actuación en Situación de Alerta y Eventual Sequía
PHN	Plan Hidrológico Nacional
RDPH	Reglamento de Dominio Público Hidráulico
RPH	Reglamento de Planificación Hidrológica
TRLA	Texto Refundido de la Ley de Aguas

11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baeza, D. (2002). Caracterización del régimen de caudales en los ríos de la cuenca del Tajo, basado en su regionalización hidrobiológica. Universidad Politécnica de Madrid. ETSI de Montes. Tesis Doctoral.

Baeza D. y D. García de Jalón. (1999). Cálculo de caudales de mantenimiento en ríos de la cuenca del Tajo a partir de variables climáticas y de sus cuencas. *Limnetica* 16: 69-84.

CEDEX (2011). Mapa de caudales máximos. Memoria Técnica. CEDEX. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/memoria_tecnica_v2_junio2011_tcm30-214566.pdf

Consejería de Medio Ambiente (2006). Evaluación de la calidad ecológica del río Trevélez y determinación de sus caudales ecológicos. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

Consejería de Medio Ambiente (2011). Establecimiento del régimen de caudales ecológicos en las masas de agua superficial continentales de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-%C3%ADndice/-/asset_publisher/zX2ouZa4r1Rf/content/estudios-complementarios-sobre-caudales-ecol-c3-b3gicos-realizados-en-el-marco-de-la-planificaci-c3-b3n-hidrol-c3-b3gica-de-las-cuencas-mediterr-c3-a1/20151?categoryVal=

García de Jalón, D., B. Gutiérrez, F. Martínez, M. Morillo, S. Baselga y D. Baeza (1997). Realización de la metodología de cálculo de aportaciones ambientales y caudales ecológicos mínimos en la cuenca hidrográfica del río Tajo. Informe técnico CEDEX. Madrid.

Martínez C. y J.A. Fernández (2010). IAHRIS 2.2 Índices de alteración hidrológica en ríos. Manual de referencia metodológica. Disponible en: http://ambiental.cedex.es/sedah/descargas/MANUAL_USUARIO_IAHRIS_v2-2.pdf

Martínez-Capel F. (2000). Preferencias de microhábitat de *Barbus bocagei*, *Chondrostoma polylepis* y *Leuciscus pyrenaicus* en la cuenca del río Tajo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2008). Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos. Borrador sin publicar.



Palau, A., J. Alcázar, C. Alcácer y J. Roi (1998). Metodología de cálculo de regímenes de caudales y mantenimiento. Informe técnico para el CEDEX. Ministerio de Medio Ambiente.

Sánchez, R. y M.J. Viñals (2012). Manual para la determinación de las necesidades hídricas de los humedales. El contexto español. MAGRAMA. Disponible en:

https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_documento/necesidades_hidricas_humedales.pdf





UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional



Junta de Andalucía

Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas

Revisión de tercer ciclo (2021-2027)



PLAN HIDROLÓGICO

APÉNDICE V.1 DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LAGOS Y ZONAS HÚMEDAS

(Documento para la consulta pública)





LAGUNA GRANDE DE ARCHIDONA

T.M. DE ARCHIDONA

(MÁLAGA)

ÍNDICE:

1	INTRODUCCIÓN	1
2	DATOS GENERALES.....	2
2.1	SITUACIÓN.....	2
2.2	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	3
2.3	RÉGIMEN JURÍDICO DE PROTECCIÓN	3
2.3.1	Figuras de protección	3
2.3.2	Instrumentos y normas de gestión	4
3	CARACTERÍSTICAS DEL HUMEDAL	6
3.1	CLIMATOLOGÍA.....	6
3.2	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	8
3.2.1	Contexto geológico.....	8
3.2.2	Contexto geomorfológico	10
3.3	TOPOGRAFÍA Y CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS.....	11
3.4	FLORA Y VEGETACIÓN	13
3.4.1	Flora con interés de conservación	13
3.4.2	Vegetación	14
3.5	FAUNA.....	17
3.5.1	Principales especies de fauna	17
4	PRESIONES E IMPACTOS	19
4.1	PRESIONES.....	19
4.2	IMPACTOS.....	21
5	VALORES DE CONSERVACIÓN DEL HUMEDAL.....	22
5.1	VALORES DE CONSERVACIÓN	22
5.1.1	Criterios Ramsar	22
5.1.2	Hábitats de Interés Comunitario.....	22
5.1.3	Especies de Interés Comunitario	22
5.2	ESTADO GENERAL DE CONSERVACIÓN	23
5.2.1	Estado ecológico y químico del humedal.....	23
5.2.2	Estado de conservación general	23
6	HIDROLOGÍA DEL HUMEDAL.....	24
6.1	DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO	24
6.1.1	Red hidrográfica y cuencas	24
6.1.2	Funcionamiento hidrológico en condiciones naturales	24



6.1.3	Funcionamiento hidrológico en condiciones modificadas	25
6.2	SERIES DE NIVELES DEL HUMEDAL Y BALANCE ASOCIADO	26
6.3	MODELIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DEL HUMEDAL.....	27
6.3.1	Modelo empleado.....	27
6.3.2	Validación de resultados del modelo hidrológico.....	28
6.3.3	Balance hídrico del humedal	28
6.4	ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO DEL HUMEDAL.....	29
7	SÍNTESIS ECOLÓGICA E HIDROLÓGICA DEL HUMEDAL	30
7.1	MODELO CONCEPTUAL.....	30
8	NECESIDADES HÍDRICAS DEL HUMEDAL.....	32
8.1	OBJETIVOS DE CONSERVACIÓN ASOCIADOS AL RÉGIMEN DE NECESIDADES HÍDRICAS	32
8.1.1	Conservación y recuperación de funciones ecológicas generales	32
8.1.2	Conservación de especies y hábitats	32
8.1.3	Conservación de paisajes.....	33
8.2	FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS	33
8.2.1	Aproximación hidrológica	34
8.2.2	Aproximación hidrobiológica.....	42
8.3	DISCUSIÓN Y SELECCIÓN DE PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS.....	47
9	RECOMENDACIONES DE CARA A LA GESTIÓN.....	50
10	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
11	ANEJO FOTOGRÁFICO	54



FIGURAS:

Figura nº 1.	Situación general de la Laguna Grande de Archidona.	2
Figura nº 2.	Evolución de la precipitación, periodo 1980-2018.	7
Figura nº 3.	Climograma de la zona de estudio, periodo 1980-2018.	7
Figura nº 4.	Evolución de la ETP, periodo 1980-2018.	8
Figura nº 5.	Geología de la zona de estudio.....	9
Figura nº 6.	Leyenda geológica de la zona de estudio.	10
Figura nº 7.	Génesis de una dolina mayoritariamente por disolución (arriba) y por colapso (abajo) de la roca suprayacente a una cavidad cercana a la superficie. Modificado del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).....	11
Figura nº 8.	Relación superficie-volumen.....	12
Figura nº 9.	Altimetría en la cuenca de la Laguna Grande.	13
Figura nº 10.	Tipos de HIC en el entorno de la laguna.....	15
Figura nº 11.	Tipos de HIC en el entorno de la laguna.....	16
Figura nº 12.	Perfil teórico de HIC en el entorno de la laguna.	17
Figura nº 13.	Evolución limnimétrica de la laguna Grande (modificado de Gil Márquez, 2018).	26
Figura nº 14.	Evolución limnimétrica de la laguna Grande (modelo SIMPA elaborado).	26
Figura nº 15.	Evolución de niveles simulados para la Laguna Grande (oct1980-sep2018).....	28
Figura nº 16.	Marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y diversos componentes bióticos del ecosistema.....	30
Figura nº 17.	Hidroperiodo típico.....	35
Figura nº 18.	Distribución de volúmenes.	35
Figura nº 19.	Volumen en la laguna. Periodo 1980-2018.....	37
Figura nº 20.	Modelo asociaciones vegetales según régimen hidráulico de inundación.	44
Figura nº 21.	Formulación de escenarios mediante reducción progresiva del 10%.....	45
Figura nº 22.	Evolución de la superficie de los HIC según aportaciones.	46

TABLAS:

Tabla nº 1.	Catalogación del inventario de presiones	21
Tabla nº 2.	Identificación de presiones en el entorno de la Laguna Grande.....	21
Tabla nº 3.	HIC presentes en el entorno de la Laguna Grande.	22
Tabla nº 4.	Especies de interés comunitario presentes en la Laguna Grande.	22
Tabla nº 5.	Balance hídrico Laguna Grande.	29
Tabla nº 6.	Distribución de años secos, medios y húmedos en la Laguna Grande.....	39
Tabla nº 7.	Percentil 15 para años secos en la Laguna Grande.	40
Tabla nº 8.	Percentil 15 para años medios en la Laguna Grande.	41
Tabla nº 9.	Percentil 15 para años húmedos en la Laguna Grande.	41
Tabla nº 10.	Propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Grande.	42
Tabla nº 11.	Agrupación de las asociaciones vegetales según su régimen hidráulico de inundación.	43
Tabla nº 12.	Periodos de inundación.....	44
Tabla nº 13.	Propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Grande.	48
Tabla nº 14.	Valores medios para la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Grande....	49

1 INTRODUCCIÓN

La determinación de los requerimientos hídricos ambientales de las masas de agua catalogadas en la condición de lagos o zonas de transición de tipo lagunar tiene como objetivo primordial favorecer a conseguir su buen estado o potencial ecológico a través del mantenimiento a largo plazo de la funcionalidad y estructura de dichos ecosistemas, lo que debe facilitar unos escenarios de hábitat apropiados para satisfacer las necesidades de las distintas comunidades biológicas propias de estos ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante la conservación de los procesos ecológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.

El humedal constituido por las Lagunas de Archidona se sitúa al norte de la provincia de Málaga, próximo a la Autovía A-92M y a unos 2 km al sur de la población de Salinas. Está formado por las lagunas Grande y Chica de Archidona, que constituyen la Reserva Natural Lagunas de Archidona.

Este espacio se integra dentro del contexto geológico de Los Hoyos, con una superficie aproximada de 20 km² que se extiende en el límite provincial entre Granada y Málaga y se incluye dentro del Trías de Antequera, aunque bien diferenciado desde el punto de vista morfológico y estructural.

El presente estudio se individualiza para la Laguna Grande de Archidona.

2 DATOS GENERALES

2.1 SITUACIÓN

La Laguna Grande de Archidona constituye una de las dos que conforman la Reserva Natural Lagunas de Archidona, junto a la Laguna Chica.

Con una superficie aproximada de 4,9 has, la Laguna Grande se ubica dentro de la Parcela 31b del Polígono 11 del término municipal de Archidona.

Las coordenadas del centro del polígono que define el ámbito de la reserva natural de la Laguna Grande en el sistema ETRS89 (30N) son:

- X: 384.254
- Y: 4.107.738

En la Figura nº 1 se muestra la situación general de la laguna.

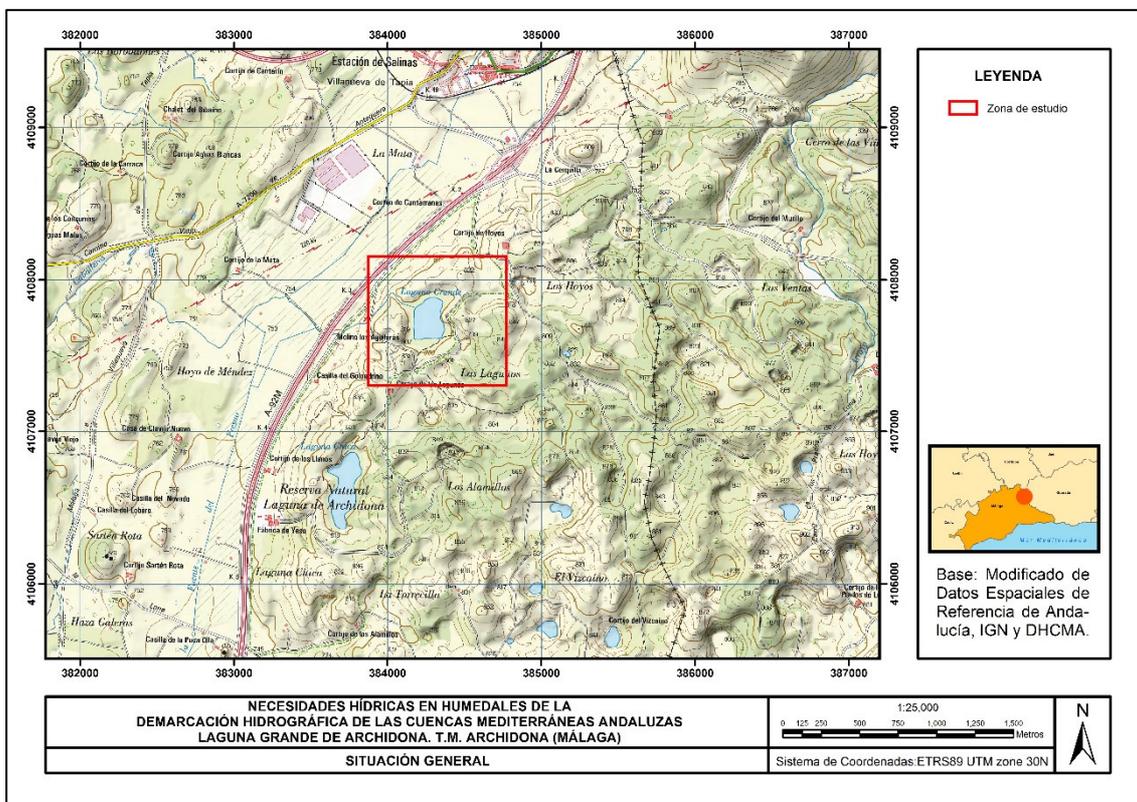


Figura nº 1. Situación general de la Laguna Grande de Archidona.

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL

La Laguna Grande de Archidona presenta una superficie protegida aproximada de 4,9 has, (CAGPDS, 2020), sin embargo, la superficie real del vaso de la laguna en aguas altas, marcado por la vegetación perimetral y según medición en sistema de información geográfica, se eleva hasta las 9 has.

La forma lagunar es arriñonada, donde el eje mayor tiene una distancia aproximada de 420 m, frente a los 210 m del eje menor. Presenta un aumento progresivo de la profundidad hacia la zona central de la cubeta, donde las orillas, de pendiente acusada, solo se suavizan en el extremo sur de la cubeta. El hidroperiodo es permanente (CAGPDS, 2020), lo que significa que siempre existe disponibilidad de agua en el humedal.

La superficie máxima de la lámina de agua, marcada por el rebosadero del sector noroccidental, se sitúa a 795,5 m.s.n.m., este valor se ha determinado a partir del modelo digital del terreno realizado con precisión de 10 cm mediante el uso de datos LIDAR (1ª Cobertura realizada por el IGN, PNOA-2014).

Según Rodríguez-Rodríguez *et al.* (2001) la altura máxima de columna de agua registrada se sitúa en 13,2 m para el año hidrológico 1997/98.

Se ha determinado la cuenca vertiente de la laguna en una superficie de 31,1 has, aunque de esta, unas 10 has realmente vierten a una dolina próxima a la laguna, por lo que se puede fijar la superficie efectiva que vierte sus aguas de forma directa a la laguna en 21,1 has. Esta cuenca no es muy extensa, en relación con la superficie de la cubeta y el volumen de agua que almacena.

2.3 RÉGIMEN JURÍDICO DE PROTECCIÓN

2.3.1 FIGURAS DE PROTECCIÓN

Las Lagunas de Archidona, donde se encuentra la Laguna Grande, es un espacio natural protegido bajo la figura de Reserva Natural. La declaración de la “Reserva Natural Lagunas de Archidona” tuvo lugar mediante la Ley 2/89, de 18 de julio, por la que se aprueba el Inventario de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía, y se establecen medidas adicionales para su protección (BOJA nº 60, de 27 de julio de 1989).

La Reserva Natural también se encuentra catalogada como Humedal Andaluz e incluida en el Inventario de Humedales de Andalucía, según el Decreto 98/2004, de 9 de marzo, por el que se crea el Inventario de Humedales de Andalucía y el Comité Andaluz de Humedales (BOJA nº 66, de 5 de abril de

2004). De igual modo, también se encuentra dentro del Inventario español de zonas húmedas con el código IH617023.

A nivel internacional, la zona está recogida como Humedal de Importancia Internacional del Convenio Ramsar. Este humedal fue incluido en la Lista de Zonas Húmedas de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar en 2009 (Acuerdo de Consejo de Ministros de 5 de junio de 2009. BOE nº 202, de 21 de agosto de 2009). Los límites del sitio Ramsar coinciden con los de la Reserva Natural.

Finalmente, las Lagunas de Archidona se encuentran definidas como masa de agua superficial dentro del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (código 0614520).

2.3.2 INSTRUMENTOS Y NORMAS DE GESTIÓN

La Laguna Grande de Archidona, ubicada dentro de la Reserva Natural Lagunas de Archidona, se ve afectada por los siguientes instrumentos y normas de gestión.

- Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN), aprobado por el Decreto 1/2017, de 10 de enero, por el que se declaran Zonas Especiales de Conservación Complejo Endorreico de Espera (ES0000026), Laguna de Medina (ES0000027), Complejo Endorreico de Chiclana (ES0000028), Complejo Endorreico del Puerto de Santa María (ES0000029), Complejo Endorreico de Puerto Real (ES0000030), Laguna de los Tollos (ES6120011), Lagunas de Las Canteras y El Tejón (ES6120014), Laguna de La Ratosa (ES6170001), Lagunas de Campillos (ES6170015), Complejo Endorreico de Utrera (ES6180001), Complejo Endorreico La Lantejuela (ES6180002), Laguna del Gosque (ES6180003) y Laguna de Coripe (ES6180006) y se aprueban el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las Reservas Naturales de las Lagunas de Cádiz, el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las Reservas Naturales de las Lagunas de Málaga, el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las Reservas Naturales de las Lagunas de Sevilla (BOJA nº 25 de 07 de febrero de 2017). Este es el instrumento de planificación y gestión que en la actualidad marca las directrices y objetivos en la conservación del espacio.
- Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía. El POTA fue aprobado en sesión celebrada los días 25 y 26 de octubre de 2006 donde se acordó su publicación, y fue adaptado posteriormente, mediante el Decreto 206/2006, a las resoluciones aprobadas por el Parlamento de Andalucía.



- Plan de Ordenación Urbana de Archidona, adaptado a la LOUA y aprobado el 05 de mayo de 2010, donde se define la superficie ocupada por la Laguna Grande como Suelo No Urbanizable de Especial Protección (SNU-EP).
- Plan Especial de Protección del Medio Físico de la provincia de Málaga, aprobado mediante Resolución de 14 de febrero de 2007, de la Dirección General de Urbanismo, por la que se dispone la publicación del Plan Especial de Protección del Medio Físico y Catálogo de Espacios y Bienes Protegidos de la provincia de Málaga (BOJA nº 69, de 9 de abril de 2007).
- Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas para el periodo 2009-2015, aprobado mediante Real Decreto 1331/2012, de 14 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (PHCMA aprobado por el Real Decreto 11/2016, de 8 de enero, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas de Galicia-Costa, de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, del Guadalete y Barbate y del Tinto, Odiel y Piedras, anulado por Sentencia de 25 de marzo de 2019, de la Sala Tercera del Tribunal Supremo (BOE núm 107 de 4 de mayo de 2019)).



3 CARACTERÍSTICAS DEL HUMEDAL

3.1 CLIMATOLOGÍA

La descripción climática se ha realizado a partir de la Ficha Informativa del Humedal Ramsar. Por su parte, las series de datos de precipitación y temperatura que se presentan a continuación han sido obtenidas del modelo hidrológico SIMPA (CEDEX, 2019) para la Laguna Grande.

La evaluación de recursos hídricos en régimen natural constituye una información básica de partida para el proceso de planificación hidrológica, y resulta esencial para conocer con detalle los recursos disponibles y gestionarlos de forma sostenible y eficiente.

El Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX trabaja continuamente en la mejora y actualización del modelo SIMPA (Sistema Integrado de Modelación Precipitación-Aportación), con el que se realiza en España la evaluación de los recursos hídricos en régimen natural.

De cara al tercer ciclo de planificación, desde el CEDEX se han realizado diversas mejoras en el modelo SIMPA, entre estas se encuentran el tratamiento de la nieve en la formulación del modelo hidrológico, mejoras en los datos de entrada de las variables atmosféricas (revisión de datos, interpolación, incorporación de estaciones SIAR para mejorar la ETP, nuevos mapas correctores de ETP), revisión de los datos de los puntos de contraste y selección de nuevos puntos, mejoras en los mapas de parámetros utilizados en la calibración, etc.

De modo general, las características climáticas de la zona de estudio son:

- El clima de la zona ha sido descrito como de tipo continental mediterráneo, dentro del bioclima pluviestacional oceánico, del termotipo mesomediterráneo, ombrotipo seco-subhúmedo.
- Para la serie de 1980-2018, la precipitación media anual es de 589 mm. El año con mayor precipitación en ese periodo fue de 1.130 mm, mientras que el de menos se estableció en 198 mm (Figura nº 2).

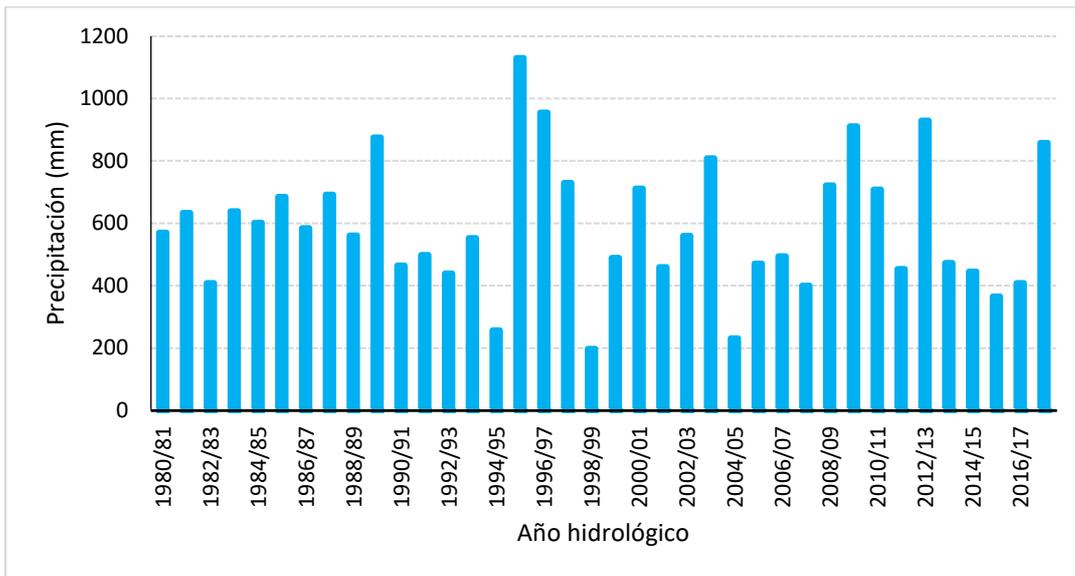


Figura nº 2. Evolución de la precipitación, periodo 1980-2018.

- Las precipitaciones máximas se dan en los meses de noviembre a enero, y las mínimas se dan en junio, julio y agosto (Figura nº 3).

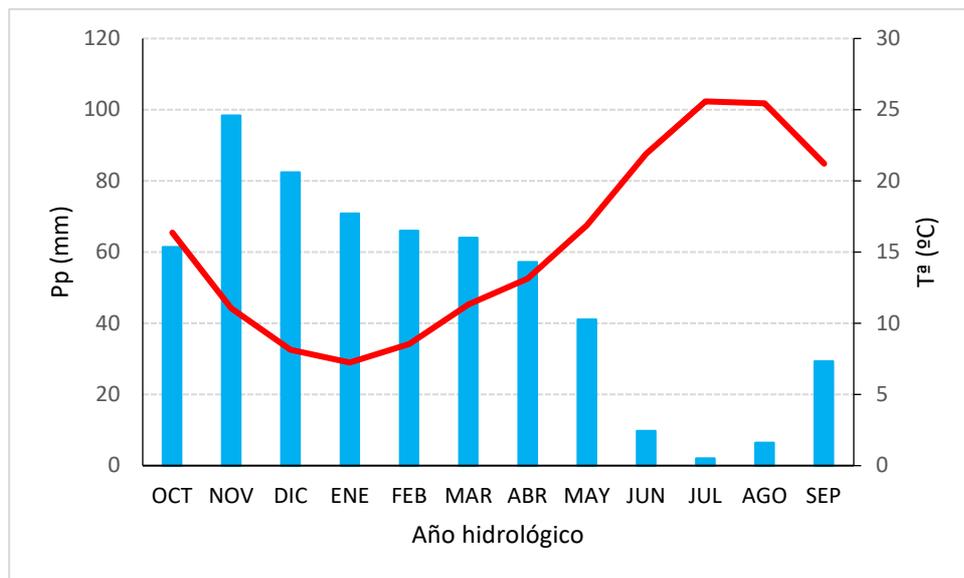


Figura nº 3. Climograma de la zona de estudio, periodo 1980-2018.

- En general el invierno es una estación suave, con temperaturas medias de entre 7,3°C y 8,5°C, aunque puntualmente se detectan las heladas y la formación de escarcha (la media del mes más frío es 7,3°C), mientras que el verano es muy caluroso (la media de las temperaturas del mes más cálido es de 25,6°C). La primavera tiene unas temperaturas medias entre 11 y 17°C,

en tanto que el otoño se configura como la estación más inestable. La temperatura media anual se sitúa en torno a los 15,6°C.

- Para la serie de 1980-2018, la ETP considerada asciende a 1.185 mm. El año con mayor ETP en ese periodo fue de 1.333 mm, mientras que el de menos 1.052 mm (Figura nº 4).

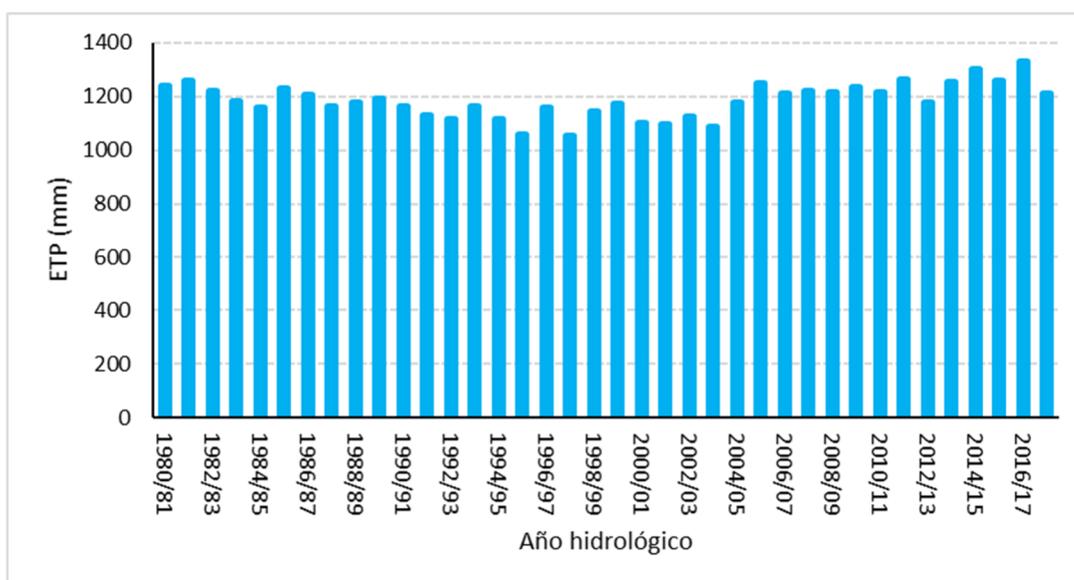


Figura nº 4. Evolución de la ETP, periodo 1980-2018.

- Dentro del ciclo anual, los valores máximos de evaporación tienen lugar durante los meses de junio, julio y agosto, con valores próximos a 200 mm, mientras que los meses invernales son los que presentan los valores más bajos, en los que noviembre, diciembre, enero y febrero presentan valores mensuales próximos a 35 mm).

3.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

La descripción del contexto geológico y geomorfológico de la Laguna Grande se ha realizado a partir de la información de la Ficha Informativa de Humedal Ramsar, así como de información del IGN y estudios específicos realizados en la zona de estudio.

3.2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

La mayor parte del término municipal de Archidona entra a formar parte del denominado Trías de Antequera, el cual pertenece al dominio paleoestratigráfico subbético, dentro de la Zona Externa de la Cordillera Bética. En esta región, la edad de los materiales que afloran data mayoritariamente del

periodo Triásico, aunque también se pueden encontrar materiales cuyos depósitos se produjeron con posterioridad.

Concretamente, en la zona de estudio, el porcentaje de litología mayor es de yesos y anhidritas con fragmentos y arcillas y carniolas. La Laguna Grande, fundamentalmente, está compuesta de materiales detríticos (arcillosos, arcillas rojas, margas), con niveles de areniscas, y evaporíticos (yeso, anhidrita y halita) intensamente fracturados. También presenta enclaves de dolomías negras y ofitas (rocas subvolcánicas) y tiene una estructura bastante desordenada que está relacionada con su carácter alóctono y la presencia de los materiales arcilloso-evaporíticos fácilmente deformables.

La Figura nº 5 muestra la geología de la zona de estudio y en la Figura nº 6 se presenta la leyenda geológica.

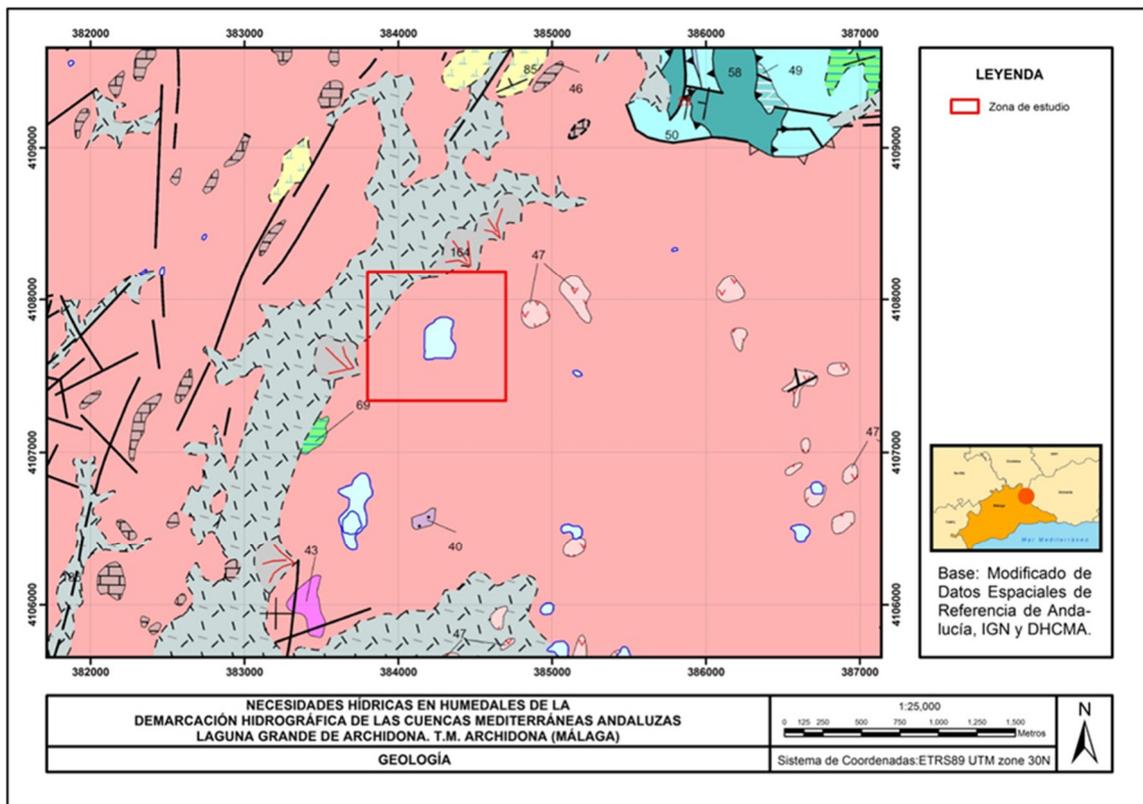


Figura nº 5. Geología de la zona de estudio.

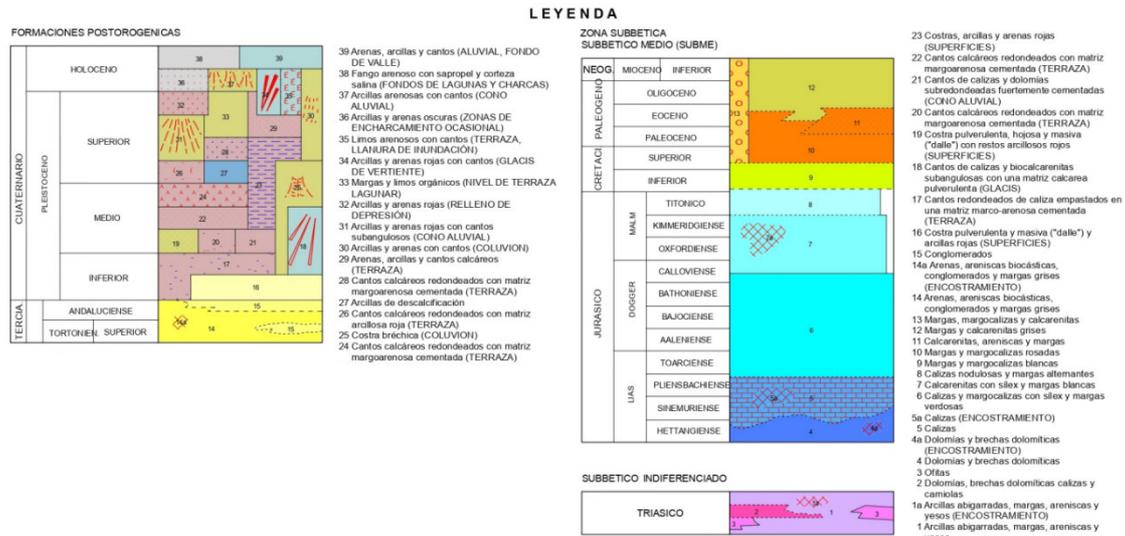


Figura nº 6. Leyenda geológica de la zona de estudio.

3.2.2 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

La cubeta de la Laguna Grande está formada por una dolina de hundimiento que se localiza en el contacto entre los materiales evaporíticos y la formación arcillosa suprayacente.

La zona de Los Hoyos presenta como característica geomorfológica dominante la presencia de una gran cantidad de dolinas que se disponen en la parte central del diapirioide. La base de las dolinas está a cota más elevada en la parte meridional y oriental, mientras que, en la parte occidental, donde se encuentra la Laguna Grande, la base de las dolinas está a cota más baja.

Las dolinas en ventana y en embudo se sitúan en su mayor parte en el área central de la estructura, y constituyen dolinas pequeñas con paredes verticales y grandes bloques, originadas por procesos de colapso (Figura nº 7). Se trata posiblemente del área donde los procesos de levantamiento son más activos y dan como resultado formas poco estables, cambiantes e incluso con la aparición de colapsos actuales.

Alrededor del sector central y hasta el borde del área, se desarrollan amplias dolinas en cubeta, con fondo plano y frecuente relleno de materiales arcillosos, que en ocasiones permite alcanzar la superficie piezométrica del acuífero, como es el caso de la Laguna Grande. Estas depresiones suelen tener su eje mayor con una orientación similar al perímetro del diapirioide, lo que demuestra su claro control estructural. En el borde del afloramiento aparecen materiales arcillosos triásicos que constituyen una barrera de baja permeabilidad.

Esta situación, junto con la presencia de surgencias y cuencas cerradas, entre otros elementos, han desarrollado un singular complejo kárstico.

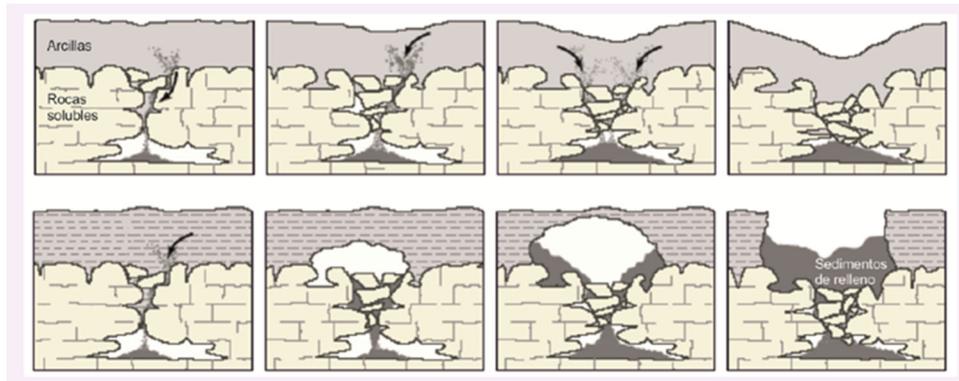


Figura nº 7. Génesis de una dolina mayoritariamente por disolución (arriba) y por colapso (abajo) de la roca suprayacente a una cavidad cercana a la superficie. Modificado del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

3.3 TOPOGRAFÍA Y CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

En planta, la Laguna Grande muestra un contorno en forma arriñonada, donde el eje mayor tiene una distancia aproximada de 420 m, frente a los 210 m del eje menor, a la vez que presenta un aumento progresivo de la profundidad hacia la zona central de la cubeta, donde las orillas, de pendientes acusadas, solo se suavizan en el extremo sur de la cubeta. El hidropериodo es permanente (CAGPDS, 2020), lo que significa que siempre existe disponibilidad de agua en el humedal.

A partir del modelo digital del terreno elaborado, y mediante el uso de un SIG, se han deducido los volúmenes correspondientes a cada cota y la superficie asociada a los mismos (Figura nº 8).

Los resultados finales del balance realizado en este estudio podrían presentar ciertas variaciones ya que no se dispone de una batimetría de precisión.

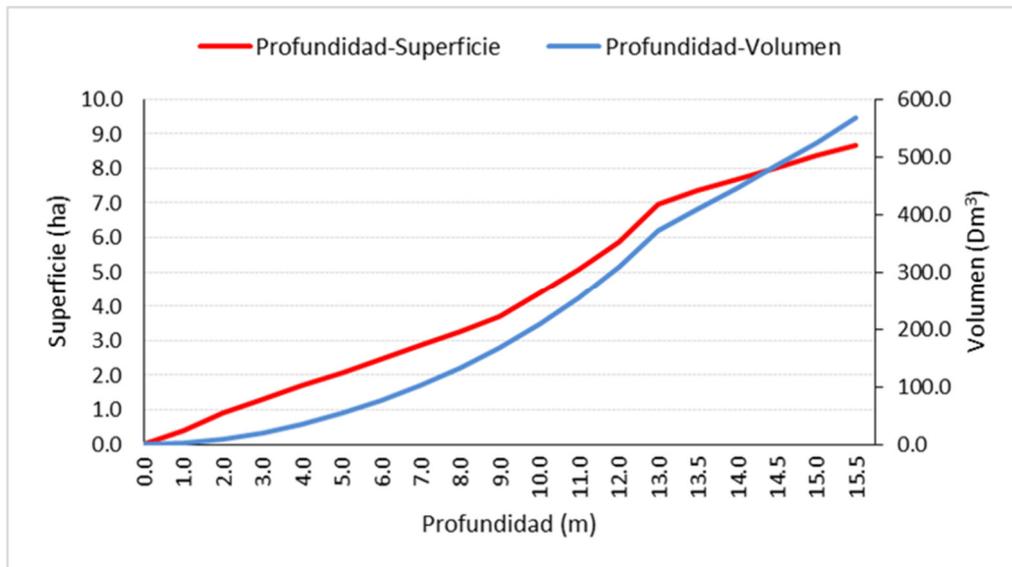


Figura nº 8. Relación superficie-volumen.

En el entorno de la laguna se diferencian dos unidades de paisaje bien diferenciadas que denotan el uso que históricamente ha tenido el sector de la laguna. Los sectores este y sur presentan una vegetación de carácter más natural, lo que indica que no ha tenido un uso agrícola en los últimos tiempos, esto se debe principalmente a la calidad del agua y a lo complicado de los terrenos, mientras que por el contrario, los sectores norte y oeste sí que presentan cultivos vinculados al almendro y olivar respectivamente, los cuales se sitúan en terrenos más favorables desde el punto de vista geológico.

En la Figura nº 9 se muestra la altimetría en la cuenca de la Laguna Grande.



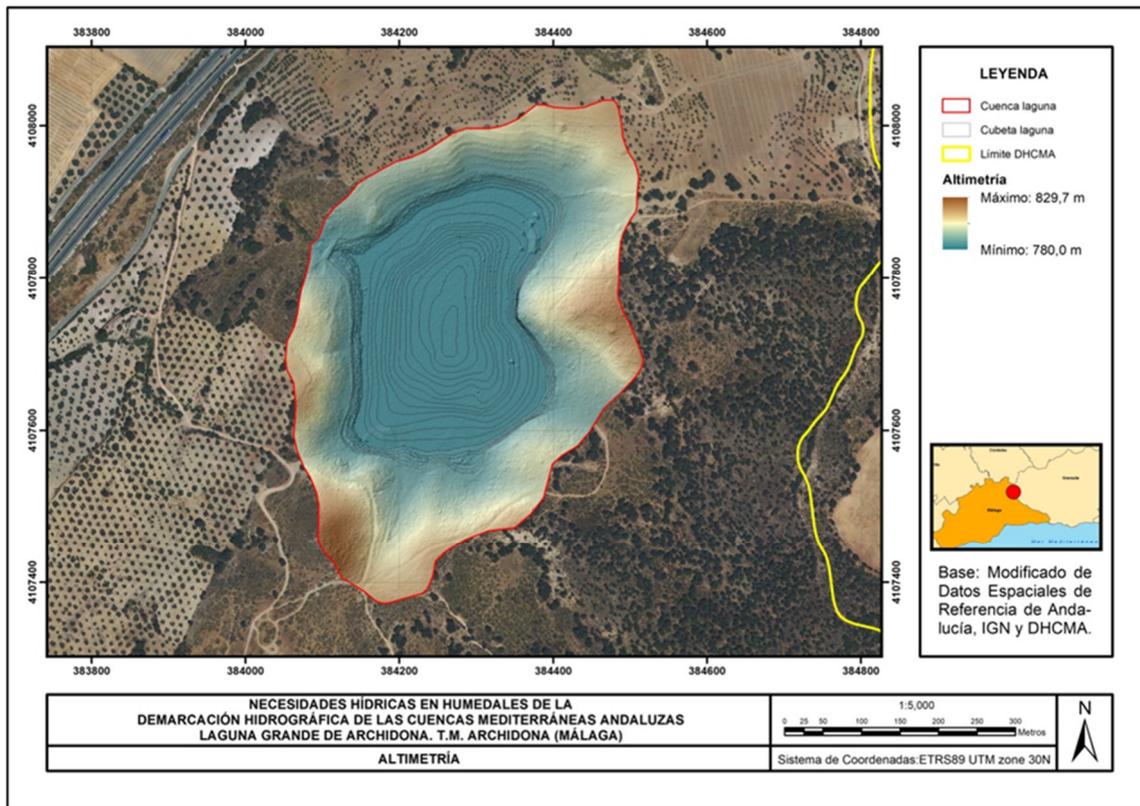


Figura nº 9. Altimetría en la cuenca de la Laguna Grande.

3.4 FLORA Y VEGETACIÓN

Las fuentes consultadas para desarrollar este apartado han sido diversas. Para la identificación de las especies de flora que presentan un gran valor de conservación se han revisado diferentes estudios y documentos técnicos (PORN de la Reserva Natural Lagunas de Archidona, Ficha Informativa Ramsar, Inventario de Humedales de Andalucía, etc.). Para la presencia de los hábitats de interés comunitario se ha consultado, además, la información oficial de la Red Natura 2000. Para la interpretación y descripción de las comunidades vegetales de la laguna en relación a los hábitats tipificados de interés comunitario se ha utilizado el Manual de Interpretación (Comisión Europea, 2013) y el documento “Bases ecológicas para gestión de humedales” (VV.AA., 2009). En el caso del modelo de distribución de hábitats y especies vegetales en la laguna se han seguido los estudios y aproximaciones metodológicas de García Viñas *et al.* (2005) y WWF (2009).

3.4.1 FLORA CON INTERÉS DE CONSERVACIÓN

La vegetación del entorno de la Laguna Grande se compone de cultivos de almendros ubicados al norte de la laguna y de olivares al oeste de la misma, el resto de espacios se encuentra ocupado por

retamares de *Retama sphaerocarpa* (*Genisto speciosae-Retametum*), encinares (*Paeonio-Quercetum*), aulagares y jarales (*Ulici-Genistetum speciosae*) formados por especies como *Ulex parviflorus*, *Genista speciosa* o *Rosmarinus officinalis*, y pastizales vivaces de *Brachypodium retusum* (*Teucrio-Brachypodietum*). La vegetación que presenta la orilla del humedal se compone de un juncal de *Scirpus holoschoenus* (*Holoschoenetum vulgaris*), que prácticamente circunda el humedal en su totalidad. Se puede reconocer, además, un pastizal anual disperso de suelos húmedos formado por especies como *Juncus bufonius* o *Gnaphalium luteo-album* (*Verbenion supinae*).

El desarrollo de hidrófitos se identifica en las zonas de orilla más someras (sur de la cubeta), con presencia de densas formaciones de *Potamogeton pectinatus*.

3.4.2 VEGETACIÓN

3.4.2.1 COMUNIDADES VEGETALES CARACTERÍSTICAS

La Laguna Grande se define por la presencia de los siguientes hábitats naturales de interés comunitario:

- 31 Aguas estancadas.
3190 Lagos y lagunas kársticas sobre yesos.
- 64 Prados húmedos seminaturales de hierbas altas.
6420 Prados húmedos mediterráneos de hierbas altas del *Molinion-Holoschoenion*.

3.4.2.2 ORGANIZACIÓN ESPACIAL DE LOS HÁBITATS DE INTERÉS COMUNITARIO

3.4.2.2.1 LOS HÁBITATS EN EL CONJUNTO DEL HUMEDAL

En el ámbito de la Laguna Grande y su entorno se encuentran diferentes hábitats de interés comunitario vinculados al agua, tales como los hábitats de aguas estancadas y prados húmedos (grupos de hábitats tipo 31 y 64) (Figura nº 10).

Cada tipo de hábitat está representado por ciertas especies predominantes, las cuales indican características del medio (humedad, salinidad, nutrientes, etc.) diferenciadas.

La organización espacial de las especies responde 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).



Figura nº 10. Tipos de HIC en el entorno de la laguna.

3.4.2.2.2 LOS HÁBITATS SEGÚN EL ORIGEN Y DINÁMICA DE LAS AGUAS

Los hábitats de interés comunitario de la Laguna Grande ligados al medio acuático estarían representados por los tipos 3190 y 6420.

Las diferentes comunidades que tapizan el perímetro lagunar se disponen en base a la variación de los siguientes factores ecológicos: duración del encharcamiento, grado de salinidad y textura del suelo. El resultado es una zonación horizontal de las distintas comunidades. Los diferentes hábitats que se encuentran en la laguna serían los siguientes:

- **Hábitat 3190:** Pequeños lagos y lagunas generalmente permanentes desarrollados en zonas de surgencias de aguas en áreas con karstificación activa sobre materiales ricos en yesos. Estas masas de agua se caracterizan por presentar unas fluctuaciones grandes de nivel (de hasta 2,5 m) determinadas por el nivel del acuífero subyacente y la cantidad de precipitación. La disolución de los yesos confiere a sus aguas unas altas concentraciones de iones Ca^{2+} y SO_4^{2-} . Estas condiciones permiten el desarrollo de poblaciones planctónicas y biofilms de bacterias púrpuras y verdes del azufre.

- **Hábitat 6420:** Comunidades mediterráneas de juncos de carácter higrófilo (agua dulce o con escasa salinidad), que prosperan sobre suelos de muy distinta naturaleza (arenosos o no, eutróficos u oligotróficos) pero siempre con freatismo de carácter estacional. El agua freática es dulce o ligeramente salina. *Scirpus holoschoenus* es la especie que, por su talla, su dureza y su baja palatabilidad, con mayor intensidad determina la estructura de la comunidad y contribuye a proporcionar refugio y protección a las demás especies, así como a la fauna.

3.4.2.2.3 HACIA UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE HÁBITATS Y ESPECIES EN LA LAGUNA

La conceptualización anterior permite plantear un modelo de distribución de la vegetación en la Laguna Grande. Se trata de un modelo que permite explicar la distribución de los subgrupos y tipos de la Directiva Hábitat y las especies que los integran.

En la Figura nº 11 se reproduce la zonificación teórica de los diferentes tipos de hábitats de la Laguna Grande.

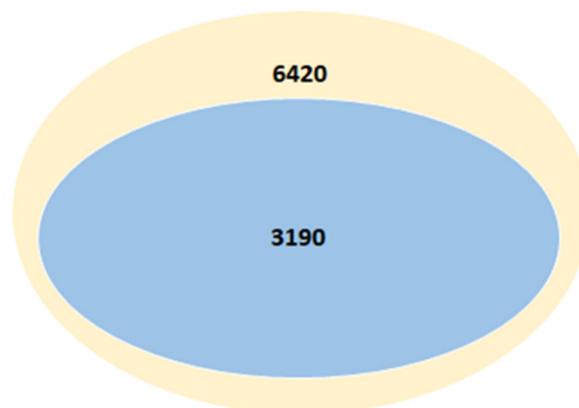


Figura nº 11. Tipos de HIC en el entorno de la laguna.

En la Figura nº 12 se presenta un perfil teórico de vegetación con los tipos de hábitats directamente influenciados por el régimen de inundación.



Figura nº 12. Perfil teórico de HIC en el entorno de la laguna.

3.5 FAUNA

En el entorno de la Laguna Grande, la fauna de vertebrados tiene considerable desarrollo, entre los que se ha constatado la presencia de peces como el barbo (*Barbus sp.*), así como *Gambusia affinis* que ocupan solo la cubeta inundada, junto con la especie invasora *Cyprinus carpio* (carpa). Entre los anfibios se encuentran la rana común, el sapo común y el sapo corredor. Los reptiles ligados al agua están representados por especies tales como la culebra de agua y el galápago leproso. Entre las aves acuáticas pueden citarse el zampullín chico y cuellinegro, el somormujo lavanco, la garza real y el ánade real, entre los más representativos, así como el pato cuchara, ánade silbón, pato colorado, polla de agua, focha común, chorlitejo chico y patinegro, porrón pardo y común, garceta común, andarríos grande, bastardo y chico, cerceta común, pagaza piconegra, cormorán grande, cigüeñuela, avefría y gaviota reidora. Otras aves asociadas al medio terrestre, presentes en esta laguna son el cernícalo vulgar, aguilucho lagunero, águila pescadora, perdiz común, paloma torcaz, tórtola común, cuco, lechuza común, mochuelo, chotacabras pardo y rabilargo. Entre los mamíferos, la rata de agua es la única que vive en la zona acuática.

3.5.1 PRINCIPALES ESPECIES DE FAUNA

- Invertebrados. Este humedal constituye un hábitat excelente para algunas comunidades de invertebrados acuáticos, entre los que es destacable la presencia de crustáceos de agua dulce del orden *Anostraca*. Junto a ellos se desarrollan otras especies de crustáceos de los órdenes *Cladocera* y *Copepoda* que producen, al igual que los *Anostráceos*, huevos de resistencia que permanecen en el sedimento hasta la vuelta de condiciones ambientales apropiadas para su desarrollo. La presencia de estos propágulos, junto a los de numerosas especies vegetales, confiere a los sedimentos de este tipo de ecosistemas una importancia crucial en el mantenimiento de la biodiversidad de estos humedales.



- Anfibios. En esta laguna está citada la presencia de algunas especies de anfibios catalogados como “De Interés Especial” en el Catálogo Español de Especies Amenazadas, tales como el sapo corredor (*Bufo calamita*), el sapillo moteado ibérico (*Pelodytes ibericus*) y el gallipato (*Pleurodeles waltl*).
- Reptiles. Está citado el galápago leproso (*Mauremys leprosa*), contemplado en los Anexos II y IV de la Directiva Hábitat (92/43/CEE), también es frecuente la culebra viperina (*Natrix maura*), incluida como “De Interés Especial” en el Catálogo Español de Especies Amenazadas. En los ambientes terrestres próximos a los humedales son habituales otras especies de reptiles de interés, como la culebra de herradura (*Hemorrhois hippocrepis*) y la culebra de escalera (*Rhinechis scalaris*).
- Aves. La Laguna Grande cumple una importante función como zona refugio para la población europea de focha moruna (*Fulica cristata*), especie principalmente sedentaria, incluida en el Catálogo Español de Especies Amenazadas como “En Peligro de extinción y en el Libro Rojo de los Vertebrados de Andalucía en la categoría de máximo riesgo, “En peligro crítico” .
- Mamíferos. Se detecta la presencia probable de la rata de agua (*Arvicola sapidus*), considerada en Andalucía como “Vulnerable” en el Libro Rojo de los Vertebrados de Andalucía.



4 PRESIONES E IMPACTOS

El diagnóstico de la Laguna Grande de Archidona que se presenta a continuación ha sido elaborado a partir de toda la información disponible en las diferentes fichas y planes referentes a la misma.

4.1 PRESIONES

El Reglamento de la Planificación Hidrológica, la Instrucción de la Planificación Hidrológica y la guía CIS nº 3 IMPRESS definen una presión significativa como aquella que supera un umbral definido a partir del cual se puede poner en riesgo el cumplimiento de los objetivos ambientales en una masa de agua. Por otro lado, para la guía de *reporting* de la DMA (Comisión Europea, 2014), presión significativa es aquella que, sola o en combinación con otras presiones, impide o pone en riesgo el logro de los OMA (art. 4.1 DMA). Por tanto, no todas las presiones pueden considerarse significativas.

En dicha guía se lleva a cabo una sistematización de las presiones que se despliega en la Tabla nº 1.

1 Puntuales
1.1 Aguas residuales urbanas
1.2 Aliviaderos
1.3 Plantas IED
1.4 Plantas no IED
1.5 Suelos contaminados / Zonas industriales abandonadas
1.6 Zonas para eliminación de residuos
1.7 Aguas de minería
1.8 Acuicultura
1.9 Otras
2 Difusas
2.1 Escorrentía urbana / alcantarillado
2.2 Agricultura
2.3 Forestal
2.4 Transporte
2.5 Suelos contaminados / Zonas industriales abandonadas
2.6 Vertidos no conectados a la red de saneamiento
2.7 Deposición atmosférica
2.8 Minería
2.9 Acuicultura



2.10 Otras (cargas ganaderas)
3 Extracción de agua / Desviación de flujo
3.1 Agricultura
3.2 Abastecimiento público de agua
3.3 Industria
3.4 Refrigeración
3.5 Generación hidroeléctrica
3.6 Piscifactorías
3.7 Otras
4 Alteración morfológica
4.1 Alteración física del cauce/ lecho / ribera / márgenes
4.1.1 Protección frente a inundaciones
4.1.2 Agricultura
4.1.3 Navegación
4.1.4 Otras
4.1.5 Desconocidas
4.2 Presas, azudes y diques
4.2.1 Centrales Hidroeléctricas
4.2.2 Protección frente a inundaciones
4.2.3 Abastecimiento de agua
4.2.4 Riego
4.2.5 Actividades recreativas
4.2.6 Industria
4.2.7 Navegación
4.2.8 Otras
4.2.9 Estructuras obsoletas
4.3 Alteración del régimen hidrológico
4.3.1 Agricultura
4.3.2 Transporte
4.3.3 Centrales Hidroeléctricas
4.3.4 Abastecimiento público de agua
4.3.5 Acuicultura
4.3.6 Otras
4.4 Desaparición parcial o total de una masa de agua
4.5 Otras alteraciones hidromorfológicas





Otras
5.1 Especies alóctonas y enfermedades introducidas
5.2 Explotación / Eliminación de fauna y flora
5.3 Vertederos controlados e incontrolados
6.1 Recarga de acuíferos
6.2 Alteración del nivel o volumen de acuíferos
7 Otras presiones antropogénicas
8 Presiones desconocidas
9 Contaminación histórica

Tabla nº 1. Catalogación del inventario de presiones.

Aunque en las proximidades de la Laguna Grande se encuentran aprovechamientos agrícolas (almendros y olivar en secano) y la autovía A-92M, estos no suponen presiones significativas sobre la laguna (Tabla nº 2).

Vertidos	Bombeos y extracciones	Morfológicas y del paisaje	Regulación del flujo	Extracción minera	Otros usos del suelo	Actividad agroganadera	Otras
--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla nº 2. Identificación de presiones en el entorno de la Laguna Grande.

4.2 IMPACTOS

Las presiones a las que se puede encontrar sometido un humedal determinan los impactos significativos que afectan al mismo, estos impactos se pueden diferenciar entre físicos, biológicos y ecológicos. En el caso de la Laguna Grande no se identifican impactos significativos.



5 VALORES DE CONSERVACIÓN DEL HUMEDAL

5.1 VALORES DE CONSERVACIÓN

A partir de la información disponible en las diferentes fichas y planes referentes a la Laguna Grande, se han identificado los siguientes elementos de interés para su conservación.

5.1.1 CRITERIOS RAMSAR

- Sustenta especies vulnerables, en peligro o en peligro crítico, o comunidades ecológicas amenazadas.
- Sustenta poblaciones de especies vegetales y/o animales importantes para mantener la diversidad biológica de una región biogeográfica determinada.

5.1.2 HÁBITATS DE INTERÉS COMUNITARIO

En la Tabla nº 3 se muestran los hábitats de interés comunitario presentes en el entorno de la Laguna Grande.

Código	Hábitat de Interés Comunitario (HIC)
3190	Lagos y lagunas kársticas sobre yesos
6420	Prados húmedos mediterráneos de hierbas altas de <i>Molinion-Holoschoenion</i>

Tabla nº 3. HIC presentes en el entorno de la Laguna Grande.

5.1.3 ESPECIES DE INTERÉS COMUNITARIO

La Tabla nº 4 recoge las especies de interés comunitario presentes en la Laguna Grande.

Grupo	Nombre de la especie	Nombre común
Aves	<i>Fulica cristata</i>	Focha cornuda
Aves	<i>Aythya nyroca</i>	Porrón pardo
Aves	<i>Pandion haliaetus</i>	Águila pescadora
Reptiles	<i>Mauremys leprosa</i>	Galápago leproso

Tabla nº 4. Especies de interés comunitario presentes en la Laguna Grande.



5.2 ESTADO GENERAL DE CONSERVACIÓN

5.2.1 ESTADO ECOLÓGICO Y QUÍMICO DEL HUMEDAL

Tal y como se recoge en el vigente Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, la masa de agua Lagunas de Archidona, donde se encuentra la Laguna Grande, en base a los datos de la red de control y a la ausencia de presiones e impactos, presenta un estado ecológico bueno.

De igual modo, se determina que la masa se encuentra en buen estado químico.

5.2.2 ESTADO DE CONSERVACIÓN GENERAL

La Laguna Grande no presenta ni presiones ni impactos significativos, por lo que su estado de conservación general se determina como bueno o mejor.



6 HIDROLOGÍA DEL HUMEDAL

La descripción del funcionamiento hidrológico e hidrogeológico de la Laguna Grande de Archidona se ha realizado a partir de la información de los informes de la Junta de Andalucía relativos al contexto hidrogeológico de los humedales andaluces (2005a). En la realización de los balances de la cuenca se han considerado los valores de ciertas variables aportadas por el modelo de simulación precipitación-escorrentía SIMPA (CEDEX, 2019). Para los datos de nivel de lámina de agua se han utilizado los valores obtenidos a partir del modelo digital del terreno obtenido mediante LiDAR.

6.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO

6.1.1 RED HIDROGRÁFICA Y CUENCAS

La zona de estudio, ubicada en el sector de Los Hoyos, se encuentra en el límite entre las demarcaciones hidrográficas de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas y del Guadalquivir, en esta zona la circulación de las aguas es fundamentalmente subterránea debido a la elevada karstificación que presenta la zona.

En la zona se encuentran multitud de pequeñas depresiones endorreicas que constituyen dolinas de recarga donde confluyen las aguas de escorrentía superficial. En estos puntos, situados a mayor cota, se produce la infiltración de parte de las aguas que reciben, que posteriormente son drenadas por manantiales situados en las zonas de borde de este sector. En este sentido la Laguna Grande funciona como una dolina de descarga, que se sitúa en las cotas más bajas, donde aflora el nivel freático de la zona.

En el área de influencia de la Laguna Grande, las aguas subterráneas se drenan principalmente por el manantial del Molino de los Aguileras, el cual da lugar a un arroyo tributario del río Guadalhorce por su margen derecha.

6.1.2 FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO EN CONDICIONES NATURALES

No existen cauces que viertan sus aguas a la laguna, cuya cuenca de recepción es muy pequeña, presenta una superficie de 31,1 has, aunque de esta, unas 10 has realmente vierten a una dolina próxima a la laguna, por lo que se puede fijar la superficie efectiva que vierte sus aguas de forma directa a la laguna en 21,1 has. Esta cuenca no es muy extensa, en relación con la superficie de la cubeta y el volumen de agua que almacena.

En términos generales, el funcionamiento de la Laguna Grande es permanente, con oscilaciones importantes en función de las precipitaciones del año.

La recarga en la laguna se produce a partir de:

- Precipitación en forma de lluvia que cae directamente en la cubeta de la laguna.
- Agua de escorrentía que circula en superficie hasta alcanzar el humedal, preferentemente de manera difusa debido a la ausencia de cauces que canalicen el agua de precipitación (flujo hipogénico).
- Aporte de agua subterránea desde el acuífero.

La evaporación es el fenómeno que condiciona de manera primordial el vaciado de la laguna, donde se observa que el descenso estacional de nivel comienza prácticamente todos los años en los meses en que los índices de evaporación empiezan a ser más elevados, lo cual varía de unos años a otros.

Los materiales del Trías de Antequera, desde el punto de vista hidrogeológico, se consideran que constituyen el substrato impermeable de los sistemas hidrogeológicos de la zona aunque, en este sector y relacionado con los afloramientos yesíferos que presenta, existe una red kárstica bastante desarrollada, lo cual origina un acuífero de carácter kárstico, donde la Laguna Grande está directamente relacionada con este y constituye un punto en el cual su nivel se corresponde con el nivel piezométrico de dicho acuífero.

El límite superior de la laguna, correspondiente con la superficie máxima de la lámina de agua, queda marcado por el rebosadero del sector noroccidental, el cual se sitúa a 795,5 m.s.n.m., este valor se ha determinado a partir del modelo digital del terreno realizado con precisión de 10 cm mediante el uso de datos LIDAR (1ª Cobertura realizada por el IGN, PNOA-2014). No obstante, según Rodríguez-Rodríguez *et al.* (2001) la altura máxima de columna de agua registrada se sitúa en 13,2 m para el año hidrológico 1997/98, lo cual determinaría una cota, según el modelo realizado (nivel base de la laguna a 780 m), de 793,2 m.s.n.m.

6.1.3 FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO EN CONDICIONES MODIFICADAS

La Laguna Grande no presenta ningún tipo de presión, ni impactos significativos, por lo que se puede considerar que no tiene afección que origine un régimen modificado diferente al régimen natural.

6.2 SERIES DE NIVELES DEL HUMEDAL Y BALANCE ASOCIADO

La Junta de Andalucía realiza desde noviembre de 2005, un seguimiento de las variaciones de lámina de agua que se producen en la Laguna Grande (inicialmente con registro quincenal y posteriormente mensual). Los datos se expresan como altura máxima de la columna de agua, a partir de estimaciones.

Según se recoge en Gil Márquez (2018), en periodos en los que los ascensos de lámina de agua de la laguna fueron muy acusados, la escala utilizada para la lectura limnimétrica quedó sumergida, de forma que las variaciones limnimétricas tuvieron que inferirse a partir de la distancia vertical entre la superficie inundada y determinados puntos de referencia (Figura nº 13). Dichas medidas son poco precisas y, en conjunto, aportan un elevado error a la serie de datos.

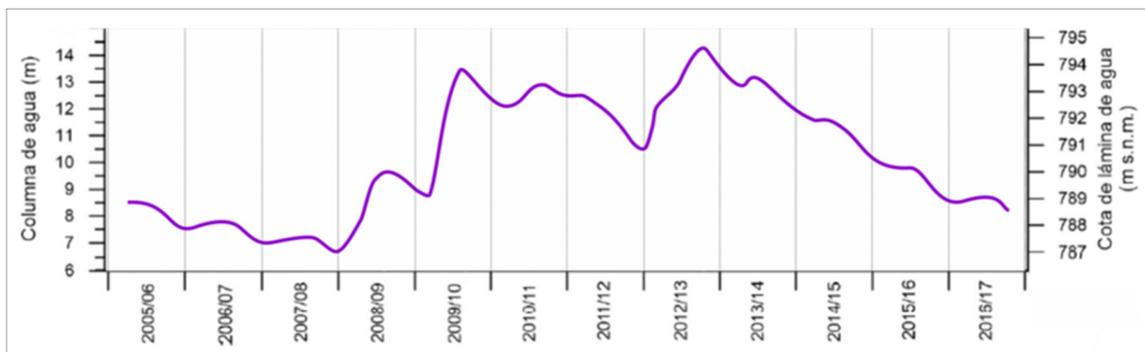


Figura nº 13. Evolución limnimétrica de la laguna Grande (modificado de Gil Márquez, 2018).

Por tanto, esta evolución aporta información cualitativa valiosa, aunque no cuantitativa; es decir, la serie de datos puede ser muy útil para analizar el comportamiento hidrológico de la laguna.

Para el balance hídrico se han utilizado los valores deducidos a partir de los datos hidrológicos del modelo SIMPA, el cual refleja en gran medida el comportamiento hidrológico natural de la laguna (Figura nº 14).

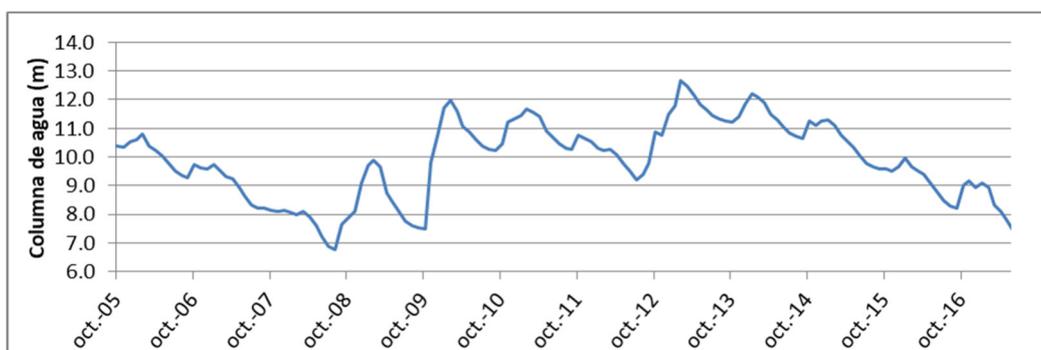


Figura nº 14. Evolución limnimétrica de la laguna Grande (modelo SIMPA elaborado).

6.3 MODELIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DEL HUMEDAL

6.3.1 MODELO EMPLEADO

Para la simulación de los aportes a la Laguna Grande se ha utilizado un modelo agregado de balance continuo. Estos modelos se utilizan fundamentalmente para la evaluación de recursos hídricos de cuencas hidrográficas, realizando la simulación de largos periodos de tiempo, de 50 a 100 años, con lapsos de tiempo mayores que los modelos de eventos (el día, el mes o el año). Estos modelos utilizan las variables de estado para el cálculo de la nueva situación de la cuenca, por lo que realizan de forma continua el balance de agua en la cuenca hidrográfica.

El modelo más utilizado en España es el modelo de Témez (1977) que deriva del modelo de THORNTHWAITE-T y es similar al método planteado por el “Número de Curva” del *Soil Conservation Service*, ya que es un modelo conceptual de pocos parámetros que simula de forma sencilla el ciclo hidrológico y, a su vez, la ley que gobierna la generación de excedente, es decir, el agua que no es interceptada por el suelo.

La aplicación del modelo de Témez de forma distribuida dio lugar al modelo SIMPA (Sistema Integrado Precipitación Aportación) (Ruiz, 1998), que es un modelo hidrológico conceptual distribuido de simulación continua mensual integrado con un sistema de información geográfica GRASS (Estrela, 1996). Este modelo ha sido aplicado en la evaluación de los recursos hídricos en España, con una resolución inicial de 1km x 1km, realizada durante la elaboración del “Libro Blanco del Agua en España” (MMA, 2000) y para la elaboración de los planes hidrológicos de las demarcaciones. Actualmente presenta una resolución de 500m x 500m.

De cara al tercer ciclo de planificación, desde el CEDEX se han realizado diversas mejoras en el modelo SIMPA, entre estas se encuentran el tratamiento de la nieve en la formulación del modelo hidrológico, mejoras en los datos de entrada de las variables atmosféricas (revisión de datos, interpolación, incorporación de estaciones SIAR para mejorar la ETP, nuevos mapas correctores de ETP), revisión de los datos de los puntos de contraste y selección de nuevos puntos, mejoras en los mapas de parámetros utilizados en la calibración, etc.

Se ha trabajado con una superficie fija de la laguna cifrada en 5 has.

6.3.2 VALIDACIÓN DE RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO

Los resultados de aplicar esta aproximación al balance hídrico de la Laguna Grande mediante el modelo SIMPA se ha contrastado con la evolución limnimétrica registrada.

La evolución de los niveles simulados de la Laguna Grande para el periodo 1980-2018 se muestra en la Figura nº 15.

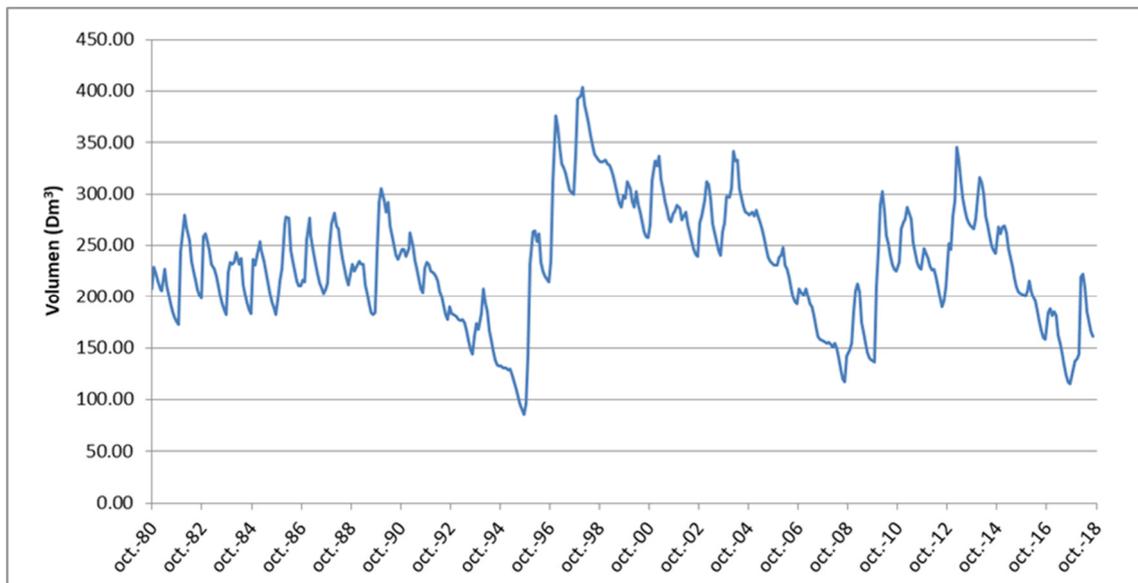


Figura nº 15. Evolución de niveles simulados para la Laguna Grande (oct1980-sep2018).

6.3.3 BALANCE HÍDRICO DEL HUMEDAL

A partir de los datos obtenidos en la simulación hidrológica, se ha realizado el balance medio de la Laguna Grande en condiciones hidrológicas naturales y para el periodo 1980-2018 (Tabla nº 5).

Balace	Componente	mm	Vol (Dm ³)
Entradas	Precipitación	588,8	29,44
	Superficial	66,7	11,98
	Subterránea	94,2	94,21
	Total		135,63
Salidas	ETP	1.185,3	59,26
	ETR	468,5	76,37



Balance	Componente	mm	Vol (Dm ³)
	Relación acuífero	--	--
	Total		135,63

Tabla nº 5. Balance hídrico Laguna Grande.

6.4 ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO DEL HUMEDAL

Como se indicó con anterioridad, la Laguna Grande no presenta ningún tipo de presión, ni impacto, y no tiene afección que origine un régimen modificado diferente al régimen natural.



7 SÍNTESIS ECOLÓGICA E HIDROLÓGICA DEL HUMEDAL

7.1 MODELO CONCEPTUAL

La Figura nº 16 representa el marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y los diversos componentes bióticos del ecosistema.

El régimen hidráulico de la laguna está fundamentalmente condicionado por los aportes de la escorrentía superficial, la precipitación directa 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.) define el hidroperiodo de la laguna (2).

El régimen de inundación se traduce en determinados parámetros hidráulicos (profundidad media de encharcamiento, duración, etc.) que ejercen una gran influencia en la presencia y distribución de las especies vegetales (3).

La vegetación de la laguna ejerce un papel determinante en todas las épocas del ciclo biológico de anfibios (4), aves (5) y mamíferos (6).

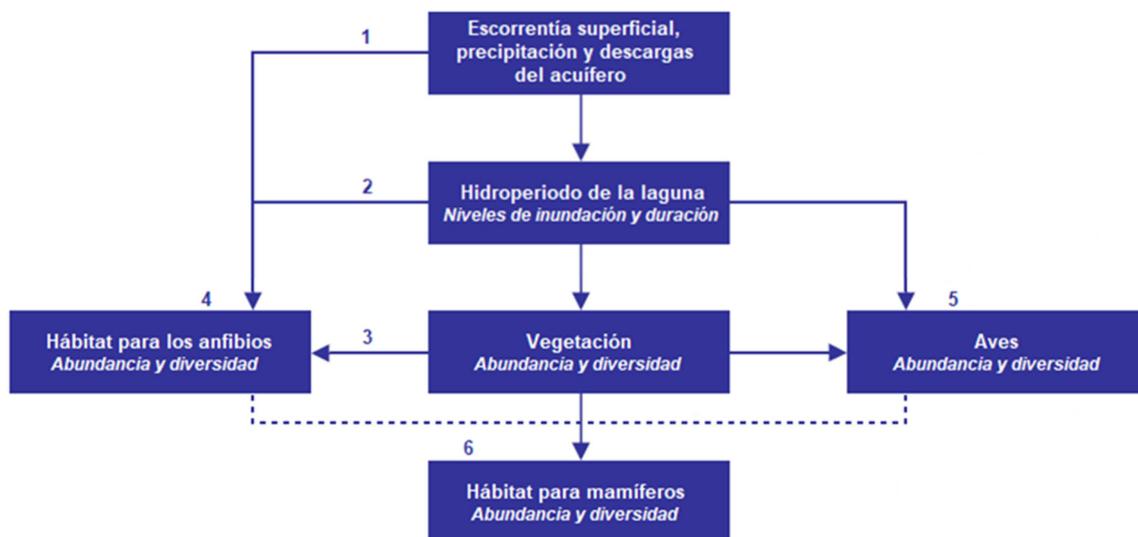


Figura nº 16. Marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y diversos componentes bióticos del ecosistema.

Las distintas especies de aves están desagregadas según la estructura del hábitat y tipo de recursos que explotan (2-3-5). 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 la laguna (3-6) condicionan el éxito reproductivo de numerosas especies. Al final de la primavera, la laguna comienza su proceso de secado.

Cuando el descenso de los niveles de lámina de agua es demasiado rápido y los nidos quedan en seco (2-5), se reduce el éxito reproductivo de las especies.



8 NECESIDADES HÍDRICAS DEL HUMEDAL

8.1 OBJETIVOS DE CONSERVACIÓN ASOCIADOS AL RÉGIMEN DE NECESIDADES HÍDRICAS

En la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) queda establecida que “en la medida en que las zonas protegidas de la Red Natura 2000 y de la Lista de Humedales de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar puedan verse afectadas de forma apreciable por los regímenes de caudales ecológicos, estos serán los apropiados para mantener o restablecer un estado de conservación favorable de los hábitat o especies, respondiendo a sus exigencias ecológicas y manteniendo a largo plazo las funciones ecológicas de las que dependen” .

Al considerar los objetivos de conservación establecidos en el marco legal para la Laguna Grande, con la presente propuesta de necesidades hídricas se pretende contribuir a los siguientes apartados.

8.1.1 CONSERVACIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUNCIONES ECOLÓGICAS GENERALES

- a) Garantizar el mantenimiento de la estructura y funcionalidad del ecosistema lagunar y sus elementos asociados.
- b) Mantener la laguna en unas condiciones lo más similares posible a las originales como ecosistema de laguna continental.
- c) Potenciar la contribución del área al proceso de nidificación, migración e invernada de las aves como enclave de apoyo trófico y refugio.

8.1.2 CONSERVACIÓN DE ESPECIES Y HÁBITATS

- a) Servir de base para la conservación de las especies en general, teniendo entre otras funciones las de reserva genética.
- b) 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.
- c) Mantener al menos en un estado de conservación favorable los Hábitats Naturales de Interés Comunitario presentes en la zona de estudio.
- d) Mantener al menos en un estado de conservación favorable las Especies de Interés Comunitario presentes en la zona de estudio.
- e) Mantener al menos en un estado de conservación favorable las especies de aves del Anexo I de la Directiva 79/409 CEE y la Directiva 91/244/CEE presentes en la zona de estudio.

- f) 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.
- g) 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.

8.1.3 CONSERVACIÓN DE PAISAJES

- a) Mantener en un estado adecuado los paisajes de la laguna y de su entorno, en relación a su elevada singularidad dentro de la Península.

8.2 FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS

Las necesidades hídricas se pueden abordar desde diferentes aproximaciones, entre las que destacan la aproximación puramente hidrológica (basada en los hidroperiodos de referencia) y la basada en criterios biológicos, la cual relaciona la reducción de los aportes en régimen natural con la superficie potencial de diferentes Hábitats de Interés Comunitario.

La aproximación hidrológica se fundamenta en que el régimen hidrológico natural del humedal (por extensión el hidroperiodo y el régimen de inundación) constituye el factor principal de organización del ecosistema acuático. Si se considera 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. De esta forma, el estudio del régimen de inundación se ha realizado a partir del régimen natural de inundación de la Laguna Grande, a partir de la caracterización de sus correspondientes hidroperiodos característicos.

En el caso de las aproximaciones hidro-biológicas, se analiza la respuesta de comunidades vegetales (hábitats tipificados según la Directiva Hábitats) en relación con los cambios en el régimen de inundación en escenarios de reducción de los aportes a la laguna. La identificación de parámetros hidráulicos clave de estas comunidades junto a los modelos de llenado/vaciado del humedal permite definir sus correspondientes respuestas potenciales.

8.2.1 APROXIMACIÓN HIDROLÓGICA

8.2.1.1 HIDROPERIODO TÍPICO DEL HUMEDAL

La Laguna Grande experimenta grandes oscilaciones en el volumen de sus aguas en función de la distribución de las precipitaciones que se recogen en la zona de influencia, las cuales presentan fuertes variaciones, tanto anuales como estacionales.

Las fluctuaciones estacionales se caracterizan por un máximo a principios de primavera y un mínimo a finales de verano. En la Figura nº 17 se muestran los volúmenes de la laguna que representan los hidroperiodos para años con características secas, medias y húmedas. Para esta caracterización se han empleado los percentiles 25, 50 y 75 sobre la serie de volúmenes mensuales de la laguna en régimen natural obtenidos con el modelo precipitación-escorrentía SIMPA.

En un ciclo anual típico, las precipitaciones de finales de otoño comienzan a inundar la laguna. La cota de inundación aumenta progresivamente a lo largo del invierno e inicio de la primavera, lo cual coincide con abundantes precipitaciones y escasa evaporación debida a las suaves temperaturas. A partir de este momento la laguna se va secando progresivamente, reduciendo su superficie. Al ser una cubeta endorreica, las pérdidas de agua se producen casi en exclusiva por evaporación (debe existir una pequeña parte que se pierda como escorrentía subterránea). La laguna ocupa su menor extensión en el ciclo anual a finales del verano, época que coincide con las menores precipitaciones y máximas temperaturas.

La Laguna Grande no llega a secarse, por lo que presenta un hidroperiodo permanente, incluso durante los periodos de varios años consecutivos de sequías, lo que refuerza su importante papel para el mantenimiento de las poblaciones vegetales y animales de su área de influencia.

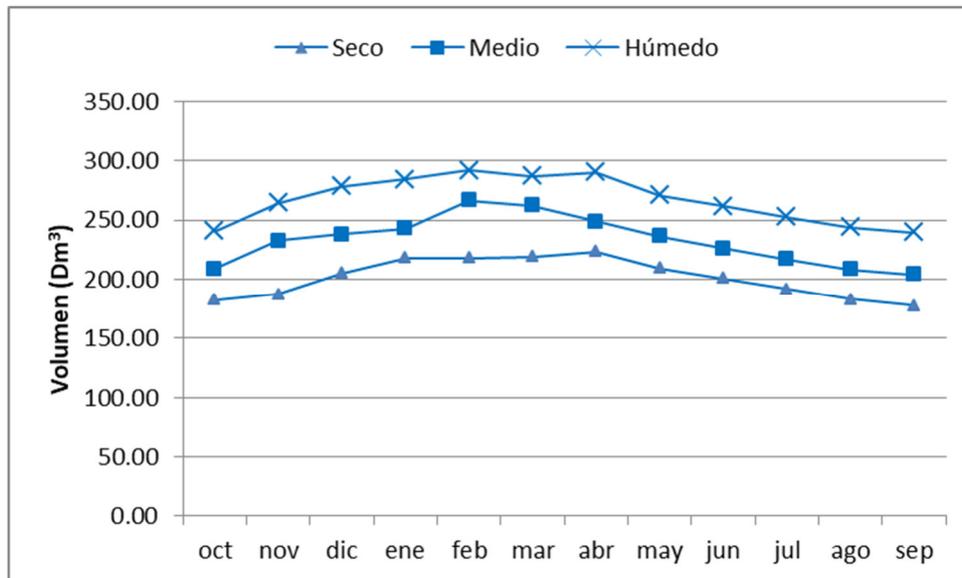


Figura nº 17. Hidroperiodo típico.

8.2.1.2 DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES DE LA LAGUNA

Según los datos obtenidos con el modelo SIMPA, la distribución de los volúmenes naturales de la laguna se muestra en la Figura nº 18.

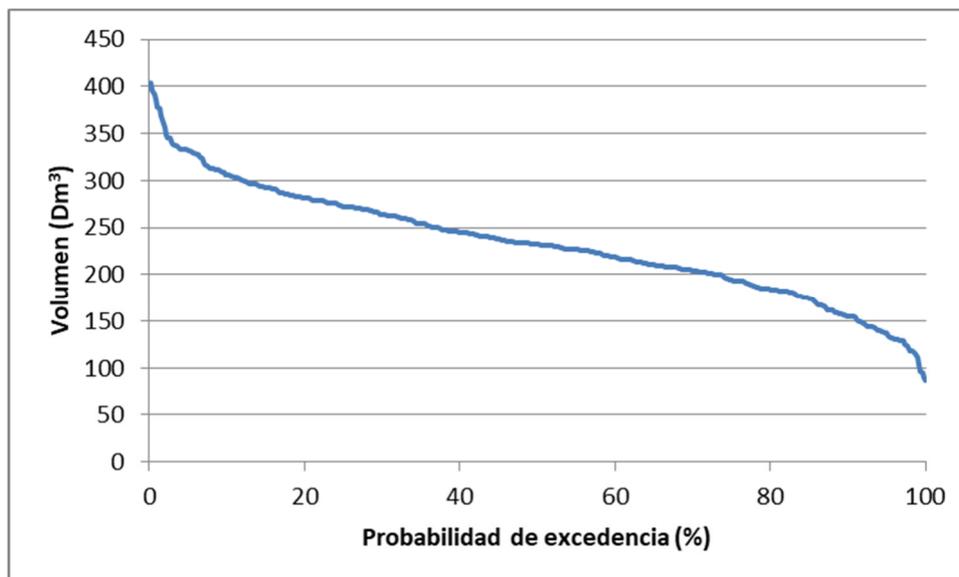


Figura nº 18. Distribución de volúmenes.

A partir de los datos obtenidos con el modelo, la laguna no ha llegado a secarse nunca durante el periodo de estudio. El volumen mediano de la laguna es de unos 231,8 Dm³, mientras que el volumen de 305 Dm³ sería superado solo en el 10% de las ocasiones. El volumen máximo obtenido con el modelo se estima en 403,3 Dm³ en el año 1998.

8.2.1.3 CARACTERIZACIÓN DE HIDROPERIODOS DE REFERENCIA

8.2.1.3.1 VARIABLE FÍSICA EMPLEADA

Según la IPH, “la caracterización de los requerimientos hídricos se realizará a partir de las variables físicas que reflejen más adecuadamente las características estructurales y funcionales de cada lago” , añadiendo que, “los criterios numéricos a partir de los cuales se formulen las propuestas de régimen hídrico, como percentiles, periodos de retorno de eventos, presencia o ausencia de taxones o éxito reproductivo, tendrán como referencia las condiciones naturales y permitirán alcanzar condiciones coherentes con la consecución de las funciones y objetivos ambientales perseguidos” .

En este estudio se ha considerado el régimen de inundación del humedal (entendido como la variación de los volúmenes o niveles de lámina de agua a lo largo del tiempo) como factor ambiental clave que determina en gran medida la presencia y distribución de las comunidades biológicas.

La IPH especifica que “los requerimientos hídricos ambientales de los humedales deberán (...) satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas (...) mediante la preservación de los procesos ecológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos” , incidiendo en la necesidad de considerar en su estudio “las variaciones estacionales e interanuales” . Los patrones naturales de inundación de un humedal (no importa cuán extremos puedan ser) 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 naturales de inundación. La caracterización de este régimen de inundación mediante aproximaciones hidrológicas (basadas en percentiles, medias móviles, etc.) permite de esta manera formular propuestas de necesidades hídricas.

8.2.1.3.2 SERIES DE DATOS HIDROLÓGICOS

La IPH recomienda que las series hidrológicas deberán “caracterizar su régimen natural” , comprendiendo un periodo temporal lo más extenso posible, que abarque al menos “los años hidrológicos 1940/41 a 2005/06 (ambos inclusive) con datos mensuales” . No obstante, en el caso del cálculo de necesidades hídricas la IPH indica que “se aplicará sobre una serie hidrológica representativa de al menos 20 años, preferentemente consecutivos, que presente una alternancia equilibrada entre años secos y húmedos” .

En este trabajo se ha realizado un balance agregado en condiciones hidrológicas naturales a escala mensual. En el caso de la determinación de las necesidades hídricas se ha empleado el periodo 1980-2018, haciendo énfasis en el periodo hidrológico más reciente.

Para conocer la representatividad, se han empleado sobre la serie de volúmenes medios anuales los percentiles 33 y 66, definiendo de esta forma tres grupos de años húmedos, medios y secos. Posteriormente se han contado sobre la serie cuántos años aparecían en cada uno de los grupos, lo que permite indicar que los datos hidrológicos empleados para el cálculo de las necesidades hídricas cumplen con el requisito de representatividad de la IPH. En la Figura nº 19 se muestran los resultados obtenidos.

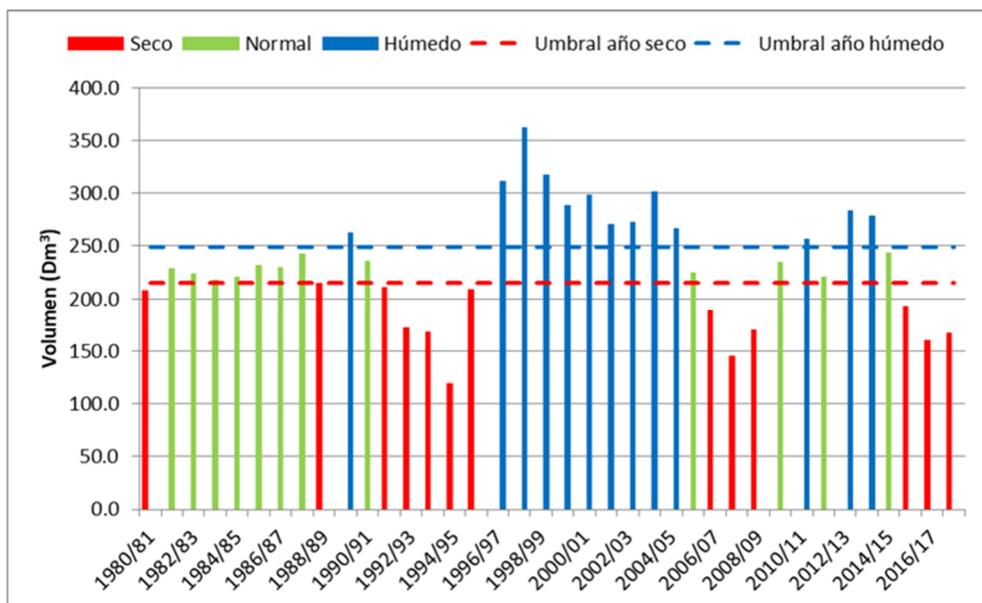


Figura nº 19. Volumen en la laguna. Periodo 1980-2018.

8.2.1.3.3 DIFERENCIACIÓN DE SITUACIONES HIDROLÓGICAS: AÑOS SECOS, MEDIOS Y HÚMEDOS

A diferencia de los sistemas lóticos (ríos), los humedales endorreicos y de cierto tamaño de cuenca presentan una inercia hidrológica muy significativa.

El fenómeno de acumulación de volúmenes y su correspondiente inercia hidrológica tiene efectos significativos sobre temporalidad de los humedales, y en consecuencia, sobre su estructura y funcionamiento. Los balances anuales negativos van reduciendo progresivamente los volúmenes,

pero esta larga inercia puede hacer concatenar varios ciclos húmedos consecutivos y que el humedal no llegue a sufrir la desecación en los ciclos secos.

Otra circunstancia, no menos importante, está en relación con el tamaño del humedal y su capacidad de acogida de diversidad. Como indica un patrón fundamental de la Teoría de Islas (Paracuellos, 2005), la reducción en tamaño de los humedales da lugar a una disminución en el número de especies que albergan, bien por la pérdida de área per se (de modo que cuanto más superficie se pierde menos individuos y especies caben en el humedal) o bien a que, conforme merma la extensión, existen muchas posibilidades de que el ambiente aún superviviente pierda tipos distintos de hábitats palustres simplificándose su complejidad estructural. De aquí se puede deducir que los elevados volúmenes mantenidos durante varios años proporcionan una cantidad y condiciones de hábitat muy adecuadas para albergar ricas y diversas comunidades biológicas.

Son por estas razones por la que resulta necesario incorporar los ciclos húmedos en la formulación de propuestas de necesidades hídricas de los humedales. De no ser así, la aproximación hidrológica mediante variables de centralización móvil o los percentiles que recomienda la IPH trabajaría solamente con niveles mínimos y consecuentemente, humedales de reducido tamaño respecto a sus referentes naturales.

Para incorporar en el análisis hidrológico los ciclos húmedos, mediante el uso de los percentiles 33 y 66 de la serie corta 1980-2018 se han dividido los años hidrológicos en tres franjas (correspondientes a años húmedos, medios y secos) en función del volumen medio anual del humedal. Los resultados se muestran en la Tabla nº 6.

Valores característicos	Volumen medio (Dm ³)
Umbral año seco (percentil 33)	215,6
Umbral año húmedo (percentil 66)	248,8

Secos	Medios	Húmedos
1980/81	1981/82	1989/90
1988/89	1982/83	1996/97
1991/92	1983/84	1997/98
1992/93	1984/85	1998/99
1993/94	1985/86	1999/00
1994/95	1986/87	2000/01
1995/96	1987/88	2001/02
2006/07	1990/91	2002/03
2007/08	2005/06	2003/04
2008/09	2009/10	2004/05
2015/16	2011/12	2010/11
2016/17	2014/15	2012/13
2017/18		2013/14

Tabla nº 6. Distribución de años secos, medios y húmedos en la Laguna Grande.

8.2.1.3.4 FORMULACIÓN DE NECESIDADES HÍDRICAS A PARTIR DE LOS HIDROPERIODOS DE REFERENCIA

Según la IPH, para obtener la distribución temporal de los volúmenes mínimos (caso de los humedales), los métodos hidrológicos aplicarán variables de centralización móviles o bien percentiles entre el 5 y el 15%. En el caso de la Laguna Grande se ha optado por aplicar percentiles sobre la curva de volúmenes clasificados para cada mes. De esta forma se define también automáticamente el hidroperiodo del humedal, puesto que la caracterización de los percentiles se ha realizado a escala mensual.

Tal como se ha justificado en el apartado anterior, los hidroperiodos de referencia se han calculado para cada una de las tres condiciones hidrológicas en las que previamente se han dividido los años (secos, medios y húmedos). Atendiendo a las condiciones naturales del medio, para el horizonte de planificación del Plan, la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Grande se basará en la aplicación del percentil 15. La Tabla nº 7, Tabla nº 8 y Tabla nº 9 muestran los resultados obtenidos para cada condición hidrológica.

Para dar una mayor consistencia hidrológica en los resultados, se ha considerado que las propuestas para cada mes deberían ser mayores o iguales al valor correspondiente de la propuesta menos húmeda.

Años secos (Dm ³)														
Mes	80/81	88/89	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	06/07	07/08	08/09	15/16	16/17	17/18	P15
Oct	208,0	222,1	227,5	190,0	161,1	132,2	86,1	192,5	157,6	141,9	202,8	158,6	114,9	128,73
Nov	229,3	231,6	233,9	183,1	173,7	132,1	96,5	207,6	155,9	147,5	202,1	183,7	128,6	131,36
Dic	223,4	225,4	231,6	182,4	167,7	130,6	144,0	203,1	154,4	154,6	200,3	187,7	137,6	142,73
Ene	215,8	229,3	225,2	180,0	182,7	130,8	232,0	201,7	155,7	185,1	205,1	180,9	139,3	152,40
Feb	207,3	234,8	223,2	176,9	208,0	128,4	263,7	207,5	153,3	205,8	215,9	185,1	144,2	151,46
Mar	205,6	231,7	219,9	176,0	193,4	129,3	264,3	200,6	151,0	212,6	204,6	181,3	218,9	171,01
Abr	226,6	231,3	215,8	177,4	185,0	124,1	253,8	192,6	154,3	204,9	199,4	161,9	222,4	160,40
May	211,2	211,8	204,6	174,3	166,7	117,3	261,5	190,1	149,4	174,9	195,6	154,8	208,8	153,74
Jun	202,4	203,0	200,0	166,8	157,4	110,9	233,3	181,0	140,0	165,1	185,7	144,5	185,2	143,56
Jul	192,8	193,0	191,0	157,1	147,2	103,2	225,1	170,6	129,8	154,5	175,3	133,7	175,3	132,91
Ago	185,0	184,3	182,3	148,9	138,4	94,9	220,3	161,5	120,0	145,0	166,7	124,1	165,8	123,26
Sep	179,5	181,7	176,8	143,9	133,5	89,9	217,4	158,3	116,9	140,5	159,9	117,3	160,9	117,22
Volumen medio	207,2	215,0	211,0	171,4	167,9	118,6	208,2	188,9	144,9	169,4	192,8	159,5	166,8	

Tabla nº 7. Percentil 15 para años secos en la Laguna Grande.

Años medios (Dm ³)													
Mes	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	90/91	05/06	09/10	11/12	14/15	P15
Oct	175,4	197,9	182,2	183,0	182,6	210,8	207,3	241,3	233,2	138,0	226,7	242,5	179,82
Nov	172,8	258,8	224,3	236,9	197,1	216,1	213,4	246,1	231,0	136,5	247,4	267,8	188,59
Dic	244,5	261,7	233,7	230,4	215,7	214,1	250,3	246,4	230,6	209,9	242,6	261,6	215,12
Ene	261,0	254,0	232,2	240,4	226,9	255,6	270,9	239,8	238,2	244,9	237,2	268,4	235,42
Feb	279,2	245,3	233,2	254,2	271,3	276,2	281,7	246,7	239,9	290,3	229,4	268,9	237,58
Mar	267,3	231,9	242,8	245,9	278,0	259,8	269,3	261,9	248,3	302,5	225,7	261,9	238,95
Abr	254,6	226,9	232,0	235,0	276,2	242,7	266,3	250,2	231,0	284,5	226,7	247,4	229,59

Años medios (Dm ³)													
Mes	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	90/91	05/06	09/10	11/12	14/15	P15
May	234,8	220,0	237,1	224,6	245,1	231,6	249,6	235,6	226,5	259,6	219,5	238,6	222,99
Jun	225,0	210,3	212,1	213,2	234,3	222,4	237,2	226,8	218,9	251,3	209,4	229,6	211,49
Jul	216,1	200,7	201,7	203,4	224,7	213,7	227,8	217,2	208,5	240,7	199,2	218,6	201,33
Ago	207,1	193,0	193,2	194,5	215,9	209,1	218,5	207,7	199,6	232,1	189,3	209,3	193,14
Sep	201,5	186,4	187,0	188,7	211,0	203,4	212,2	203,9	194,6	226,9	195,4	205,3	188,10
Volumen medio	228,3	223,9	217,6	220,8	231,6	229,6	242,0	235,3	225,0	234,8	220,7	243,3	

Tabla nº 8. Percentil 15 para años medios en la Laguna Grande.

Años húmedos (Dm ³)														
Mes	89/90	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	10/11	12/13	13/14	P15
Oct	183,8	214,3	299,9	333,0	299,1	257,9	280,8	239,3	263,3	281,6	225,3	209,4	268,6	213,33
Nov	244,3	234,3	337,4	331,1	296,1	270,0	283,8	271,6	271,6	279,6	234,1	251,9	266,4	242,31
Dic	292,2	311,0	391,9	330,7	311,5	313,1	289,3	279,0	297,4	282,8	265,9	246,5	275,9	273,91
Ene	305,5	376,4	395,3	332,9	304,8	332,4	285,8	293,8	296,6	278,6	272,1	278,7	296,8	278,65
Feb	294,3	364,8	403,2	328,9	292,5	327,5	275,0	312,2	305,2	284,0	276,0	292,9	315,7	282,37
Mar	282,7	344,7	386,5	327,9	287,1	336,6	279,0	308,8	341,9	277,6	287,3	345,9	310,6	281,95
Abr	291,9	328,8	377,8	323,1	302,5	314,3	282,2	295,1	331,9	271,9	281,6	332,9	300,0	282,11
May	268,7	325,2	368,6	316,8	290,3	304,3	270,2	271,3	332,5	265,2	275,3	313,0	278,6	269,95
Jun	259,0	319,3	356,6	308,5	282,0	293,2	262,6	262,7	305,3	256,3	253,1	295,8	269,9	258,44
Jul	249,7	311,2	347,6	299,6	272,9	284,8	253,7	253,8	296,6	247,1	243,3	285,6	259,9	249,17
Ago	240,7	303,4	338,9	290,6	263,7	276,2	245,7	245,2	288,3	238,5	233,9	276,8	250,3	240,23
Sep	236,7	301,8	336,1	287,0	258,3	273,3	240,8	240,4	282,5	234,6	228,5	272,2	244,9	236,26
Volumen medio	262,4	311,3	361,7	317,5	288,4	298,6	270,7	272,8	301,1	266,5	256,4	283,5	278,1	

Tabla nº 9. Percentil 15 para años húmedos en la Laguna Grande.

Con los datos hidrológicos disponibles y los criterios de cálculo justificados anteriormente, la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Grande mediante una aproximación hidrológica se recoge en la Tabla nº 10.

Mes	Año (Dm ³)		
	Secos	Medios	Húmedos
Oct	128,73	179,82	213,33
Nov	131,36	188,59	242,31
Dic	142,73	215,12	273,91
Ene	152,40	235,42	278,65
Feb	151,46	237,58	282,37
Mar	171,01	238,95	281,95
Abr	160,40	229,59	282,11
May	153,74	222,99	269,95
Jun	143,56	211,49	258,44
Jul	132,91	201,33	249,17
Ago	123,26	193,14	240,23
Sep	117,22	188,10	236,26

Tabla nº 10. Propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Grande.

8.2.2 APROXIMACIÓN HIDROBIOLÓGICA

8.2.2.1 ASPECTOS ECOLÓGICOS Y FUNCIONALES DE LOS HÁBITATS

A continuación, se presentan de forma resumida algunos de los rasgos ecológicos y funcionales característicos de cada uno de los hábitats.

- **Hábitat 3190:**
 - La relevancia de los aportes hídricos se refiere principalmente a la capacidad de asegurar, mediante alimentación a través del acuífero y/o aportes superficiales, un balance hídrico que permita el mantenimiento de las condiciones de inundación para el desarrollo de las comunidades biológicas asociadas.
 - La presencia/ausencia de agua condiciona su comportamiento, su dinámica y su evolución, por lo que los patrones hidrodinámicos naturales (duración de la inundación, frecuencia, momento de inundación, tasas de ascenso y descenso, etc.) deben preservarse para conseguir la conservación de estos ecosistemas.

- **Hábitat 6420:**

- Lo verdaderamente determinante es el freatismo temporal, con una fuerte bajada de la humedad en verano, que les confiere ese carácter mediterráneo que constituye su principal diferencia ecológica con respecto a las comunidades de Molinietalia.
- El agua debe ser dulce o, como máximo, ligeramente salina, porque un incremento de la salinidad provoca su sustitución por los sintaxa del orden Juncetalia maritimi.

8.2.2.2 PREFERENCIAS HIDRÁULICAS DE LA VEGETACIÓN

Las comunidades vegetales de la Laguna Grande están también presentes en otros humedales. Esto permite que estudios más detallados sobre la dinámica vegetal y su régimen de inundación realizados en otros humedales, puedan servir como valores de referencia para las comunidades vegetales de la Laguna Grande.

Entre los humedales con larga tradición en estudios ecológicos y limnológicos figuran las marismas de Doñana. El estudio de casi 1.400 parcelas permitió agrupar las diferentes asociaciones vegetales según su régimen hidráulico de inundación (García Viñas *et al.*, 2005) (Figura nº 20). Los resultados se muestran en la Tabla nº 11.

Comunidad vegetal	Especies dominantes	Cota* (m s.n.m.)	Días de inundación
<i>Almajar</i>	<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	1,58 -1,83	57
<i>Almajar mixto</i>	<i>A. macrostachyum/Juncus subilatus</i>	1,60 - 1,36	95
<i>Junquillar negro</i>	<i>Eleocharis palustris</i>	1,54 - 1,34	166
<i>Castañuelar</i>	<i>Scirpus maritimus</i>	1,35 - 1,18	139
<i>Bayuncar</i>	<i>Scirpus litoralis</i>	1,21 - 1,00	184
<i>Lucio</i>	<i>Sin helófitos</i>	1,28 - 0,821	179

* Localización del 80% de las parcelas muestreadas.

Tabla nº 11. Agrupación de las asociaciones vegetales según su régimen hidráulico de inundación.

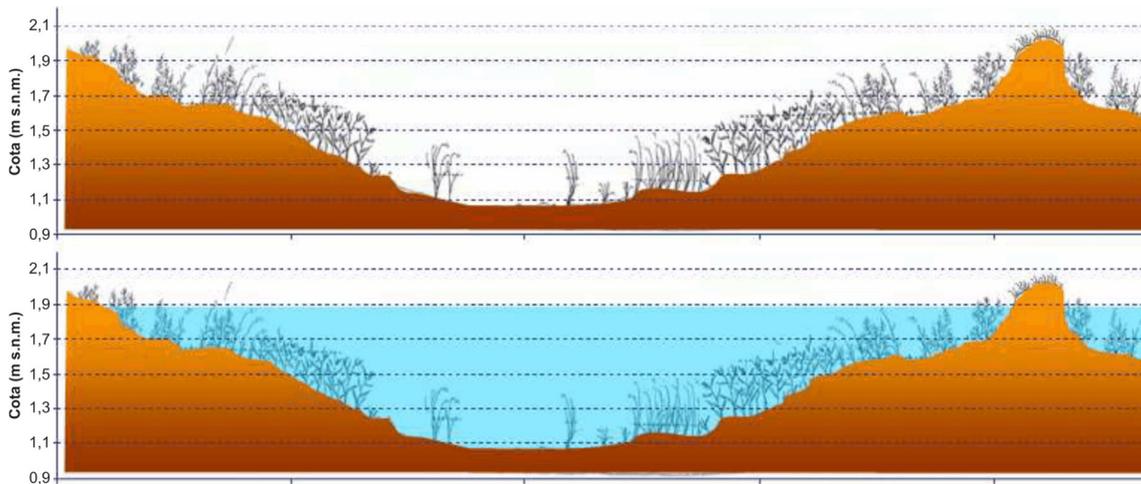


Figura nº 20. Modelo asociaciones vegetales según régimen hidráulico de inundación.

El paralelismo de algunas comunidades vegetales de Doñana con las propias de la Laguna Grande permite establecer desde un punto de vista teórico unos periodos de inundación característicos para cada una de ellas. Para este estudio se consideran las duraciones de inundación de la Tabla nº 12.

Hábitat	Duración de inundación
3190	5 – 12 meses
6420	0 meses

Tabla nº 12. Periodos de inundación.

8.2.2.3 ESCENARIOS HIDROLÓGICOS PARA LA LAGUNA

En condiciones hidrológicas naturales, en el balance hídrico realizado con el modelo SIMPA se han considerado como entradas de agua a la laguna la escorrentía superficial, la escorrentía subterránea y la precipitación directa sobre la lámina de agua. Para el periodo 1980-2018, los valores medios para estos tres componentes del balance son 20, 94 y 29 Dm³ respectivamente. Estas cifras ponen de manifiesto la importancia de los aportes superficiales y subterráneos en el balance de la laguna.

Si se considera que la precipitación es una variable que no puede ser gestionada, los aportes superficiales y subterráneos se convierten en la variable clave de gestión de la laguna.

Para simular los efectos de la reducción de aportes sobre la laguna, se ha realizado el balance de la misma con el modelo SIMPA y diferentes escenarios hidrológicos. Para conocer estos efectos a largo plazo se ha considerado el periodo de datos de simulación (1980-2018). En la formulación de los escenarios hidrológicos se ha considerado una reducción progresiva del 10% de los aportes

superficiales y subterráneos, partiendo de la situación natural (100% de los mismos) hasta un escenario extremo en el que no hay aportes de ambas fuentes.

Los escenarios simulados y su reflejo en la serie de balances se muestran en la Figura nº 21. A simple vista se puede apreciar la reducción gradual de aportes en el balance hídrico de la laguna, reduciéndose drásticamente los volúmenes máximos y apareciendo escenarios en los que la laguna se llegaría a secar.

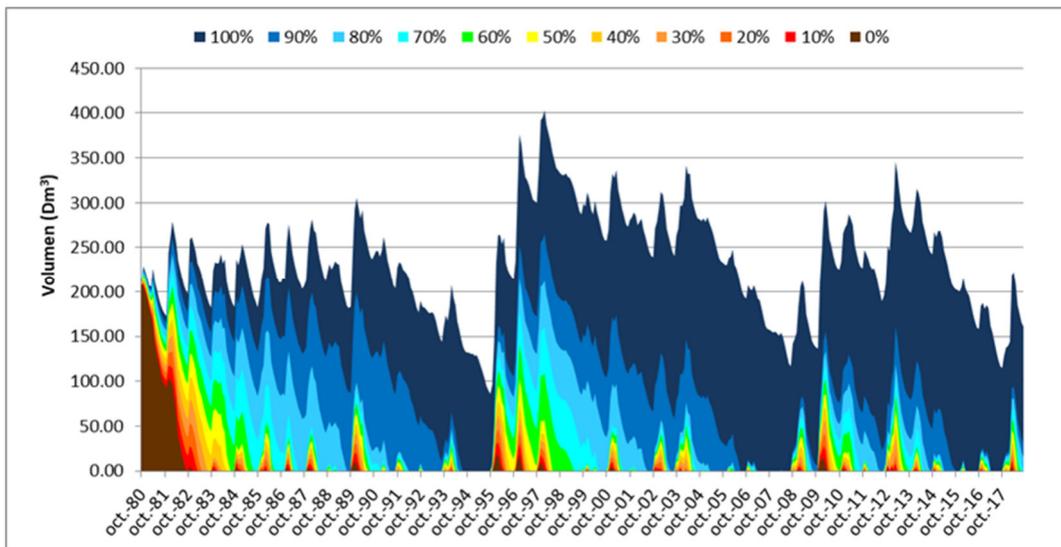


Figura nº 21. Formulación de escenarios mediante reducción progresiva del 10%.

8.2.2.4 RELACIÓN ENTRE LA SUPERFICIE POTENCIAL DE LOS HÁBITATS COMUNITARIOS Y LA REDUCCIÓN DE APORTES A LA LAGUNA

A partir de los escenarios hidrológicos anteriormente descritos, se han evaluado los efectos de la reducción de los aportes superficiales y subterráneos sobre la superficie potencial de los hábitats 3190 y 6420. Esta cuantificación ha sido posible gracias al modelo conceptual desarrollado en el punto 3.4.2.2.3 y las duraciones de inundación asignadas en el apartado 8.2.2.2.

La superficie potencial de los Hábitats de Interés Comunitario se muestra en la Figura nº 22.

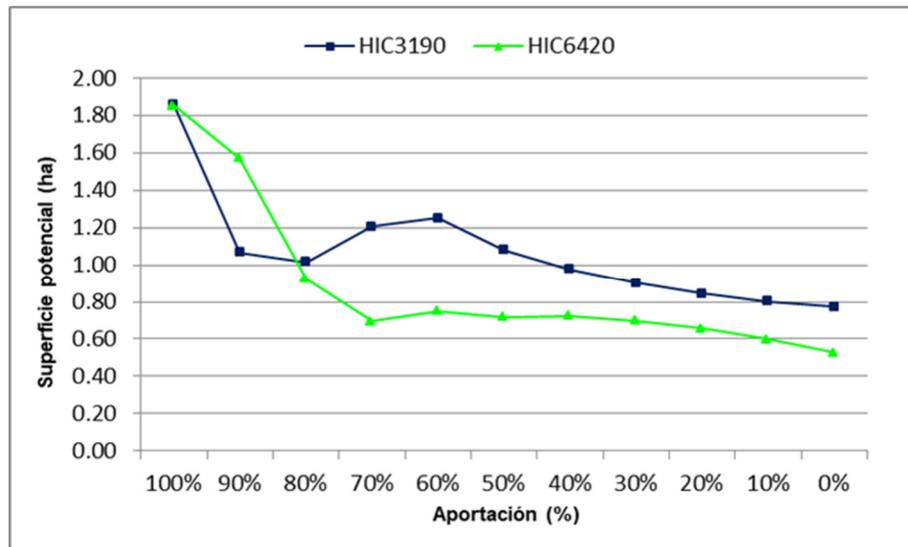


Figura nº 22. Evolución de la superficie de los HIC según aportaciones.

Con estos resultados se puede afirmar que:

- En condiciones naturales, la superficie potencial del hábitat 3190 sería de 1,86 ha y la del hábitat 6420 de 1,85 ha.
- La reducción de los aportes superficiales y subterráneos conlleva a una disminución de la superficie potencial de estos hábitats en la laguna.
- Si se eliminara la entrada de agua superficial y subterránea a la laguna, la superficie potencial de los hábitats 3190 y 6420 sería respectivamente de 0,77 y 0,53 has.

8.2.2.5 REDUCCIÓN MÁXIMA ADMISIBLE DE LAS APORTACIONES A PARTIR DE LA IPH

Según la IPH, los resultados obtenidos por aproximaciones hidrológicas deberán ajustarse mediante los modelos de simulación biológicos, que “tendrán como referencia las condiciones naturales y permitirán alcanzar condiciones coherentes con la consecución de las funciones y objetivos ambientales perseguidos” .

Con la simulación biológica y en el caso de los ríos, la IPH propone dos aproximaciones para la definición de la distribución de los caudales mínimos. La primera consiste en la utilización de un umbral del hábitat potencial comprendido en el rango 50-80% respecto al máximo, mientras que la segunda consiste en considerar el caudal correspondiente a un cambio significativo de pendiente en la curva de hábitat potencial útil-caudal.

La curva obtenida en este estudio que relaciona aportaciones versus superficies potenciales de los hábitats permite realizar una aproximación similar para el caso de la Laguna Grande. En la curva definida en el apartado 8.2.2.4. se observan cambios significativos de pendiente para ambos hábitats, en 90% para el hábitat 3190 y 85% para el hábitat 6420.

En el caso del criterio basado en mantener un 50-80% de la variable modelada respecto a las condiciones naturales, se puede interpretar como mantener entre el 50-80% de las superficies potenciales respecto a las condiciones naturales. Si en este caso se obtiene que en condiciones naturales (sin reducción de las aportaciones) las superficies potenciales de los hábitats 3190 y 6420 serían respectivamente de 1,86 ha y 1,85 ha, mantener un 50%-80% de las mismas supondría unas superficies potenciales de 0,93-1,49 ha para el hábitat 3190 y entre 0,93-1,48 ha para el hábitat 6420.

En términos de aportaciones, para mantener esos niveles de superficie potencial (50-80%) del hábitat 3190 supondría estar entre el 33-95% de las aportaciones naturales (superficiales y subterráneas), mientras que para el hábitat 6420 supondría un intervalo entre 80-89%.

Teniendo en cuenta la importancia de este enclave, se propone como objetivo de gestión que se mantenga el 90% de la superficie potencial de referencia, es decir, 1,07 ha para el hábitat 3190 y 1,57 ha para el hábitat 6420.

8.3 DISCUSIÓN Y SELECCIÓN DE PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS

En la aproximación hidrológica abordada en este estudio se ha considerado el régimen de inundación como elemento clave que refleja adecuadamente los aspectos funcionales y estructurales del ecosistema, se han caracterizado los mismos mediante percentiles y a partir de una serie hidrológica en régimen natural. La serie hidrológica ha sido obtenida con el modelo SIMPA (CEDEX, 2019) para el periodo 1980-2018, en el que se recoge una alternancia entre años secos y años húmedos.

Para los modelos biológicos, los elementos objeto de simulación podrán ser componentes de los ecosistemas, tales como especies de flora y fauna o hábitats naturales, bien considerados individualmente o bien por comunidades faunísticas o grupos de hábitats.

En el caso de la Laguna Grande se han identificado los hábitats de interés comunitario más representativos como elementos indicadores del humedal. Estos hábitats son relevantes para la conservación (a escala comunitaria, estatal o regional), tienen presencia significativa en el humedal y necesitan ser gestionados para mantenerlos, mejorarlos o controlarlos. Además, presentan

sensibilidad a los cambios en el régimen de inundación del humedal y, en particular, al tipo de alteración hidrológica que puede sufrir la masa de agua.

Se puede decir, por tanto, que desde el punto de vista metodológico las aproximaciones abordadas en este estudio recogen todos los aspectos que marca la Instrucción de Planificación Hidrológica.

Desde el punto de vista de los resultados, los modelos biológicos apuntan que las descargas de aguas superficiales y subterráneas deben ser de al menos el 95% para mantener el 80% de la superficie potencial de hábitat de interés comunitario más restrictivo (hábitat 3190). En comparación con la aproximación hidrológica y asumiendo el caso de los hábitats comunitarios como el más restrictivo en términos de conservación, un escenario de reducción de los aportes al 95% proporcionaría para los años secos, medios y húmedos (valores medianos) los volúmenes de agua a la laguna que se muestran en la Tabla nº 13.

Mes	Año (Dm ³)					
	Secos		Medios		Húmedos	
	Biológico	Hidrológico	Biológico	Hidrológico	Biológico	Hidrológico
Oct	70,82	128,73	132,72	179,82	169,84	213,33
Nov	99,64	131,36	149,16	188,59	186,58	242,31
Dic	98,90	142,73	165,25	215,12	208,13	273,91
Ene	111,19	152,40	167,54	235,42	217,28	278,65
Feb	111,06	151,46	170,54	237,58	224,51	282,37
Mar	111,90	171,01	182,18	238,95	223,82	281,95
Abr	103,48	160,40	172,33	229,59	212,64	282,11
May	93,08	153,74	157,68	222,99	205,60	269,95
Jun	84,81	143,56	145,19	211,49	191,71	258,44
Jul	74,43	132,91	135,65	201,33	181,41	249,17
Ago	65,55	123,26	127,18	193,14	173,63	240,23
Sep	60,33	117,22	122,29	188,10	167,44	236,26

Tabla nº 13. Propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Grande.

De la comparación de ambos resultados se puede observar que la propuesta hidrológica presenta en todos los casos unos volúmenes mayores a la propuesta biológica. Esta diferencia en los resultados

debe interpretarse en clave normativa, ya que el marco combinado de aproximaciones metodológicas que establece la Instrucción se plantea de forma subordinada, donde los métodos hidrológicos deben complementarse con los biológicos. Efectivamente, la IPH establece que la distribución de valores mínimos “se obtendrá aplicando métodos hidrológicos y sus resultados deberán ser ajustados mediante la modelación del hábitat” de determinadas especies objetivo.

En conclusión, si se consideran los resultados de la aproximación hidrológica más restrictiva, la propuesta de necesidades hídricas finalmente adoptada para la Laguna Grande:

1. Implica unos aportes superficiales y subterráneos de al menos el 95% de las descargas naturales.
2. Supone unos valores medianos para los años húmedos, secos y medios que se muestran en la

Tabla nº 14:

Año	Variable	Mes											
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Secos	Volumen (Dm ³)	128,73	131,36	142,73	152,40	151,46	171,01	160,40	153,74	143,56	132,91	123,26	117,22
	Superficie (ha)	3,23	3,28	3,49	3,67	3,65	4,00	3,81	3,69	3,50	3,31	3,12	3,01
	Profundidad (m)	7,61	7,71	8,13	8,48	8,44	9,11	8,76	8,52	8,16	7,77	7,40	7,16
Medios	Volumen (Dm ³)	179,82	188,59	215,12	235,42	237,58	238,95	229,59	222,99	211,49	201,33	193,14	188,10
	Superficie (ha)	4,16	4,32	4,78	5,12	5,16	5,18	5,02	4,91	4,72	4,54	4,40	4,31
	Profundidad (m)	9,40	9,68	10,46	11,01	11,07	11,10	10,86	10,68	10,36	10,06	9,82	9,66
Húmedos	Volumen (Dm ³)	213,33	242,31	273,91	278,65	282,37	281,95	282,11	269,95	258,44	249,17	240,23	236,26
	Superficie (ha)	4,75	5,24	5,75	5,82	5,88	5,88	5,88	5,69	5,50	5,35	5,20	5,14
	Profundidad (m)	10,41	11,19	11,95	12,05	12,13	12,13	12,13	11,86	11,59	11,36	11,14	11,03

Tabla nº 14. Valores medios para la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Grande.



9 RECOMENDACIONES DE CARA A LA GESTIÓN

La Laguna Grande de Archidona constituye un humedal que se encuentra en buen estado de conservación, sobre el cual no se ha identificado ningún tipo de presión o impacto significativo que afecte al mismo. Dada a las características de la zona y a la calidad de las aguas de la misma, se puede considerar que la laguna ha venido funcionando en régimen natural.

Es por ello por lo que se debería mantener esta situación de régimen natural en el tiempo, donde las recomendaciones más destacadas son entre otras:

- a) Mantener un control sobre la calidad de las aguas de la laguna.
- b) Se debería controlar la evolución de los niveles de la laguna, lo cual serviría para seguir con la mejora de los modelos.



10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bartolomé, C. et al. (2005). Los tipos de hábitat de interés comunitario de España: guía básica. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General para la Biodiversidad.

Blanca, G., B. Cabezudo, J. E. Hernández-Bermejo, C. M. Herrera, J. Muñoz y B. Valdés. (2000). Libro Rojo de la Flora Silvestre Amenazada de Andalucía. TOMO II: Especies Vulnerables. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Casado, S. y Montes, C. (1995). Guía de los Lagos y Humedales Españoles. J.M. Reyero eds.; Madrid.

CEDEX. (2019). Aplicación en las cuencas hidrográficas españolas del modelo SIMPA para la obtención de series en régimen hidrológico natural para el periodo 1940-2018. Datos disponibles en web.

Comisión Europea. (2003). *Interpretation manual of European Union habitats. EUR25*. 128 pp. D.G. Environment, Nature and Biodiversity.

Estrela, T. y L. Quintas. (1996). El sistema integrado de modelización precipitación-aportación SIMPA. Revista de Ingeniería Civil, nº 104. CEDEX-Ministerio de Fomento.

García Viñas, J. I., J. A. Mintegui y J. C. Robredo. (2005). La vegetación en la marisma del Parque Nacional de Doñana en relación a su régimen hidráulico. Naturaleza y Parques Nacionales. Serie Técnica. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente.

Gil Márquez, J.M. (2018). Caracterización hidrogeológica de humedales y manantiales salinos asociados a acuíferos kársticos evaporíticos del sector central del Subbético. Tesis doctoral. Universidad de Granada.

IGN. (2014). LiDAR (1ª Cobertura realizada por el IGN, PNOA-2014).

Junta de Andalucía. (2005a). Definición del Contexto Hidrogeológico de Humedales Andaluces. Tomo II: Humedales de Málaga.

Junta de Andalucía. (2005b). Caracterización Ambiental de Humedales en Andalucía. Consejería de Medio Ambiente.

Junta de Andalucía. (2020). Caracterización Ambiental de Humedales en Andalucía.

Junta de Andalucía. (2012). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas 2009-2015.

Junta de Andalucía. (2016). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas 2015-2021.

Keddy, P. (2002). *Wetland Ecology: Principles and Conservation*. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, xiv 1614 p.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010). Ficha Informativa Humedal Ramsar.

MMA. (2000). Libro blanco del agua en España. Secretaría de Estado de Aguas y Costas, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid: 1-637.

Moreira, J.M. y Montes, C. (2005). *Caracterización Ambiental de Humedales en Andalucía*. Junta de Andalucía. 511 pp. Madrid.

Paracuellos, M. (2005). Los humedales como islas de agua en un mar de tierra: La biogeografía y ecología insulares, una vez al servicio de la conservación. En: *Contrastes naturales en la región bioclimática del Mediterráneo*. (Eds. Ballesteros GA. & R. Pérez), pp. 175-189.

Pardo, L. (1948). *Catálogo de los Lagos de España*. Biología de las Aguas Continentales. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 522 pp. Madrid.

Reques Rodríguez, R. (2003). *Conservación de la Biodiversidad en los Humedales de Andalucía*. Junta de Andalucía. 323 pp. Sevilla.

Rodríguez-Rodríguez, M., Cruz-Pizarro, L., Cruz-San Julián, J.J., Benavente Herrera, J. y Almécija Ruiz, C. (2001). Caracterización limnológica de dos lagunas saladas del sur de la península Ibérica. *Limnetica*, 20(2), 233-243.

Ruiz, J.M. (1998). *Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual-distribuido de simulación continua integrado en un sistema de información geográfica*. Tesis Doctoral presentada en la Universidad Politécnica de Valencia.

Sánchez, R. y Viñals, M.J. (2012). *Manual para la determinación de las necesidades hídricas de los humedales. El contexto español*. MAGRAMA.

Témez, J. R. (1977). *Modelo matemático de transformación precipitación-aportación*. ASINEL, 1977.

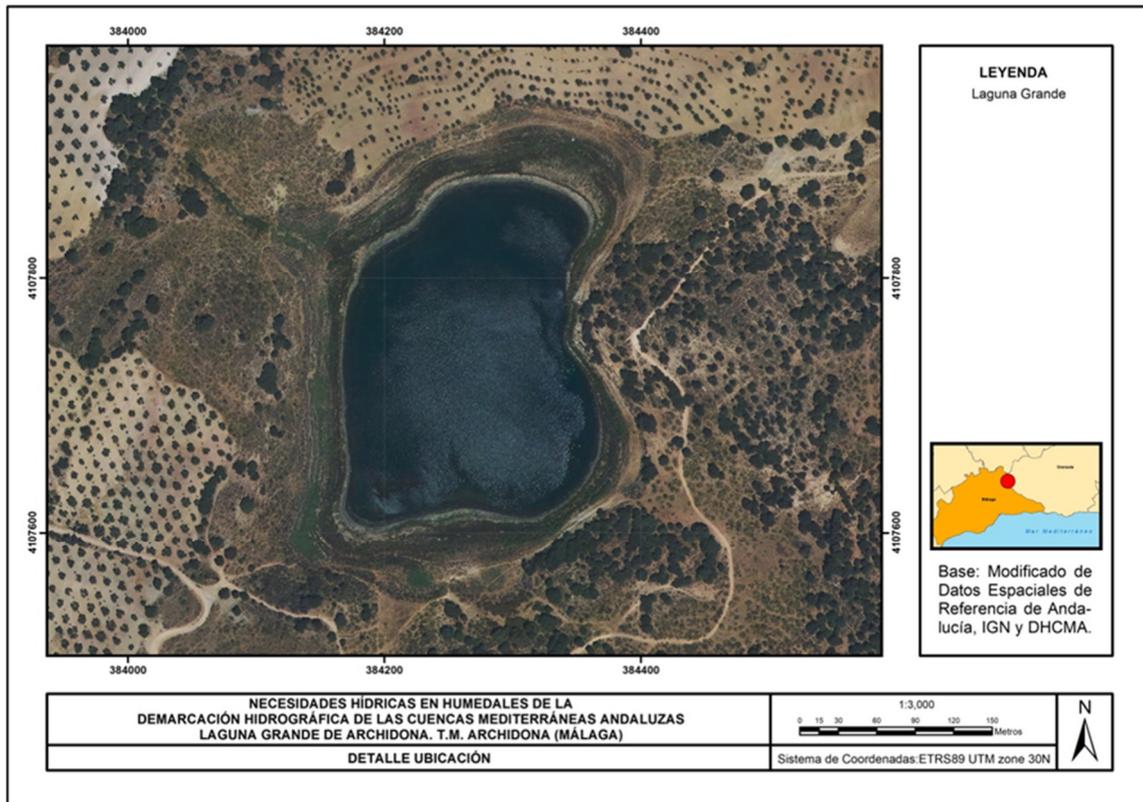
Villalobos Megía, M. (2006). Geodiversidad y Patrimonio Geológico de Andalucía. Itinerario Geológico por Andalucía. Guía didáctica de campo. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

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

WWF España. (2009). Caudales ecológicos de la marisma del Parque Nacional de Doñana y su área de influencia. 69 pp. Informe técnico.

11 ANEJO FOTOGRÁFICO



Detalle de ubicación de la Laguna Grande.



Detalle de yesos en la zona de la Laguna Grande.



Laguna Grande 1.





Manantial del Molino de los Aguileras.



Detalle de vegetación sumergida en la Laguna Grande.





Laguna Grande 2.



Panorámica de la Laguna Grande 1.





Panorámica de la Laguna Grande 2.





LAGUNA CHICA DE ARCHIDONA

T.M. DE ARCHIDONA

(MÁLAGA)

ÍNDICE:

1	INTRODUCCIÓN	1
2	DATOS GENERALES.....	2
2.1	SITUACIÓN.....	2
2.2	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	3
2.3	RÉGIMEN JURÍDICO DE PROTECCIÓN	3
2.3.1	Figuras de protección.....	3
2.3.2	Instrumentos y normas de gestión	4
3	CARACTERÍSTICAS DEL HUMEDAL	6
3.1	CLIMATOLOGÍA.....	6
3.2	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	8
3.2.1	Contexto geológico.....	8
3.2.2	Contexto geomorfológico	10
3.3	TOPOGRAFÍA Y CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS.....	11
3.4	FLORA Y VEGETACIÓN	13
3.4.1	Flora con interés de conservación	13
3.4.2	Vegetación	14
3.5	FAUNA.....	18
3.5.1	Principales especies de fauna	18
4	PRESIONES E IMPACTOS	20
4.1	PRESIONES.....	20
4.2	IMPACTOS.....	22
5	VALORES DE CONSERVACIÓN DEL HUMEDAL.....	23
5.1	VALORES DE CONSERVACIÓN	23
5.1.1	Criterios Ramsar	23
5.1.2	Hábitats de Interés Comunitario.....	23
5.1.3	Especies de Interés Comunitario	23
5.2	ESTADO GENERAL DE CONSERVACIÓN	24
5.2.1	Estado ecológico y químico del humedal.....	24
5.2.2	Estado de conservación general	24
6	HIDROLOGÍA DEL HUMEDAL.....	25
6.1	DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO	25
6.1.1	Red hidrográfica y cuencas	25
6.1.2	Funcionamiento hidrológico en condiciones naturales	25

6.1.3	Funcionamiento hidrológico en condiciones modificadas	26
6.2	SERIES DE NIVELES DEL HUMEDAL Y BALANCE ASOCIADO	27
6.3	MODELIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DEL HUMEDAL.....	28
6.3.1	Modelo empleado.....	28
6.3.2	Validación de resultados del modelo hidrológico.....	29
6.3.3	Balance hídrico del humedal	29
6.4	ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO DEL HUMEDAL.....	30
7	SÍNTESIS ECOLÓGICA E HIDROLÓGICA DEL HUMEDAL.....	31
7.1	MODELO CONCEPTUAL.....	31
8	NECESIDADES HÍDRICAS DEL HUMEDAL.....	33
8.1	OBJETIVOS DE CONSERVACIÓN ASOCIADOS AL RÉGIMEN DE NECESIDADES HÍDRICAS	33
8.1.1	Conservación y recuperación de funciones ecológicas generales	33
8.1.2	Conservación de especies y hábitats	33
8.1.3	Conservación de paisajes.....	34
8.2	FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS	34
8.2.1	Aproximación hidrológica	35
8.2.2	Aproximación hidrobiológica.....	43
8.3	DISCUSIÓN Y SELECCIÓN DE PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS.....	48
9	RECOMENDACIONES DE CARA A LA GESTIÓN.....	52
10	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
11	ANEJO FOTOGRÁFICO	56

FIGURAS:

Figura nº 1.	Situación general de la Laguna Chica de Archidona.	2
Figura nº 2.	Evolución de la precipitación, periodo 1980-2018.	7
Figura nº 3.	Climograma de la zona de estudio, periodo 1980-2018.	7
Figura nº 4.	Evolución de la ETP, periodo 1980-2018.	8
Figura nº 5.	Geología de la zona de estudio.	9
Figura nº 6.	Leyenda geológica de la zona de estudio.	10
Figura nº 7.	Génesis de una dolina mayoritariamente por disolución (arriba) y por colapso (abajo) de la roca suprayacente a una cavidad cercana a la superficie. Modificado del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).	11
Figura nº 8.	Relación superficie-volumen.	12
Figura nº 9.	Altimetría en la cuenca de la Laguna Chica.	13
Figura nº 10.	Tipo de grupo de HIC en el entorno de la laguna.	16
Figura nº 11.	Tipos de HIC en el entorno de la laguna.	17
Figura nº 12.	Perfil teórico de HIC en el entorno de la laguna.	17
Figura nº 13.	Evolución limnimétrica de la laguna Chica (modificado de Gil Márquez, 2018).	27
Figura nº 14.	Evolución limnimétrica de la laguna Chica (modelo SIMPA elaborado).	27
Figura nº 15.	Evolución de niveles simulados para la Laguna Chica (oct1980-sep2018).	29
Figura nº 16.	Marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y diversos componentes bióticos del ecosistema.	31
Figura nº 17.	Hidroperiodo típico.	36
Figura nº 18.	Distribución de volúmenes.	36
Figura nº 19.	Volumen en la laguna. Periodo 1980-2018.	38
Figura nº 20.	Modelo asociaciones vegetales según régimen hidráulico de inundación.	45
Figura nº 21.	Formulación de escenarios mediante reducción progresiva del 10%.	46
Figura nº 22.	Evolución de la superficie de los HIC según aportaciones.	47

TABLAS:

Tabla nº 1.	Catalogación del inventario de presiones.	22
Tabla nº 2.	Identificación de presiones en el entorno de la Laguna Chica.....	22
Tabla nº 3.	HIC presentes en el entorno de la Laguna Chica.	23
Tabla nº 4.	Especies de interés comunitario presentes en la Laguna Chica.	24
Tabla nº 5.	Balace hídrico Laguna Chica.	29
Tabla nº 6.	Distribución de años secos, medios y húmedos en la Laguna Chica.....	40
Tabla nº 7.	Percentil 15 para años secos en la Laguna Chica.	41
Tabla nº 8.	Percentil 15 para años medios en la Laguna Chica.	42
Tabla nº 9.	Percentil 15 para años húmedos en la Laguna Chica.	42
Tabla nº 10.	Propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Chica.	43
Tabla nº 11.	Agrupación de las asociaciones vegetales según su régimen hidráulico de inundación.	44
Tabla nº 12.	Periodos de inundación.....	45
Tabla nº 13.	Propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Chica.	49
Tabla nº 14.	Valores medios para la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Chica.....	51

1 INTRODUCCIÓN

La determinación de los requerimientos hídricos ambientales de las masas de agua catalogadas en la condición de lagos o zonas de transición de tipo lagunar tiene como objetivo primordial favorecer a conseguir su buen estado o potencial ecológico a través del mantenimiento a largo plazo de la funcionalidad y estructura de dichos ecosistemas, lo que debe facilitar unos escenarios de hábitat apropiados para satisfacer las necesidades de las distintas comunidades biológicas propias de estos ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante la conservación de los procesos ecológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.

El humedal constituido por las Lagunas de Archidona se sitúa al norte de la provincia de Málaga, próximo a la Autovía A-92M y a unos 2 km al sur de la población de Salinas. Está formado por las lagunas Grande y Chica de Archidona, que constituyen la Reserva Natural Lagunas de Archidona.

Este espacio se integra dentro del contexto geológico de Los Hoyos, con una superficie aproximada de 20 km² que se extiende en el límite provincial entre Granada y Málaga y se incluye dentro del Trías de Antequera, aunque bien diferenciado desde el punto de vista morfológico y estructural.

El presente estudio se individualiza para la Laguna Chica de Archidona.

2 DATOS GENERALES

2.1 SITUACIÓN

La Laguna Chica de Archidona constituye una de las dos que conforman la Reserva Natural Lagunas de Archidona, junto a la Laguna Grande.

Con una superficie aproximada de 5,36 has, la Laguna Chica se ubica dentro de varias parcelas del Polígono 11 del término municipal de Archidona, donde la mitad sur de la cubeta se corresponde íntegramente con la Parcela 69 de dicho polígono.

Las coordenadas del centro del polígono que define el ámbito de la reserva natural de la Laguna Chica en el sistema ETRS89 (30N) son:

- X: 383.707
- Y: 4.106.632

En la Figura nº 1 se muestra la situación general de la laguna.

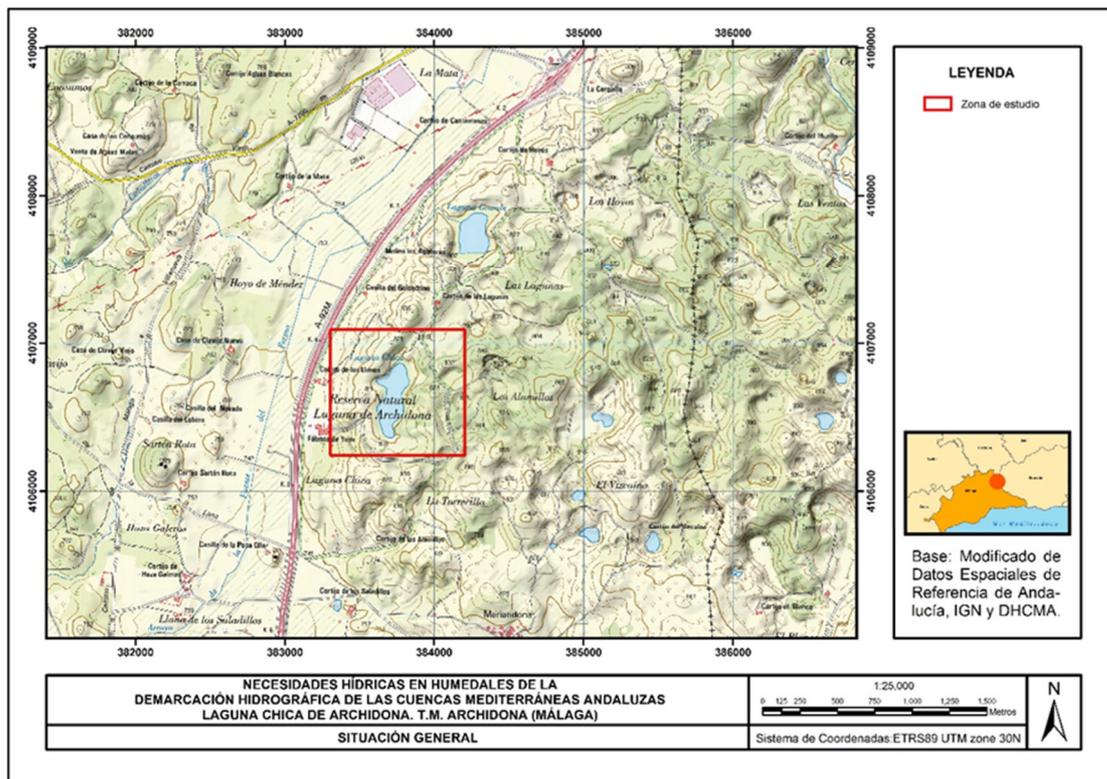


Figura nº 1. Situación general de la Laguna Chica de Archidona.

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL

La Laguna Chica de Archidona presenta una superficie protegida aproximada de 5,36 has (CAGPDS, 2020), sin embargo, la superficie real del vaso de la laguna en aguas altas, marcado por la vegetación perimetral y según medición en sistema de información geográfica, se eleva hasta las 6,06 has.

La forma lagunar es alargada, con forma de ocho, fruto de dos dolinas coalescentes de distinta profundidad (Rodríguez *et al.*, 2001), donde el eje mayor tiene una distancia aproximada de 470 m, frente a los 215 m del eje menor. Presenta dos sectores claramente diferenciados, que en aguas altas forman un único vaso de la laguna, mientras que en aguas bajas se diferencia un vaso al norte, de menor profundidad, y otro al sur, el principal y más profundo. Ambos vasos presentan un aumento progresivo de la profundidad hacia la zona central de la cubeta, donde las orillas del sector sur, de pendiente acusada, solo se suavizan en el extremo sur y norte de la cubeta. El hidropereodo es semipermanente (CAGPDS, 2020), lo que significa que hay periodos en los que el humedal llega a secarse.

La superficie máxima de la lámina de agua, marcada por el rebosadero artificial del sector noroccidental, se sitúa a 793 m s.n.m., este valor se ha determinado a partir del modelo digital del terreno realizado con precisión de 10 cm mediante el uso de datos LIDAR (1ª Cobertura realizada por el IGN, PNOA-2014).

Según se recoge en la Caracterización Ambiental de Humedales de Andalucía, la altura máxima de columna de agua registrada se sitúa en 8,3 m para el año hidrológico 1997/98.

Se ha determinado la cuenca vertiente de la laguna en una superficie de 59,9 has, aunque de esta, unas 23,9 has realmente vierten a dolinas próximas a la laguna que actúan como zonas de recarga, por lo que se puede fijar la superficie efectiva que vierte sus aguas de forma directa a la laguna en 36,0 has. Esta cuenca no es muy extensa, en relación con la superficie de la cubeta y el volumen de agua que almacena.

2.3 RÉGIMEN JURÍDICO DE PROTECCIÓN

2.3.1 FIGURAS DE PROTECCIÓN

Las Lagunas de Archidona, donde se encuentra la Laguna Chica, es un espacio natural protegido bajo la figura de Reserva Natural. La declaración de la “Reserva Natural Lagunas de Archidona” tuvo lugar

mediante la Ley 2/89, de 18 de julio, por la que se aprueba el Inventario de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía, y se establecen medidas adicionales para su protección (BOJA nº 60, de 27 de julio de 1989).

La Reserva Natural también se encuentra catalogada como Humedal Andaluz e incluida en el Inventario de Humedales de Andalucía, según el Decreto 98/2004, de 9 de marzo, por el que se crea el Inventario de Humedales de Andalucía y el Comité Andaluz de Humedales (BOJA nº 66, de 5 de abril de 2004). De igual modo, también se encuentra dentro del Inventario español de zonas húmedas con el código IH617022.

A nivel internacional, la zona está recogida como Humedal de Importancia Internacional del Convenio Ramsar. Este humedal fue incluido en la Lista de Zonas Húmedas de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar en 2009 (Acuerdo de Consejo de Ministros de 5 de junio de 2009. BOE nº 202, de 21 de agosto de 2009). Los límites del sitio Ramsar coinciden con los de la Reserva Natural.

Finalmente, las Lagunas de Archidona se encuentran definidas como masa de agua superficial dentro del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (código 0614520).

2.3.2 INSTRUMENTOS Y NORMAS DE GESTIÓN

La Laguna Chica de Archidona, ubicada dentro de la Reserva Natural Lagunas de Archidona, se ve afectada por los siguientes instrumentos y normas de gestión.

- Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN), aprobado por el Decreto 1/2017, de 10 de enero, por el que se declaran Zonas Especiales de Conservación Complejo Endorreico de Espera (ES0000026), Laguna de Medina (ES0000027), Complejo Endorreico de Chiclana (ES0000028), Complejo Endorreico del Puerto de Santa María (ES0000029), Complejo Endorreico de Puerto Real (ES0000030), Laguna de los Tollos (ES6120011), Lagunas de Las Canteras y El Tejón (ES6120014), Laguna de La Ratosa (ES6170001), Lagunas de Campillos (ES6170015), Complejo Endorreico de Utrera (ES6180001), Complejo Endorreico La Lantejuela (ES6180002), Laguna del Gosque (ES6180003) y Laguna de Coripe (ES6180006) y se aprueban el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las Reservas Naturales de las Lagunas de Cádiz, el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las Reservas Naturales de las Lagunas de Málaga, el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las Reservas Naturales



de las Lagunas de Sevilla (BOJA nº 25 de 07 de febrero de 2017). Este es el instrumento de planificación y gestión que en la actualidad marca las directrices y objetivos en la conservación del espacio.

- Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía. El POTA fue aprobado en sesión celebrada los días 25 y 26 de octubre de 2006 donde se acordó su publicación, y fue adaptado posteriormente, mediante el Decreto 206/2006, a las resoluciones aprobadas por el Parlamento de Andalucía.
- Plan de Ordenación Urbana de Archidona, adaptado a la LOUA y aprobado el 05 de mayo de 2010, donde se define la superficie ocupada por la Laguna Chica como Suelo No Urbanizable de Especial Protección (SNU-EP).
- Plan Especial de Protección del Medio Físico de la provincia de Málaga, aprobado mediante Resolución de 14 de febrero de 2007, de la Dirección General de Urbanismo, por la que se dispone la publicación del Plan Especial de Protección del Medio Físico y Catálogo de Espacios y Bienes Protegidos de la provincia de Málaga (BOJA nº 69, de 9 de abril de 2007).
- Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas para el periodo 2009-2015, aprobado mediante Real Decreto 1331/2012, de 14 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (PHCMA aprobado por el Real Decreto 11/2016, de 8 de enero, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas de Galicia-Costa, de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, del Guadalete y Barbate y del Tinto, Odiel y Piedras, anulado por Sentencia de 25 de marzo de 2019, de la Sala Tercera del Tribunal Supremo (BOE núm 107 de 4 de mayo de 2019)).



3 CARACTERÍSTICAS DEL HUMEDAL

3.1 CLIMATOLOGÍA

La descripción climática se ha realizado a partir de la Ficha Informativa del Humedal Ramsar. Por su parte, las series de datos de precipitación y temperatura que se presentan a continuación han sido obtenidas del modelo hidrológico SIMPA (CEDEX, 2019) para la Laguna Chica.

La evaluación de recursos hídricos en régimen natural constituye una información básica de partida para el proceso de planificación hidrológica, y resulta esencial para conocer con detalle los recursos disponibles y gestionarlos de forma sostenible y eficiente.

El Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX trabaja continuamente en la mejora y actualización del modelo SIMPA (Sistema Integrado de Modelación Precipitación-Aportación), con el que se realiza en España la evaluación de los recursos hídricos en régimen natural.

De cara al tercer ciclo de planificación, desde el CEDEX se han realizado diversas mejoras en el modelo SIMPA, entre estas se encuentran el tratamiento de la nieve en la formulación del modelo hidrológico, mejoras en los datos de entrada de las variables atmosféricas (revisión de datos, interpolación, incorporación de estaciones SIAR para mejorar la ETP, nuevos mapas correctores de ETP), revisión de los datos de los puntos de contraste y selección de nuevos puntos, mejoras en los mapas de parámetros utilizados en la calibración, etc.

De modo general, las características climáticas de la zona de estudio son:

- El clima de la zona ha sido descrito como de tipo continental mediterráneo, dentro del bioclima pluviestacional oceánico, del termotipo mesomediterráneo, ombrotipo seco-subhúmedo (CAGPDS, 2020).
- Para la serie de 1980-2018, la precipitación media anual es de 594 mm. El año con mayor precipitación en ese periodo fue de 1.109 mm, mientras que el de menos se estableció en 221 mm (Figura nº 2).

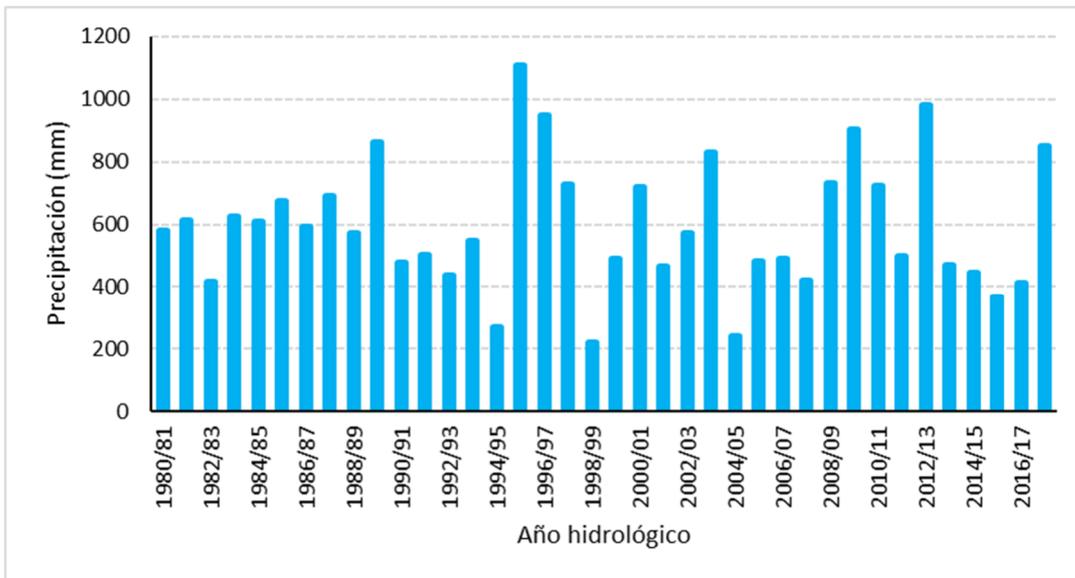


Figura nº 2. Evolución de la precipitación, periodo 1980-2018.

- Las precipitaciones máximas se dan en los meses de noviembre a enero, y las mínimas se dan en junio, julio y agosto (Figura nº 3).

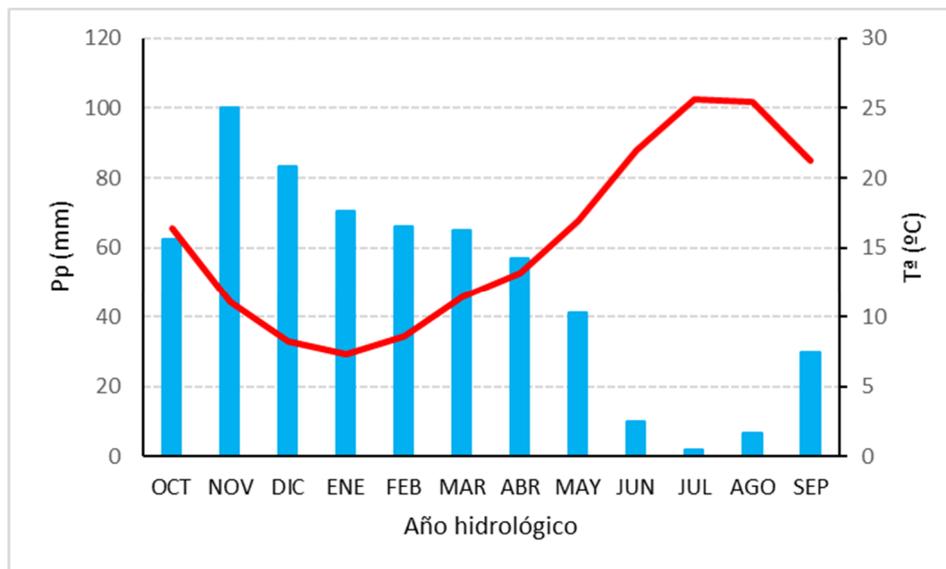


Figura nº 3. Climograma de la zona de estudio, periodo 1980-2018.

- En general el invierno es una estación suave, con temperaturas medias de entre 7,3°C y 8,6°C, aunque puntualmente se detectan las heladas y la formación de escarcha (la media del mes más frío es 7,3°C), mientras que el verano es muy caluroso (la media de las temperaturas del mes más cálido es de 25,7°C). La primavera tiene unas temperaturas medias entre 11 y 17°C, en tanto que el otoño se configura como la estación más inestable. La temperatura media anual se sitúa en torno a los 15,6°C.

- Para la serie de 1980-2018, la ETP considerada asciende a 1.191 mm. El año con mayor ETP en ese periodo fue de 1.348 mm, mientras que el de menos 1.054 mm (Figura nº 4).

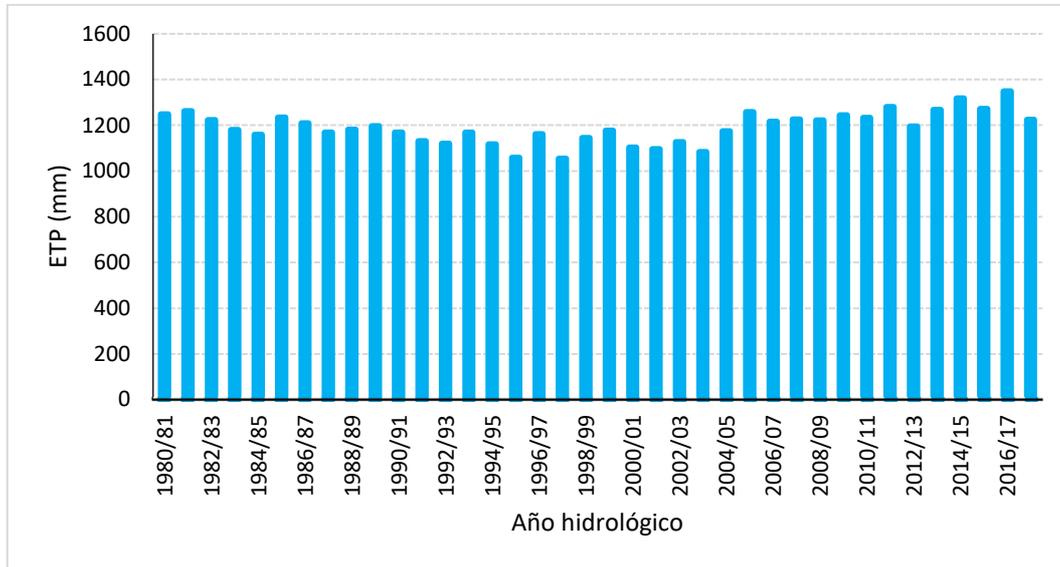


Figura nº 4. Evolución de la ETP, periodo 1980-2018.

- Dentro del ciclo anual, los valores máximos de evaporación tienen lugar durante los meses de junio, julio y agosto, con valores próximos a 200 mm, mientras que los meses invernales son los que presentan los valores más bajos, en los que noviembre, diciembre, enero y febrero presentan valores mensuales próximos a 35 mm).

3.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

La descripción del contexto geológico y geomorfológico de la Laguna Chica se ha realizado a partir de la información de la Ficha Informativa de Humedal Ramsar, así como de información del IGN y estudios específicos realizados en la zona de estudio.

3.2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

La mayor parte del término municipal de Archidona entra a formar parte del denominado Trías de Antequera, el cual pertenece al dominio paleoestratigráfico subbético, dentro de la Zona Externa de la Cordillera Bética. En esta región, la edad de los materiales que afloran data mayoritariamente del periodo Triásico, aunque también se pueden encontrar materiales cuyos depósitos se produjeron con posterioridad.

Concretamente, en la zona de estudio, el porcentaje de litología mayor es de yesos y anhidritas con fragmentos y arcillas y carniolas. La Laguna Chica, fundamentalmente, está compuesta de materiales detríticos (arcillosos, arcillas rojas, margas), con niveles de areniscas, y evaporíticos (yeso, anhidrita y halita) intensamente fracturados. También presenta enclaves de dolomías negras y ofitas (rocas subvolcánicas) y tiene una estructura bastante desordenada que está relacionada con su carácter alóctono y la presencia de los materiales arcilloso-evaporíticos fácilmente deformables.

La Figura nº 5 muestra la geología de la zona de estudio y en la Figura nº 6 se presenta la leyenda geológica.

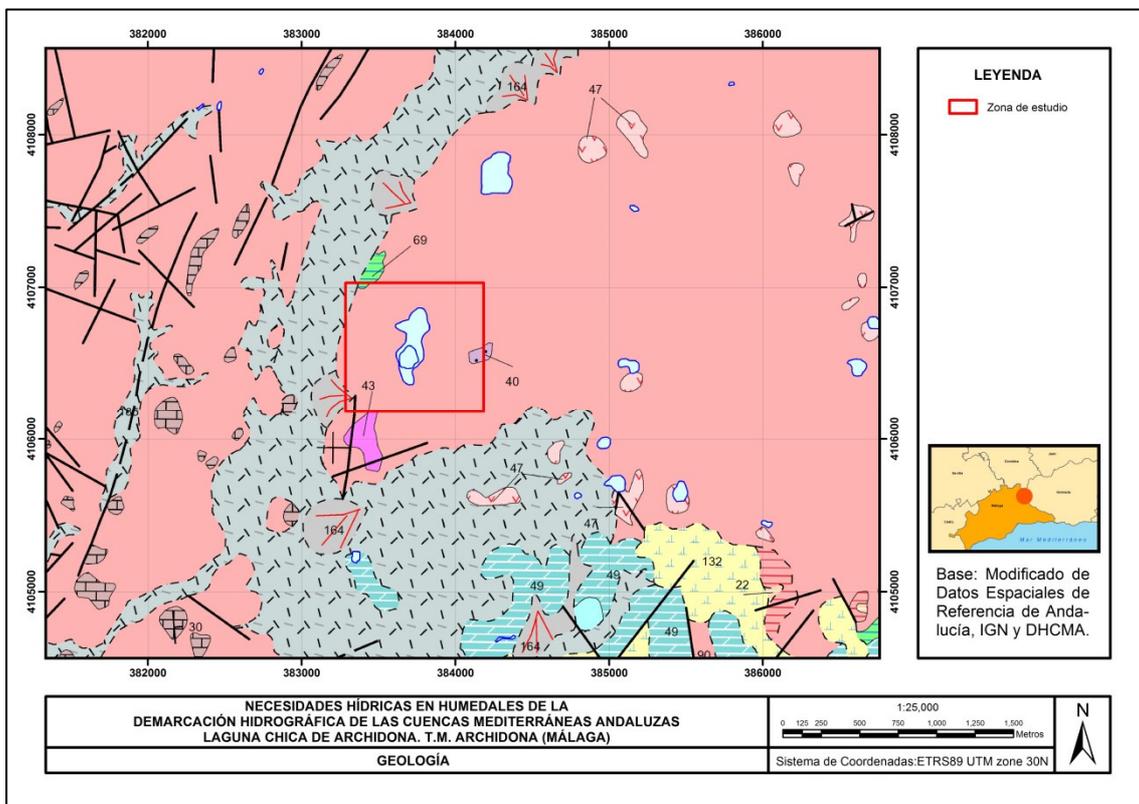


Figura nº 5. Geología de la zona de estudio.

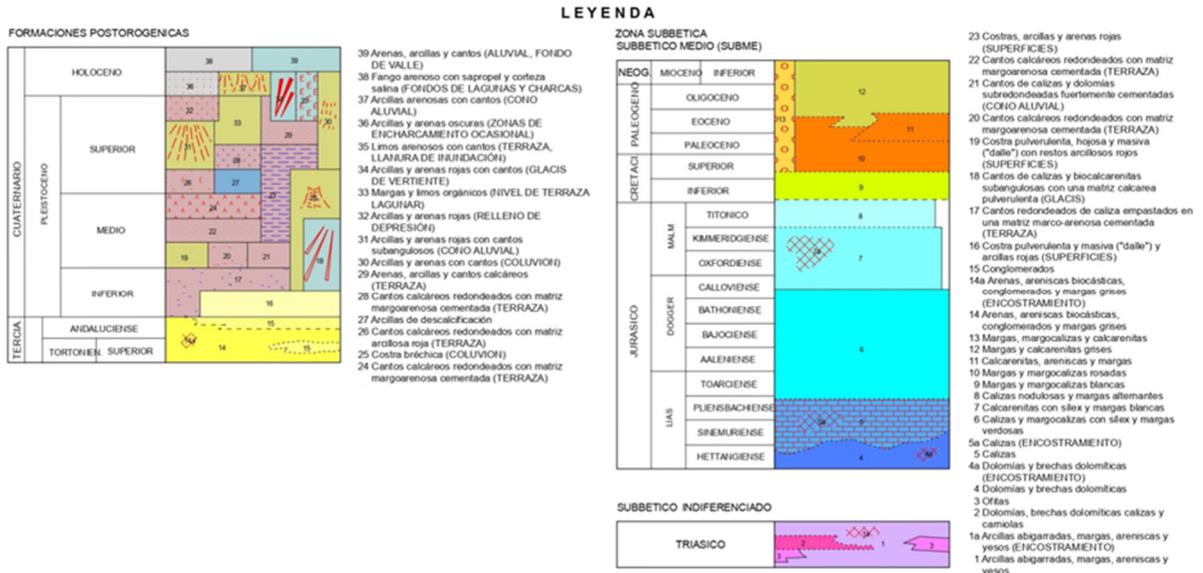


Figura nº 6. Leyenda geológica de la zona de estudio.

3.2.2 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

La cubeta de la Laguna Chica está formada por dos dolinas coalescentes de hundimiento que se localizan en el contacto entre los materiales evaporíticos y la formación arcillosa suprayacente.

La zona de Los Hoyos presenta como característica geomorfológica dominante la presencia de una gran cantidad de dolinas que se disponen en la parte central del diapiríode. La base de las dolinas está a cota más elevada en la parte meridional y oriental, mientras que, en la parte occidental, donde se encuentra la Laguna Chica, la base de las dolinas está a cota más baja.

Las dolinas en ventana y en embudo se sitúan en su mayor parte en el área central de la estructura, y constituyen dolinas pequeñas con paredes verticales y grandes bloques, originadas por procesos de colapso (Figura nº 7). Se trata posiblemente del área donde los procesos de levantamiento son más activos y dan como resultado formas poco estables, cambiantes e incluso con la aparición de colapsos actuales.

Alrededor del sector central y hasta el borde del área, se desarrollan amplias dolinas en cubeta, con fondo plano y frecuente relleno de materiales arcillosos, que en ocasiones permite alcanzar la superficie piezométrica del acuífero, como es el caso de la Laguna Chica. Estas depresiones suelen tener su eje mayor con una orientación similar al perímetro del diapiríode, lo que demuestra su claro control estructural. En el borde del afloramiento aparecen materiales arcillosos triásicos que constituyen una barrera de baja permeabilidad.

Esta situación, junto con la presencia de surgencias y cuencas cerradas, entre otros elementos, han desarrollado un singular complejo kárstico.

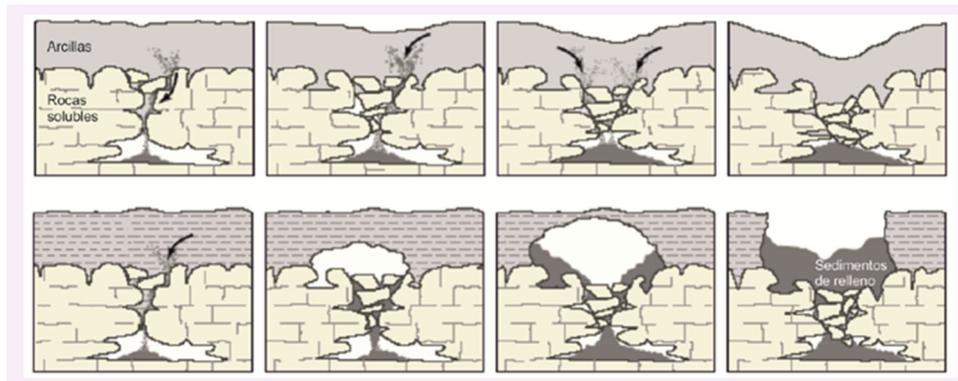


Figura nº 7. Génesis de una dolina mayoritariamente por disolución (arriba) y por colapso (abajo) de la roca suprayacente a una cavidad cercana a la superficie. Modificado del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

3.3 TOPOGRAFÍA Y CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

En planta, la Laguna Chica muestra un contorno en forma de ocho, donde el eje mayor tiene una distancia aproximada de 470 m, frente a los 215 m del eje menor, a la vez que presenta dos sectores claramente diferenciados, que en aguas altas forman un único vaso de la laguna, mientras que en aguas bajas se diferencia un vaso al norte, de menor profundidad, y otro al sur, el principal y más profundo. Ambos vasos presentan un aumento progresivo de la profundidad hacia la zona central de la cubeta, donde las orillas del sector sur, de pendiente acusada, solo se suavizan en el extremo sur y norte de la cubeta. El hidropериодо es semipermanente (CAGPDS, 2020), lo que significa que hay periodos en los que el humedal llega a secarse.

A partir del modelo digital del terreno elaborado, y mediante el uso de un SIG, se han deducido los volúmenes correspondientes a cada cota y la superficie asociada a los mismos (Figura nº 8).

Los resultados finales del balance realizado en este estudio podrían presentar ciertas variaciones ya que no se dispone de una batimetría de precisión.

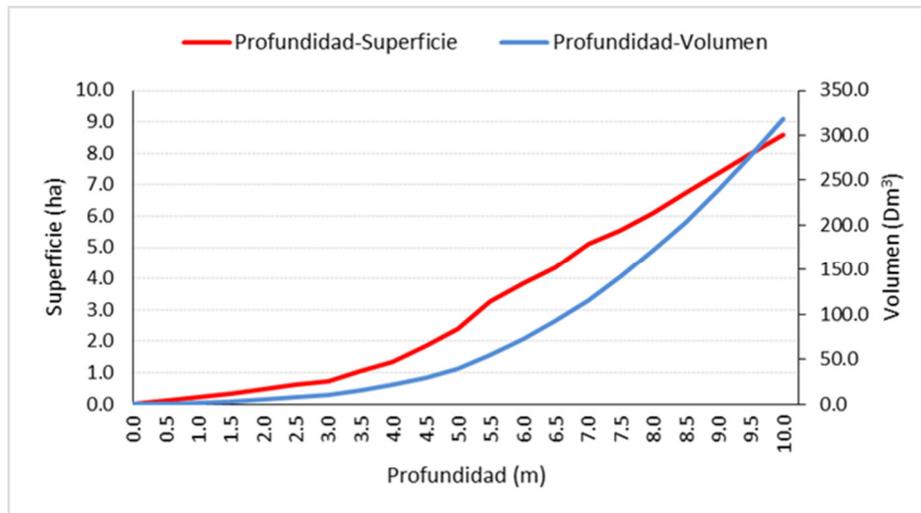


Figura nº 8. Relación superficie-volumen.

En el entorno de la laguna se diferencian dos unidades de paisaje bien diferenciadas que denotan el uso que históricamente ha tenido el sector de la laguna. Los sectores este y sur presentan una vegetación de carácter más natural, lo que indica que no ha tenido un uso agrícola en los últimos tiempos, esto se debe principalmente a la calidad del agua y a lo complicado de los terrenos, mientras que, por el contrario, el sector sur sí que presenta cultivos vinculados al olivar, el cual se sitúa en terrenos más favorables desde el punto de vista geológico.

En la Figura nº 9 se muestra la altimetría en la cuenca de la Laguna Chica.



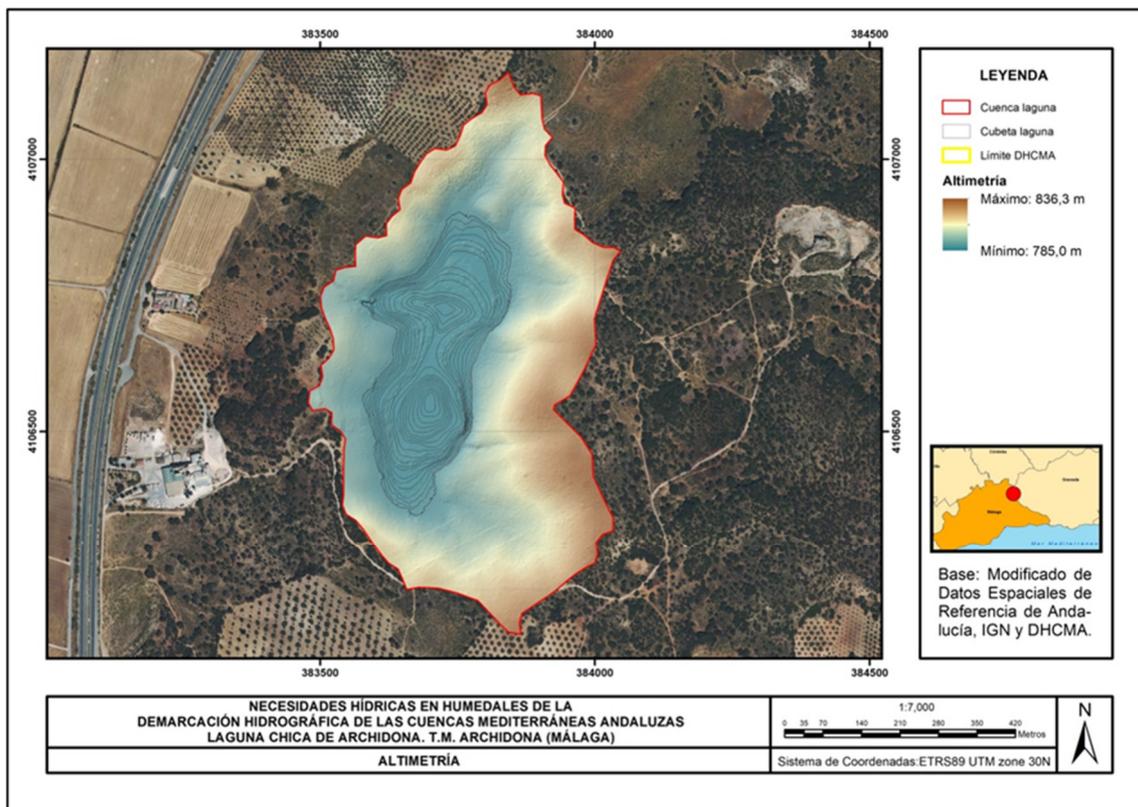


Figura nº 9. Altimetría en la cuenca de la Laguna Chica.

3.4 FLORA Y VEGETACIÓN

Las fuentes consultadas para desarrollar este apartado han sido diversas. Para la identificación de las especies de flora que presentan un gran valor de conservación se han revisado diferentes estudios y documentos técnicos (PORN de la Reserva Natural Lagunas de Archidona, Ficha Informativa Ramsar, Inventario de Humedales de Andalucía, etc.). Para la presencia de los hábitats de interés comunitario se ha consultado, además, la información oficial de la Red Natura 2000. Para la interpretación y descripción de las comunidades vegetales de la laguna en relación con los hábitats tipificados de interés comunitario se ha utilizado el Manual de Interpretación (Comisión Europea, 2013) y el documento “Bases ecológicas para gestión de humedales” (VV.AA., 2009). En el caso del modelo de distribución de hábitats y especies vegetales en la laguna se han seguido los estudios y aproximaciones metodológicas de García Viñas *et al.* (2005) y WWF (2009).

3.4.1 FLORA CON INTERÉS DE CONSERVACIÓN

La vegetación del entorno de la Laguna Chica se compone de cultivos de olivos ubicados al sur de la laguna, el resto de espacios se encuentra ocupado por retamares de *Retama sphaerocarpa* (*Genisto*

speciosae-Retametum), encinares (*Paeonio-Quercetum*), aulagares y jarales (*Ulici-Genistetum speciosae*) formados por especies como *Ulex parviflorus*, *Genista speciosa* o *Rosmarinus officinalis*, y pastizales vivaces de *Brachypodium retusum* (*Teucrio-Brachypodietum*). La vegetación que presenta la orilla del humedal se compone de un juncal de *Scirpus holoschoenus* (*Holoschoenetum vulgaris*), que prácticamente circunda el humedal en su totalidad, junto con carrizo y cañas. Debido a que esta laguna presenta unos terrenos con elevada salinidad, existe un desarrollo importante de la vegetación halofítica, donde aparecen quenopodiáceas junto a *Polypogon monspeliensis*, sobre todo en las zonas que quedan secas al disminuir el volumen de agua. Se puede reconocer, además, un pastizal anual disperso de suelos húmedos formado por especies como *Juncus bufonius* o *Gnaphalium luteo-album* (*Verbenion supinae*).

El desarrollo de hidrófitos se identifica por casi todo el fondo del vaso, por lo menos durante gran parte del año. Como especies características se encuentra *Zannichellia palustris*, *Potamogeton pectinatus* y *Myriophyllum spicatum* y algas filamentosas adheridas al substrato entre las que domina *Calothrix stellaris*, cianofícea fijadora de nitrógeno que se ve favorecida en las épocas en las que escasea el nitrógeno combinado en el agua.

En esta laguna, la escasa profundidad provoca una mezcla continua de las aguas con un ingreso constante en el plancton de algas procedentes del bentos, lo que hace que la diversidad de grupos sea elevada y no haya ningún grupo que domine claramente sobre los otros.

3.4.2 VEGETACIÓN

3.4.2.1 COMUNIDADES VEGETALES CARACTERÍSTICAS

La Laguna Chica se define por la presencia de los siguientes hábitats naturales de interés comunitario:

- 31 Aguas estancadas.
3190 Lagos y lagunas kársticas sobre yesos.
- 53 Matorrales termomediterráneos y preestépicos.
5330_4 Matorrales permanentes termoxerófilos mediterráneos.
- 62 Formaciones herbosas secas semi naturales y facies de matorral.
6220_1 Pastizales vivaces neutro-basófilos mediterráneos (Lygeo-Stipetea).

- 64 Prados húmedos seminaturales de hierbas altas.

6420 Prados húmedos mediterráneos de hierbas altas del *Molinion-Holoschoenion*.
- 92 Bosques mediterráneos caducifolios.

92D0 Galerías ribereñas termomeditarráneas (*Nerio-Tamaricitea*).
- 93 Bosques esclerófilos mediterráneos.

9340 Bosques de *Quercus ilex* y *Quercus rotundifolia*.

3.4.2.2 ORGANIZACIÓN ESPACIAL DE LOS HÁBITATS DE INTERÉS COMUNITARIO

3.4.2.2.1 LOS HÁBITATS EN EL CONJUNTO DEL HUMEDAL

En el ámbito de la Laguna Chica y su entorno se encuentran diferentes hábitats de interés comunitario vinculados al agua, tales como los hábitats de aguas estancadas, matorrales, formaciones herbosas y prados, y formaciones boscosas (grupos de hábitats tipo 31, 64 y 92) (Figura nº 10).

Cada tipo de hábitat está representado por ciertas especies predominantes, las cuales indican características del medio (humedad, salinidad, nutrientes, etc.) diferenciadas.

La organización espacial de las especies responde 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).

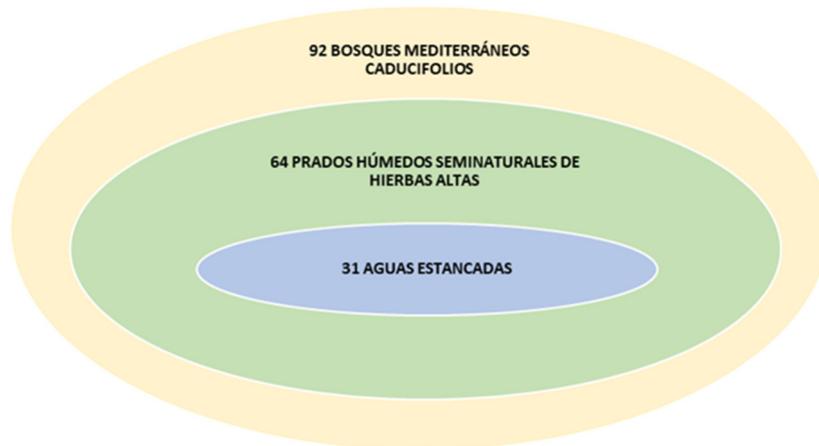


Figura nº 10. Tipo de grupo de HIC en el entorno de la laguna.

3.4.2.2.2 LOS HÁBITATS SEGÚN EL ORIGEN Y DINÁMICA DE LAS AGUAS

Los hábitats de interés comunitario de la Laguna Chica ligados al medio acuático estarían representados por los tipos 3190, 6420 y 92D00.

Las diferentes comunidades que tapizan el perímetro lagunar se disponen en base a la variación de los siguientes factores ecológicos: duración del encharcamiento, grado de salinidad y textura del suelo. El resultado es una zonación horizontal de las distintas comunidades. Los diferentes hábitats que se encuentran en la laguna serían los siguientes:

- **Hábitat 3190:** Pequeños lagos y lagunas generalmente permanentes desarrollados en zonas de surgencias de aguas en áreas con karstificación activa sobre materiales ricos en yesos. Estas masas de agua se caracterizan por presentar unas fluctuaciones grandes de nivel (de hasta 2,5 m) determinadas por el nivel del acuífero subyacente y la cantidad de precipitación. La disolución de los yesos confiere a sus aguas unas altas concentraciones de iones Ca^{2+} y SO_4^{2-} . Estas condiciones permiten el desarrollo de poblaciones planctónicas y biofilms de bacterias púrpuras y verdes del azufre.
- **Hábitat 6420:** Comunidades mediterráneas de juncos de carácter higrófilo (agua dulce o con escasa salinidad), que prosperan sobre suelos de muy distinta naturaleza (arenosos o no, eutróficos u oligotróficos) pero siempre con freatismo de carácter estacional. El agua freática es dulce o ligeramente salina. *Scirpus holoschoenus* es la especie que, por su talla, su dureza y su baja palatabilidad, con mayor intensidad determina la estructura de la comunidad y contribuye a proporcionar refugio y protección a las demás especies, así como a la fauna.

- **Hábitat 92D00:** La vegetación arbórea que puede soportar suelos con elevado nivel freático está constituida por las formaciones de tarajes. Esta vegetación se compone de un tarajal poco denso formado principalmente por *Tamarix canariensis* (*Agrostio stoloniferae-Tamaricetum canariensis*) que se localiza en el extremo noreste y en la orilla sureste de la laguna.

3.4.2.2.3 HACIA UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE HÁBITATS Y ESPECIES EN LA LAGUNA

La conceptualización anterior permite plantear un modelo de distribución de la vegetación en la Laguna Chica. Se trata de un modelo que permite explicar la distribución de los subgrupos y tipos de la Directiva Hábitat y las especies que los integran.

En la Figura nº 11 se reproduce la zonificación teórica de los diferentes tipos de hábitats de la Laguna Chica.



Figura nº 11. Tipos de HIC en el entorno de la laguna.

En la Figura nº 12 se presenta un perfil teórico de vegetación con los tipos de hábitats directamente influenciados por el régimen de inundación.

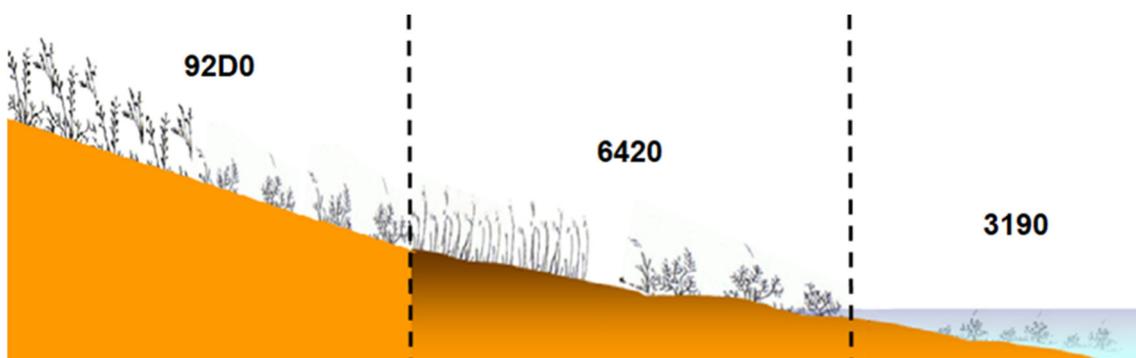


Figura nº 12. Perfil teórico de HIC en el entorno de la laguna.

3.5 FAUNA

En el entorno de la Laguna Chica, la fauna de vertebrados tiene considerable desarrollo, sin embargo, a diferencia de lo que se puede encontrar en la Laguna Grande, no se constata la presencia de peces. Entre los anfibios se encuentran la rana común, el sapo común y el sapo corredor. Los reptiles ligados al agua están representados por especies tales como la culebra de agua y el galápago leproso. Estas especies de reptiles y anfibios presentan cierta limitación a la hora de la reproducción debido a la salinidad de las aguas de la laguna. Entre las aves acuáticas pueden citarse el zampullín chico y cuellinegro, el somormujo lavanco, la garza real y el ánade real, entre los más representativos, así como el pato cuchara, ánade silbón, pato colorado, polla de agua, focha común, chorlitejo chico y patinegro, porrón pardo y común, garceta común, andarríos grande, bastardo y chico, cerceta común, pagaza piconegra, cormorán grande, cigüeñuela, avefría y gaviota reidora. Otras aves asociadas al medio terrestre, presentes en esta laguna son el cernícalo vulgar, aguilucho lagunero, águila pescadora, perdiz común, paloma torcaz, tórtola común, cuco, lechuza común, mochuelo, chotacabras pardo y rabilargo. Entre los mamíferos, la rata de agua es la única que vive en la zona acuática.

3.5.1 PRINCIPALES ESPECIES DE FAUNA

- Invertebrados. Este humedal constituye un hábitat excelente para algunas comunidades de invertebrados acuáticos, si bien es cierto que no hay un inventario destacable de los mismos, por lo que es probable, por las características del agua, que se desarrolle la comunidad de crustáceos propia de las aguas salinas, con *Daphnia mediterranea*, *Moina mongolica*, *Arctodiaptomus salinus* y *Cletocamptus retrogressus*. alguna de estas especies de invertebrados presenta huevos de resistencia que permanecen en el sedimento hasta la vuelta de condiciones ambientales apropiadas para su desarrollo. La presencia de estos propágulos, junto a los de numerosas especies vegetales, confiere a los sedimentos de este tipo de ecosistemas una importancia crucial en el mantenimiento de la biodiversidad de estos humedales.
- Anfibios. En esta laguna está citada la presencia de algunas especies de anfibios catalogados como “De Interés Especial” en el Catálogo Español de Especies Amenazadas, tales como el sapo corredor (*Bufo calamita*), el sapillo moteado ibérico (*Pelodytes ibericus*) y el gallipato (*Pleurodeles waltl*).



- Reptiles. Está citado el galápago leproso (*Mauremys leprosa*), contemplado en los Anexos II y IV de la Directiva Hábitat (92/43/CEE), también es frecuente la culebra viperina (*Natrix maura*), incluida como “De Interés Especial” en el Catálogo Español de Especies Amenazadas. En los ambientes terrestres próximos a los humedales son habituales otras especies de reptiles de interés, como la culebra de herradura (*Hemorrhois hippocrepis*) y la culebra de escalera (*Rhinechis scalaris*).
- Aves. La Laguna Chica cumple una importante función como zona refugio para la población europea de focha moruna (*Fulica cristata*), especie principalmente sedentaria, incluida en el Catálogo Español de Especies Amenazadas como “En Peligro de extinción y en el Libro Rojo de los Vertebrados de Andalucía en la categoría de máximo riesgo, “En peligro crítico” .
- Mamíferos. Se detecta la presencia probable de la rata de agua (*Arvicola sapidus*), considerada en Andalucía como “Vulnerable” en el Libro Rojo de los Vertebrados de Andalucía.



4 PRESIONES E IMPACTOS

El diagnóstico de la Laguna Chica de Archidona que se presenta a continuación ha sido elaborado a partir de toda la información disponible en las diferentes fichas y planes referentes a la misma.

4.1 PRESIONES

El Reglamento de la Planificación Hidrológica, la Instrucción de la Planificación Hidrológica y la guía CIS nº 3 IMPRESS definen una presión significativa como aquella que supera un umbral definido a partir del cual se puede poner en riesgo el cumplimiento de los objetivos ambientales en una masa de agua. Por otro lado, para la guía de *reporting* de la DMA (Comisión Europea, 2014), presión significativa es aquella que, sola o en combinación con otras presiones, impide o pone en riesgo el logro de los OMA (art. 4.1 DMA). Por tanto, no todas las presiones pueden considerarse significativas.

En dicha guía se lleva a cabo una sistematización de las presiones que se despliega en la Tabla nº 1.

1 Puntuales
1.1 Aguas residuales urbanas
1.2 Aliviaderos
1.3 Plantas IED
1.4 Plantas no IED
1.5 Suelos contaminados / Zonas industriales abandonadas
1.6 Zonas para eliminación de residuos
1.7 Aguas de minería
1.8 Acuicultura
1.9 Otras
2 Difusas
2.1 Escorrentía urbana / alcantarillado
2.2 Agricultura
2.3 Forestal
2.4 Transporte
2.5 Suelos contaminados / Zonas industriales abandonadas
2.6 Vertidos no conectados a la red de saneamiento
2.7 Deposición atmosférica
2.8 Minería
2.9 Acuicultura



2.10 Otras (cargas ganaderas)
3 Extracción de agua / Desviación de flujo
3.1 Agricultura
3.2 Abastecimiento público de agua
3.3 Industria
3.4 Refrigeración
3.5 Generación hidroeléctrica
3.6 Piscifactorías
3.7 Otras
4 Alteración morfológica
4.1 Alteración física del cauce/ lecho / ribera / márgenes
4.1.1 Protección frente a inundaciones
4.1.2 Agricultura
4.1.3 Navegación
4.1.4 Otras
4.1.5 Desconocidas
4.2 Presas, azudes y diques
4.2.1 Centrales Hidroeléctricas
4.2.2 Protección frente a inundaciones
4.2.3 Abastecimiento de agua
4.2.4 Riego
4.2.5 Actividades recreativas
4.2.6 Industria
4.2.7 Navegación
4.2.8 Otras
4.2.9 Estructuras obsoletas
4.3 Alteración del régimen hidrológico
4.3.1 Agricultura
4.3.2 Transporte
4.3.3 Centrales Hidroeléctricas
4.3.4 Abastecimiento público de agua
4.3.5 Acuicultura
4.3.6 Otras
4.4 Desaparición parcial o total de una masa de agua
4.5 Otras alteraciones hidromorfológicas



Otras
5.1 Especies alóctonas y enfermedades introducidas
5.2 Explotación / Eliminación de fauna y flora
5.3 Vertederos controlados e incontrolados
6.1 Recarga de acuíferos
6.2 Alteración del nivel o volumen de acuíferos
7 Otras presiones antropogénicas
8 Presiones desconocidas
9 Contaminación histórica

Tabla nº 1. Catalogación del inventario de presiones.

Aunque en las proximidades de la Laguna Chica se encuentran aprovechamientos agrícolas (olivar en seco), la autovía A-92M y la actividad industrial de fabricación de yesos, estos no suponen presiones significativas sobre la laguna (Tabla nº 2).

Vertidos	Bombeos y extracciones	Morfológicas y del paisaje	Regulación del flujo	Extracción minera	Otros usos del suelo	Actividad agroganadera	Otras
--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla nº 2. Identificación de presiones en el entorno de la Laguna Chica.

4.2 IMPACTOS

Las presiones a las que se puede encontrar sometido un humedal determinan los impactos significativos que afectan al mismo, estos impactos se pueden diferenciar entre físicos, biológicos y ecológicos. En el caso de la Laguna Chica no se identifican impactos significativos.

5 VALORES DE CONSERVACIÓN DEL HUMEDAL

5.1 VALORES DE CONSERVACIÓN

A partir de la información disponible en las diferentes fichas y planes referentes a la Laguna Chica, se han identificado los siguientes elementos de interés para su conservación.

5.1.1 CRITERIOS RAMSAR

- Sustenta especies vulnerables, en peligro o en peligro crítico, o comunidades ecológicas amenazadas.
- Sustenta poblaciones de especies vegetales y/o animales importantes para mantener la diversidad biológica de una región biogeográfica determinada.

5.1.2 HÁBITATS DE INTERÉS COMUNITARIO

En la Tabla nº 3 se muestran los hábitats de interés comunitario presentes en el entorno de la Laguna Chica.

Código	Hábitat de Interés Comunitario (HIC)
3190	Lagos y lagunas kársticas sobre yesos
6420	Prados húmedos mediterráneos de hierbas altas de <i>Molinion-Holoschoenion</i>
9340	Bosques de <i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus rotundifolia</i>
5330-4	Matorrales permanentes termo-xerófilos mediterráneos
6220-1	Pastizales vivaces neutro-basófilos mediterráneos (<i>Lygeo-Stipetea</i>) (*)
92D0-0	Adelfares y tarajales (<i>Nerio-Tamaricetea</i>)

Tabla nº 3. HIC presentes en el entorno de la Laguna Chica.

5.1.3 ESPECIES DE INTERÉS COMUNITARIO

La Tabla nº 4 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** recoge las especies de interés comunitario presentes en la Laguna Chica.

Grupo	Nombre de la especie	Nombre común
Aves	<i>Fulica cristata</i>	Focha cornuda
Aves	<i>Aythya nyroca</i>	Porrón pardo
Aves	<i>Pandion haliaetus</i>	Águila pescadora
Reptiles	<i>Mauremys leprosa</i>	Galápago leproso

Tabla nº 4. Especies de interés comunitario presentes en la Laguna Chica.

5.2 ESTADO GENERAL DE CONSERVACIÓN

5.2.1 ESTADO ECOLÓGICO Y QUÍMICO DEL HUMEDAL

Tal y como se recoge en el vigente Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, la masa de agua Lagunas de Archidona, donde se encuentra la Laguna Chica, en base a los datos de la red de control y a la ausencia de presiones e impactos, presenta un estado ecológico bueno.

De igual modo, se determina que la masa se encuentra en buen estado químico.

5.2.2 ESTADO DE CONSERVACIÓN GENERAL

La Laguna Chica no presenta ni presiones ni impactos significativos, por lo que su estado de conservación general se determina como bueno o mejor.

6 HIDROLOGÍA DEL HUMEDAL

La descripción del funcionamiento hidrológico e hidrogeológico de la Laguna Chica de Archidona se ha realizado a partir de la información de los informes de la Junta de Andalucía relativos al contexto hidrogeológico de los humedales andaluces (2005a). En la realización de los balances de la cuenca se han considerado los valores de ciertas variables aportadas por el modelo de simulación precipitación-escorrentía SIMPA (CEDEX, 2019). Para los datos de nivel de lámina de agua se han utilizado los valores obtenidos a partir del modelo digital del terreno obtenido mediante LIDAR.

6.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO

6.1.1 RED HIDROGRÁFICA Y CUENCAS

La zona de estudio, ubicada en el sector de Los Hoyos, se encuentra en el límite entre las demarcaciones hidrográficas de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas y del Guadalquivir, en esta zona la circulación de las aguas es fundamentalmente subterránea debido a la elevada karstificación que presenta la zona.

En la zona se encuentran multitud de pequeñas depresiones endorreicas que constituyen dolinas de recarga donde confluyen las aguas de escorrentía superficial. En estos puntos, situados a mayor cota, se produce la infiltración de parte de las aguas que reciben, que posteriormente son drenadas por manantiales situados en las zonas de borde de este sector. En este sentido, la Laguna Chica funciona como una dolina de descarga, que se sitúa en las cotas más bajas, donde aflora el nivel freático de la zona.

En el área de influencia de la Laguna Chica, las aguas subterráneas se drenan principalmente por el manantial del Molino de los Aguileras, el cual da lugar a un arroyo tributario del río Guadalhorce por su margen derecha.

6.1.2 FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO EN CONDICIONES NATURALES

No existen cauces que viertan sus aguas a la laguna, cuya cuenca de recepción es muy pequeña, presenta una superficie de 59,9 has, aunque de esta, unas 23,9 has realmente vierten a dolinas próximas a la laguna que actúan como zonas de recarga, por lo que se puede fijar la superficie efectiva que vierte sus aguas de forma directa a la laguna en 36,0 has. Esta cuenca no es muy extensa, en relación con la superficie de la cubeta y el volumen de agua que almacena.

En términos generales, el funcionamiento de la Laguna Chica es semipermanente, con oscilaciones importantes en función de las precipitaciones del año. Así, en épocas de sequía, el nivel piezométrico puede llegar a situarse bajo el fondo de la laguna. Asociado al nivel de inundación, sus aguas se sitúan en niveles subsalinos-hiposalinos (CAGPDS, 2020).

La recarga en la laguna se produce a partir de:

- Precipitación en forma de lluvia que cae directamente en la cubeta de la laguna.
- Agua de escorrentía que circula en superficie hasta alcanzar el humedal, preferentemente de manera difusa debido a la ausencia de cauces que canalicen el agua de precipitación (flujo hipogénico).
- Aporte de agua subterránea desde el acuífero.

La evaporación es el fenómeno que condiciona de manera primordial el vaciado de la laguna, donde se observa que el descenso estacional de nivel comienza prácticamente todos los años en los meses en que los índices de evaporación empiezan a ser más elevados, lo cual varía de unos años a otros.

Los materiales del Trías de Antequera, desde el punto de vista hidrogeológico, se consideran que constituyen el substrato impermeable de los sistemas hidrogeológicos de la zona aunque, en este sector y relacionado con los afloramientos yesíferos que presenta, existe una red kárstica bastante desarrollada, lo cual origina un acuífero de carácter kárstico, donde la Laguna Chica está directamente relacionada con este y constituye un punto en el cual su nivel se corresponde con el nivel piezométrico de dicho acuífero.

El límite superior de la laguna, correspondiente con la superficie máxima de la lámina de agua, queda marcado por el rebosadero del sector occidental de la cubeta norte, el cual se sitúa a unos 794 m.s.n.m., este valor se ha determinado a partir del modelo digital del terreno realizado con precisión de 10 cm mediante el uso de datos LIDAR (1ª Cobertura realizada por el IGN, PNOA-2014). No obstante, según Rodríguez-Rodríguez *et al.* (2001) la altura máxima de columna de agua registrada se sitúa en 8,3 m para el año hidrológico 1997/98, lo cual determinaría una cota, según el modelo realizado (nivel base de la laguna a 785 m), de 793,3 m.s.n.m.

6.1.3 FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO EN CONDICIONES MODIFICADAS

La Laguna Chica no presenta ningún tipo de presión, ni impactos significativos, por lo que se puede considerar que no tiene afección que origine un régimen modificado diferente al régimen natural.

6.2 SERIES DE NIVELES DEL HUMEDAL Y BALANCE ASOCIADO

La Junta de Andalucía realiza desde noviembre de 2005, un seguimiento de las variaciones de lámina de agua que se producen en la Laguna Chica (inicialmente con registro quincenal y posteriormente mensual). Los datos se expresan como altura máxima de la columna de agua, a partir de estimaciones.

Según se recoge en Gil Márquez (2018), en periodos en los que los ascensos de lámina de agua de la laguna fueron muy acusados, la escala utilizada para la lectura limnimétrica quedó sumergida, de forma que las variaciones limnimétricas tuvieron que inferirse a partir de la distancia vertical entre la superficie inundada y determinados puntos de referencia (Figura nº 13). Dichas medidas son poco precisas y, en conjunto, aportan un elevado error a la serie de datos.

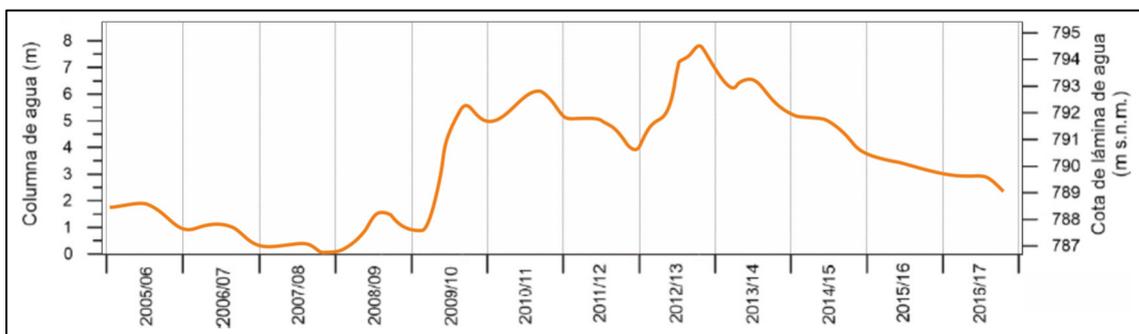


Figura nº 13. Evolución limnimétrica de la laguna Chica (modificado de Gil Márquez, 2018).

Por tanto, esta evolución aporta información cualitativa valiosa, aunque no cuantitativa; es decir, la serie de datos puede ser muy útil para analizar el comportamiento hidrológico de la laguna.

Para el balance hídrico se han utilizado los valores deducidos a partir de los datos hidrológicos del modelo SIMPA, el cual refleja en gran medida el comportamiento hidrológico natural de la laguna (Figura nº 14).

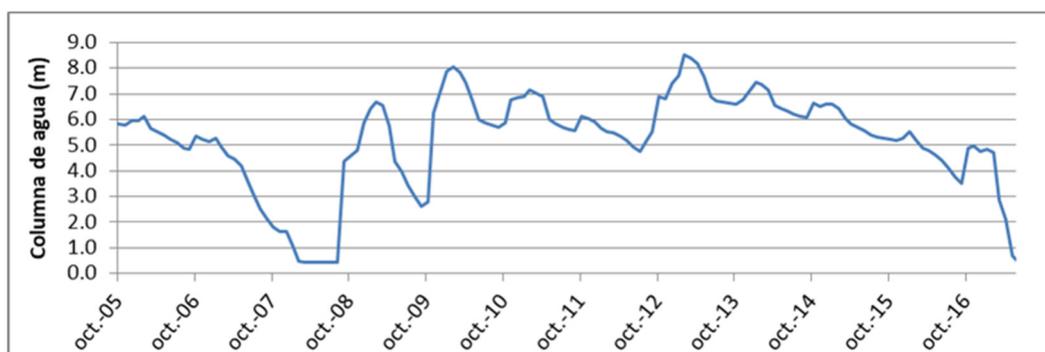


Figura nº 14. Evolución limnimétrica de la laguna Chica (modelo SIMPA elaborado).

6.3 MODELIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DEL HUMEDAL

6.3.1 MODELO EMPLEADO

Para la simulación de los aportes a la Laguna Chica se ha utilizado un modelo agregado de balance continuo. Estos modelos se utilizan fundamentalmente para la evaluación de recursos hídricos de cuencas hidrográficas, realizando la simulación de largos periodos de tiempo, de 50 a 100 años, con lapsos de tiempo mayores que los modelos de eventos (el día, el mes o el año). Estos modelos utilizan las variables de estado para el cálculo de la nueva situación de la cuenca, por lo que realizan de forma continua el balance de agua en la cuenca hidrográfica.

El modelo más utilizado en España es el modelo de Témez (1977) que deriva del modelo de THORNTHWAITE-T y es similar al método planteado por el “Número de Curva” del *Soil Conservation Service*, ya que es un modelo conceptual de pocos parámetros que simula de forma sencilla el ciclo hidrológico y, a su vez, la ley que gobierna la generación de excedente, es decir, el agua que no es interceptada por el suelo.

La aplicación del modelo de Témez de forma distribuida dio lugar al modelo SIMPA (Sistema Integrado Precipitación Aportación) (Ruiz, 1998), que es un modelo hidrológico conceptual distribuido de simulación continua mensual integrado con un sistema de información geográfica GRASS (Estrela, 1996). Este modelo ha sido aplicado en la evaluación de los recursos hídricos en España, con una resolución inicial de 1km x 1km, realizada durante la elaboración del “Libro Blanco del Agua en España” (MMA, 2000) y para la elaboración de los planes hidrológicos de las demarcaciones. Actualmente presenta una resolución de 500m x 500m.

De cara al tercer ciclo de planificación, desde el CEDEX se han realizado diversas mejoras en el modelo SIMPA, entre estas se encuentran el tratamiento de la nieve en la formulación del modelo hidrológico, mejoras en los datos de entrada de las variables atmosféricas (revisión de datos, interpolación, incorporación de estaciones SIAR para mejorar la ETP, nuevos mapas correctores de ETP), revisión de los datos de los puntos de contraste y selección de nuevos puntos, mejoras en los mapas de parámetros utilizados en la calibración, etc.

Se ha trabajado con una superficie fija de la laguna cifrada en 2,5 has.

6.3.2 VALIDACIÓN DE RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO

Los resultados de aplicar esta aproximación al balance hídrico de la Laguna Chica mediante el modelo SIMPA se ha contrastado con la evolución limnimétrica registrada.

La evolución de los niveles simulados de la Laguna Chica para el periodo 1980-2018 se muestra en la Figura nº 15.

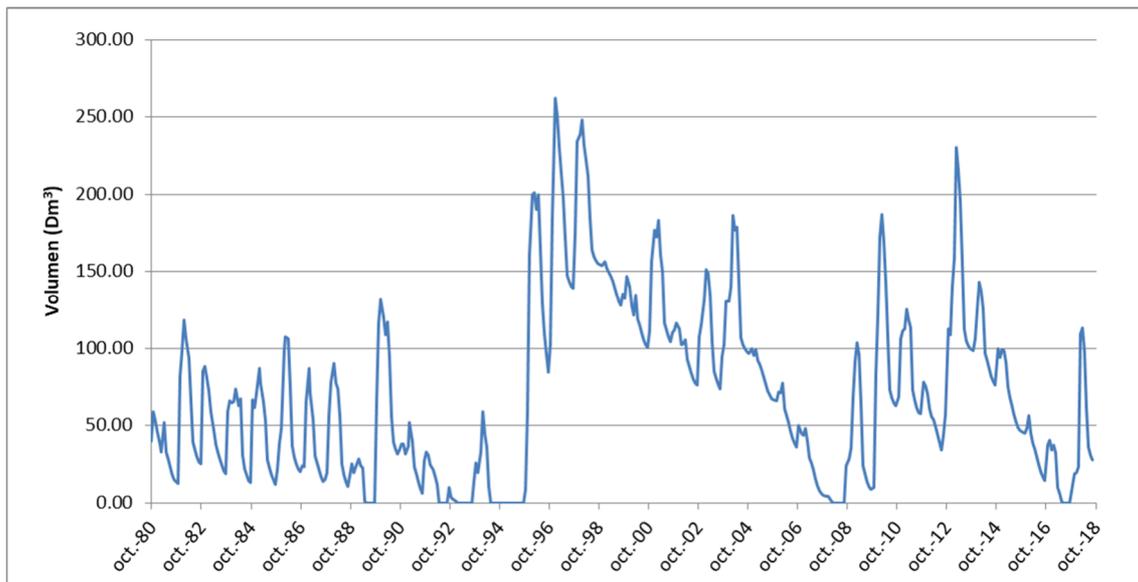


Figura nº 15. Evolución de niveles simulados para la Laguna Chica (oct1980-sep2018).

6.3.3 BALANCE HÍDRICO DEL HUMEDAL

A partir de los datos obtenidos en la simulación hidrológica, se ha realizado el balance medio de la Laguna Chica en condiciones hidrológicas naturales y para el periodo 1980-2018 (Tabla nº 5).

Balance	Componente	mm	Vol (Dm ³)
Entradas	Precipitación	593,5	14,84
	Superficial	88,6	23,75
	Subterránea	95,0	99,06
	Total		137,65
Salidas	ETP	1.190,8	29,77
	ETR	575,1	107,88
	Relación acuífero	--	--
	Total		137,65

Tabla nº 5. Balance hídrico Laguna Chica.



6.4 ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO DEL HUMEDAL

Como se indicó con anterioridad, la Laguna Chica no presenta ningún tipo de presión, ni impacto, y no tiene afección que origine un régimen modificado diferente al régimen natural.



7 SÍNTESIS ECOLÓGICA E HIDROLÓGICA DEL HUMEDAL

7.1 MODELO CONCEPTUAL

La Figura nº 16 representa el marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y los diversos componentes bióticos del ecosistema.

El régimen hidráulico de la laguna está fundamentalmente condicionado por los aportes de la escorrentía superficial, la precipitación directa 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.) define el hidroperiodo de la laguna (2).

El régimen de inundación se traduce en determinados parámetros hidráulicos (profundidad media de encharcamiento, duración, etc.) que ejercen una gran influencia en la presencia y distribución de las especies vegetales (3).

La vegetación de la laguna ejerce un papel determinante en todas las épocas del ciclo biológico de anfibios (4), aves (5) y mamíferos (6).

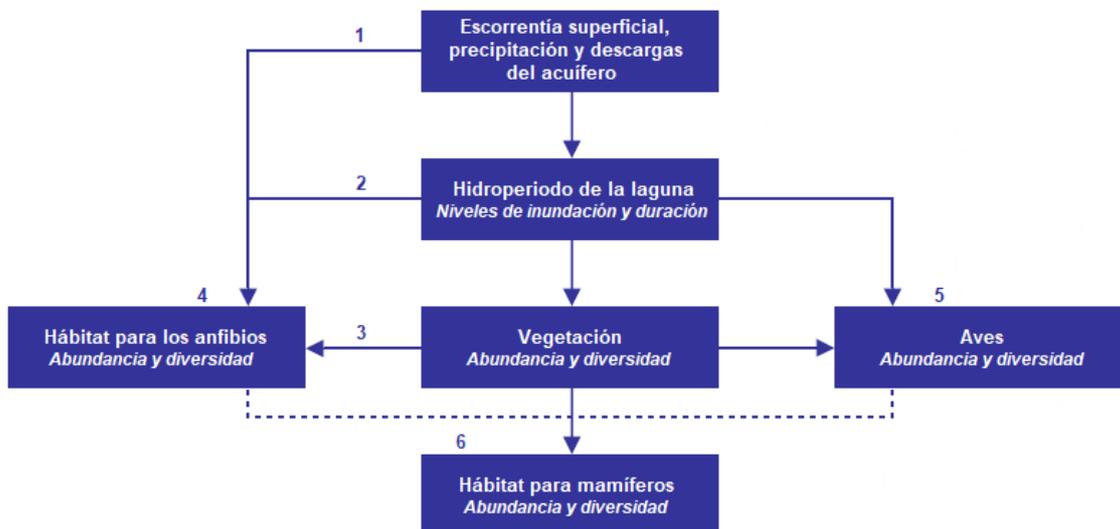


Figura nº 16. Marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y diversos componentes bióticos del ecosistema.

Las distintas especies de aves están desagregadas según la estructura del hábitat y tipo de recursos que explotan (2-3-5). 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 la laguna (3-6) condicionan el éxito reproductivo de numerosas especies. Al final de la primavera, la laguna comienza su proceso de secado.

Cuando el descenso de los niveles de lámina de agua es demasiado rápido y los nidos quedan en seco (2-5), se reduce el éxito reproductivo de las especies.



8 NECESIDADES HÍDRICAS DEL HUMEDAL

8.1 OBJETIVOS DE CONSERVACIÓN ASOCIADOS AL RÉGIMEN DE NECESIDADES HÍDRICAS

En la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) queda establecida que “en la medida en que las zonas protegidas de la Red Natura 2000 y de la Lista de Humedales de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar puedan verse afectadas de forma apreciable por los regímenes de caudales ecológicos, estos serán los apropiados para mantener o restablecer un estado de conservación favorable de los hábitat o especies, respondiendo a sus exigencias ecológicas y manteniendo a largo plazo las funciones ecológicas de las que dependen” .

Al considerar los objetivos de conservación establecidos en el marco legal para la Laguna Chica, con la presente propuesta de necesidades hídricas se pretende contribuir a los siguientes apartados.

8.1.1 CONSERVACIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUNCIONES ECOLÓGICAS GENERALES

- a) Garantizar el mantenimiento de la estructura y funcionalidad del ecosistema lagunar y sus elementos asociados.
- b) Mantener la laguna en unas condiciones lo más similares posible a las originales como ecosistema de laguna continental.
- c) Potenciar la contribución del área al proceso de nidificación, migración e invernada de las aves como enclave de apoyo trófico y refugio.

8.1.2 CONSERVACIÓN DE ESPECIES Y HÁBITATS

- a) Servir de base para la conservación de las especies en general, teniendo entre otras funciones las de reserva genética.
- b) 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.
- c) Mantener al menos en un estado de conservación favorable los Hábitats Naturales de Interés Comunitario presentes en la zona de estudio.
- d) Mantener al menos en un estado de conservación favorable las Especies de Interés Comunitario presentes en la zona de estudio.
- e) Mantener al menos en un estado de conservación favorable las especies de aves del Anexo I de la Directiva 79/409 CEE y la Directiva 91/244/CEE presentes en la zona de estudio.

- f) 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.
- g) 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.

8.1.3 CONSERVACIÓN DE PAISAJES

- a) Mantener en un estado adecuado los paisajes de la laguna y de su entorno, en relación a su elevada singularidad dentro de la Península.

8.2 FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS

Las necesidades hídricas se pueden abordar desde diferentes aproximaciones, entre las que destacan la aproximación puramente hidrológica (basada en los hidroperiodos de referencia) y la basada en criterios biológicos, la cual relaciona la reducción de los aportes en régimen natural con la superficie potencial de diferentes Hábitats de Interés Comunitario.

La aproximación hidrológica se fundamenta en que el régimen hidrológico natural del humedal (por extensión el hidroperiodo y el régimen de inundación) constituye el factor principal de organización del ecosistema acuático. Si se considera 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. De esta forma, el estudio del régimen de inundación se ha realizado a partir del régimen natural de inundación de la Laguna Chica, a partir de la caracterización de sus correspondientes hidroperiodos característicos.

En el caso de las aproximaciones hidro-biológicas, se analiza la respuesta de comunidades vegetales (hábitats tipificados según la Directiva Hábitats) en relación con los cambios en el régimen de inundación en escenarios de reducción de los aportes a la laguna. La identificación de parámetros hidráulicos clave de estas comunidades junto a los modelos de llenado/vaciado del humedal permite definir sus correspondientes respuestas potenciales.

8.2.1 APROXIMACIÓN HIDROLÓGICA

8.2.1.1 HIDROPERIODO TÍPICO DEL HUMEDAL

La Laguna Chica experimenta grandes oscilaciones en el volumen de sus aguas en función de la distribución de las precipitaciones que se recogen en la zona de influencia, las cuales presentan fuertes variaciones, tanto anuales como estacionales.

Las fluctuaciones estacionales se caracterizan por un máximo a principios de primavera y un mínimo a finales de verano. En la Figura nº 17 se muestran los volúmenes de la laguna que representan los hidroperiodos para años con características secas, medias y húmedas. Para esta caracterización se han empleado los percentiles 25, 50 y 75 sobre la serie de volúmenes mensuales de la laguna en régimen natural obtenidos con el modelo precipitación-escorrentía SIMPA.

En un ciclo anual típico, las precipitaciones de finales de otoño comienzan a inundar la laguna. La cota de inundación aumenta progresivamente a lo largo del invierno e inicio de la primavera, lo cual coincide con abundantes precipitaciones y escasa evaporación debida a las suaves temperaturas. A partir de este momento la laguna se va secando progresivamente, reduciendo su superficie. Al ser una cubeta endorreica, las pérdidas de agua se producen casi en exclusiva por evaporación (aunque puede existir una pequeña parte que se pierda como escorrentía subterránea). La laguna ocupa su menor extensión en el ciclo anual a finales del verano, época que coincide con las menores precipitaciones y máximas temperaturas.

La Laguna Chica presenta un hidroperiodo semipermanente, por lo que presenta periodos en los que se llega a secar totalmente. No obstante, esta laguna presenta un importante papel para el mantenimiento de las poblaciones vegetales y animales de su área de influencia.

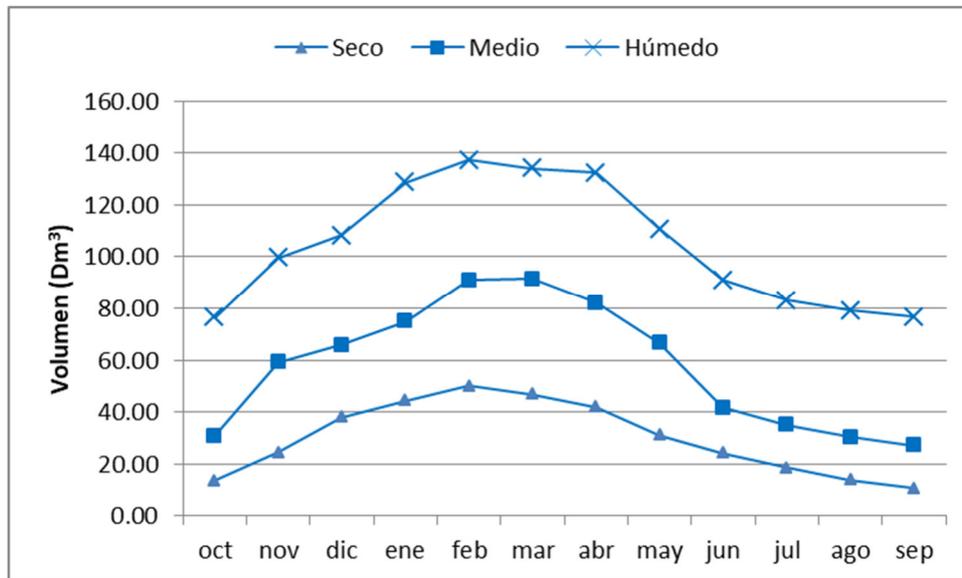


Figura nº 17. Hidroperiodo típico.

8.2.1.2 DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES DE LA LAGUNA

Según los datos obtenidos con el modelo SIMPA, la distribución de los volúmenes naturales de la laguna se muestra en la Figura nº 18.

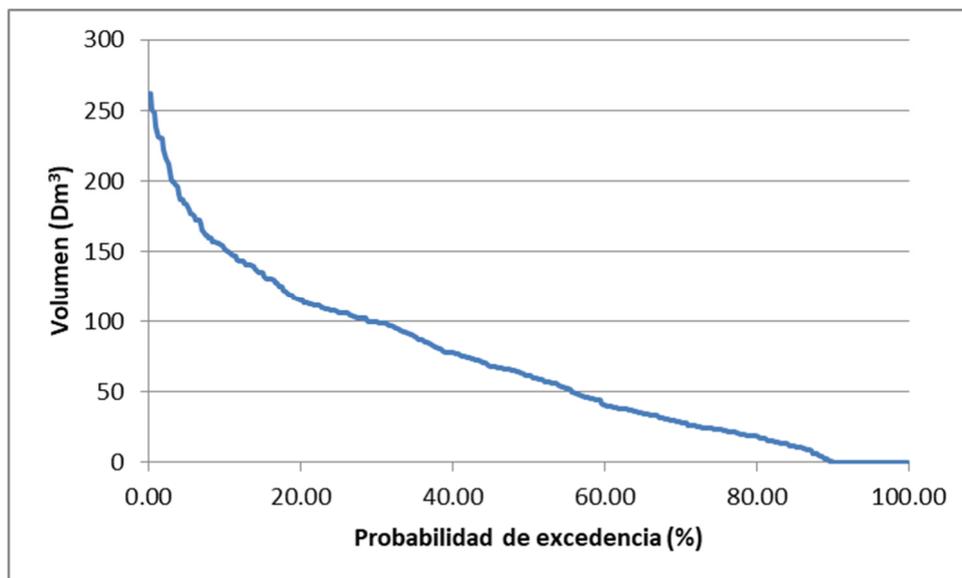


Figura nº 18. Distribución de volúmenes.

A partir de los datos obtenidos con el modelo, la laguna se ha secado durante el 10% de las ocasiones durante el periodo de estudio. El volumen mediano de la laguna es de unos 61,3 Dm³, mientras que el volumen de 150 Dm³ sería superado solo en el 10% de las ocasiones. El volumen máximo obtenido con el modelo se estima en 261,9 Dm³ en el año 1997.

8.2.1.3 CARACTERIZACIÓN DE HIDROPERIODOS DE REFERENCIA

8.2.1.3.1 VARIABLE FÍSICA EMPLEADA

Según la IPH, “la caracterización de los requerimientos hídricos se realizará a partir de las variables físicas que reflejen más adecuadamente las características estructurales y funcionales de cada lago” , añadiendo que, “los criterios numéricos a partir de los cuales se formulen las propuestas de régimen hídrico, como percentiles, periodos de retorno de eventos, presencia o ausencia de taxones o éxito reproductivo, tendrán como referencia las condiciones naturales y permitirán alcanzar condiciones coherentes con la consecución de las funciones y objetivos ambientales perseguidos” .

En este estudio se ha considerado el régimen de inundación del humedal (entendido como la variación de los volúmenes o niveles de lámina de agua a lo largo del tiempo) como factor ambiental clave que determina en gran medida la presencia y distribución de las comunidades biológicas.

La IPH especifica que “los requerimientos hídricos ambientales de los humedales deberán (...) satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas (...) mediante la preservación de los procesos ecológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos” , incidiendo en la necesidad de considerar en su estudio “las variaciones estacionales e interanuales” . Los patrones naturales de inundación de un humedal (no importa cuán extremos puedan ser) 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 naturales de inundación. La caracterización de este régimen de inundación mediante aproximaciones hidrológicas (basadas en percentiles, medias móviles, etc.) permite de esta manera formular propuestas de necesidades hídricas.

8.2.1.3.2 SERIES DE DATOS HIDROLÓGICOS

La IPH recomienda que las series hidrológicas deberán “caracterizar su régimen natural” , comprendiendo un periodo temporal lo más extenso posible, que abarque al menos “los años hidrológicos 1940/41 a 2005/06 (ambos inclusive) con datos mensuales” . No obstante, en el caso del cálculo de necesidades hídricas la IPH indica que “se aplicará sobre una serie hidrológica representativa de al menos 20 años, preferentemente consecutivos, que presente una alternancia equilibrada entre años secos y húmedos” .

En este trabajo se ha realizado un balance agregado en condiciones hidrológicas naturales a escala mensual. En el caso de la determinación de las necesidades hídricas se ha empleado el periodo 1980-2018, haciendo énfasis en el periodo hidrológico más reciente.

Para conocer la representatividad, se han empleado sobre la serie de volúmenes medios anuales los percentiles 33 y 66, definiendo de esta forma tres grupos de años húmedos, medios y secos. Posteriormente, se han contado sobre la serie cuántos años aparecían en cada uno de los grupos, lo que permite indicar que los datos hidrológicos empleados para el cálculo de las necesidades hídricas cumplen con el requisito de representatividad de la IPH. En la Figura nº 19 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los resultados obtenidos.

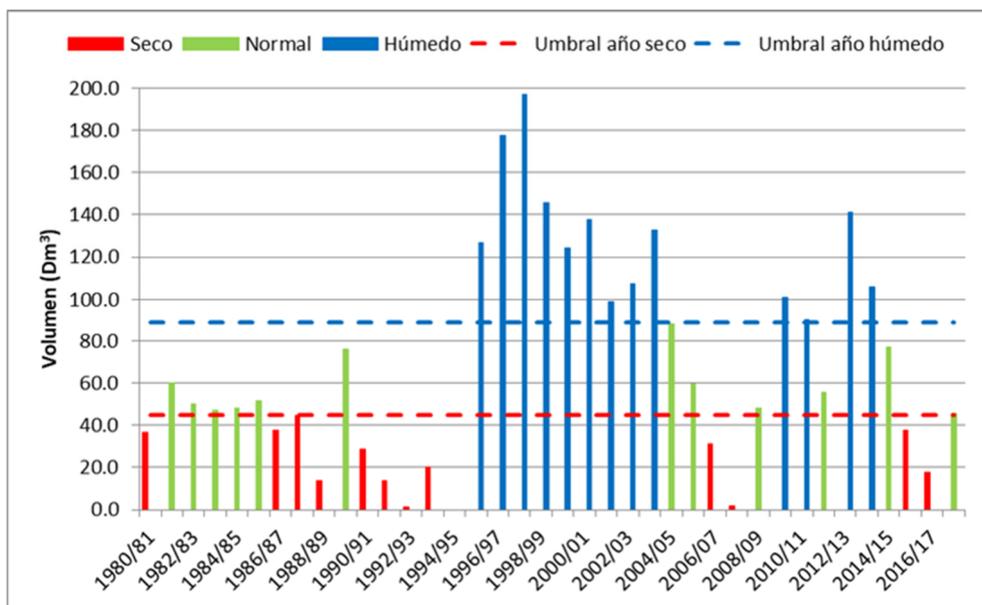


Figura nº 19. Volumen en la laguna. Periodo 1980-2018.

8.2.1.3.3 DIFERENCIACIÓN DE SITUACIONES HIDROLÓGICAS: AÑOS SECOS, MEDIOS Y HÚMEDOS

A diferencia de los sistemas lóticos (ríos), los humedales endorreicos y de cierto tamaño de cuenca presentan una inercia hidrológica muy significativa.

El fenómeno de acumulación de volúmenes y su correspondiente inercia hidrológica tiene efectos significativos sobre temporalidad de los humedales, y en consecuencia, sobre su estructura y funcionamiento. Los balances anuales negativos van reduciendo progresivamente los volúmenes, pero esta larga inercia puede hacer concatenar varios ciclos húmedos consecutivos y que el humedal no llegue a sufrir la desecación en los ciclos secos.

Otra circunstancia, no menos importante, está en relación con el tamaño del humedal y su capacidad de acogida de diversidad. Como indica un patrón fundamental de la Teoría de Islas (Paracuellos, 2005), la reducción en tamaño de los humedales da lugar a una disminución en el número de especies que albergan, bien por la pérdida de área per se (de modo que cuanto más superficie se pierde menos individuos y especies caben en el humedal) o bien a que, conforme merma la extensión, existen muchas posibilidades de que el ambiente aún superviviente pierda tipos distintos de hábitats palustres simplificándose su complejidad estructural. De aquí se puede deducir que los elevados volúmenes mantenidos durante varios años proporcionan una cantidad y condiciones de hábitat muy adecuadas para albergar ricas y diversas comunidades biológicas.

Son por estas razones por la que resulta necesario incorporar los ciclos húmedos en la formulación de propuestas de necesidades hídricas de los humedales. De no ser así, la aproximación hidrológica mediante variables de centralización móvil o los percentiles que recomienda la IPH trabajaría solamente con niveles mínimos y consecuentemente, humedales de reducido tamaño respecto a sus referentes naturales.

Para incorporar en el análisis hidrológico los ciclos húmedos, mediante el uso de los percentiles 33 y 66 de la serie corta 1980-2018 se han dividido los años hidrológicos en tres franjas (correspondientes a años húmedos, medios y secos) en función del volumen medio anual del humedal. Los resultados se muestran en la Tabla nº 6.

Valores característicos	Volumen medio (Dm ³)
Umbral año seco (percentil 33)	44,8
Umbral año húmedo (percentil 66)	88,7

Secos	Medios	Húmedos
1980/81	1981/82	1995/96
1986/87	1982/83	1996/97
1987/88	1983/84	1997/98
1988/89	1984/85	1998/99
1990/91	1985/86	1999/00
1991/92	1989/90	2000/01
1992/93	2004/05	2001/02
1993/94	2005/06	2002/03
1994/95	2008/09	2003/04
2006/07	2011/12	2009/10
2007/08	2014/15	2010/11
2015/16	2017/18	2012/13
2016/17		2013/14

Tabla nº 6. Distribución de años secos, medios y húmedos en la Laguna Chica.

8.2.1.3.4 FORMULACIÓN DE NECESIDADES HÍDRICAS A PARTIR DE LOS HIDROPERIODOS DE REFERENCIA

Según la IPH, para obtener la distribución temporal de los volúmenes mínimos (caso de los humedales), los métodos hidrológicos aplicarán variables de centralización móviles o bien percentiles entre el 5 y el 15%. En el caso de la Laguna Chica se ha optado por aplicar percentiles sobre la curva de volúmenes clasificados para cada mes. De esta forma se define también automáticamente el hidroperiodo del humedal, puesto que la caracterización de los percentiles se ha realizado a escala mensual.

Tal como se ha justificado en el apartado anterior, los hidroperiodos de referencia se han calculado para cada una de las tres condiciones hidrológicas en las que previamente se han dividido los años (secos, medios y húmedos). Atendiendo a las condiciones naturales del medio, para el horizonte de planificación del Plan, la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Chica se basará en la aplicación del percentil 15. La Tabla nº 7, Tabla nº 8 y Tabla nº 9 muestran los resultados obtenidos para cada condición hidrológica.

Para dar una mayor consistencia hidrológica en los resultados, se ha considerado que las propuestas para cada mes deberían ser mayores o iguales al valor correspondiente de la propuesta menos húmeda.

Años secos (Dm ³)														
Mes	80/81	86/87	87/88	88/89	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	06/07	07/08	15/16	16/17	P15
Oct	40,0	20,1	15,3	17,3	34,2	27,4	9,9	13,7	0,0	36,3	6,4	47,1	14,5	9,24
Nov	59,3	24,1	19,5	25,5	37,9	32,8	3,6	25,8	0,0	49,9	4,9	45,8	37,6	4,64
Dic	53,5	23,6	56,2	19,3	38,1	30,8	2,3	19,7	0,0	45,3	4,2	44,8	40,6	3,79
Ene	46,1	65,1	78,0	23,4	31,5	24,4	1,2	32,9	0,0	43,7	4,3	48,1	33,9	3,64
Feb	37,6	87,2	90,5	28,5	37,0	21,6	0,0	59,1	0,0	48,0	2,0	56,7	37,0	1,61
Mar	33,1	70,8	77,3	24,2	51,9	17,2	0,0	44,6	0,0	39,9	0,1	45,2	32,1	0,09
Abr	52,0	54,0	73,8	23,0	40,1	11,9	0,0	35,8	0,0	29,3	0,0	38,6	10,2	0,00
May	33,0	30,4	56,0	0,8	23,3	0,0	0,0	10,8	0,0	25,8	0,0	34,9	6,2	0,00
Jun	28,1	25,7	25,3	0,0	18,7	0,0	0,0	0,0	0,0	21,2	0,0	29,9	0,8	0,00
Jul	23,3	21,1	18,3	0,0	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0	0,0	24,5	0,0	0,00
Ago	18,5	16,7	13,7	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	0,0	20,2	0,0	0,00
Sep	15,3	13,5	10,5	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	0,0	16,7	0,0	0,00
Volumen medio	36,7	37,7	44,5	13,5	28,5	13,8	1,4	20,2	0,0	31,2	1,8	37,7	17,7	

Tabla nº 7. Percentil 15 para años secos en la Laguna Chica.

Años medios (Dm ³)													
Mes	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	89/90	04/05	05/06	08/09	11/12	14/15	17/18	P15
Oct	13,6	25,1	19,1	13,1	11,9	0,0	97,9	67,6	24,0	57,8	76,4	0,0	7,73
Nov	12,5	85,4	59,0	66,7	21,4	64,5	96,9	66,5	28,7	77,9	99,9	11,2	18,28
Dic	81,7	88,1	66,1	61,4	38,1	115,5	99,7	65,8	35,4	75,4	93,8	18,6	37,16
Ene	98,3	80,4	64,6	71,2	48,5	131,5	95,3	71,8	68,1	70,5	99,3	19,6	58,94
Feb	118,2	72,5	65,7	86,9	99,2	120,3	99,0	71,2	91,4	61,2	98,7	23,6	64,10
Mar	106,2	59,1	73,7	77,7	107,5	108,5	92,3	77,8	103,3	55,9	90,6	109,0	68,63
Abr	93,4	47,0	62,7	65,5	106,0	116,7	89,4	60,6	96,1	54,1	74,7	113,0	58,31
May	65,9	37,9	67,2	53,2	75,0	93,1	85,7	56,6	63,9	49,6	67,7	98,6	51,96

Jun	38,9	33,2	30,7	27,5	36,7	55,6	81,2	51,7	23,9	44,4	62,8	61,4	29,59
Jul	34,0	28,4	22,2	22,7	29,8	39,6	76,6	46,4	18,6	39,2	57,0	36,1	22,53
Ago	29,5	24,4	18,0	18,3	25,4	35,0	72,3	41,6	13,8	34,3	52,3	31,1	18,18
Sep	26,4	21,0	14,7	15,0	22,1	31,8	69,5	38,4	10,9	43,9	49,0	27,8	14,88
Volumen medio	59,9	50,2	47,0	48,3	51,8	76,0	88,0	59,7	48,2	55,4	76,9	45,8	

Tabla nº 8. Percentil 15 para años medios en la Laguna Chica.

Años húmedos (Dm ³)														
Mes	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	09/10	10/11	12/13	13/14	P15
Oct	0,0	84,3	139,0	155,4	135,4	100,6	109,7	76,1	94,6	8,7	62,9	56,8	99,8	47,16
Nov	8,8	102,0	174,5	154,5	132,3	111,1	111,7	107,7	102,6	9,7	68,2	112,4	98,7	56,54
Dic	59,2	184,2	234,4	153,6	146,7	156,2	116,1	115,0	130,2	83,5	106,3	108,9	106,0	101,51
Ene	160,8	261,9	238,8	156,5	140,0	176,9	112,6	130,7	130,0	121,8	111,2	140,3	124,6	119,96
Feb	199,8	250,3	248,2	152,2	127,5	172,3	102,1	151,3	140,7	172,2	112,7	159,2	143,1	124,58
Mar	200,8	230,1	231,5	149,6	121,3	183,1	103,1	148,7	186,5	186,8	125,2	230,0	137,2	124,45
Abr	190,2	213,7	222,2	146,9	134,7	160,8	105,7	134,8	177,0	169,3	118,2	215,9	125,2	123,82
May	199,6	197,5	211,7	143,6	119,0	150,0	92,5	104,3	179,0	143,3	112,9	195,4	96,6	102,72
Jun	164,5	171,7	184,3	139,4	114,7	116,5	88,4	85,4	143,1	107,3	72,8	156,4	91,8	87,82
Jul	129,3	147,8	163,8	134,9	110,2	111,6	84,0	80,9	106,5	72,9	66,5	112,5	86,7	79,29
Ago	109,6	143,5	159,4	130,4	105,6	107,2	79,9	76,6	102,4	68,1	61,7	105,0	81,9	74,89
Sep	96,4	140,6	157,0	127,7	102,4	104,5	77,6	73,9	99,5	64,9	58,4	101,9	78,7	72,11
Volumen medio	126,6	177,3	197,1	145,4	124,1	137,6	98,6	107,1	132,7	100,7	89,8	141,2	105,9	

Tabla nº 9. Percentil 15 para años húmedos en la Laguna Chica.

Con los datos hidrológicos disponibles y los criterios de cálculo justificados anteriormente, la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Chica mediante una aproximación hidrológica se recoge en la Tabla nº 10.

Mes	Año (Dm ³)		
	Secos	Medios	Húmedos
Oct	9,24	7,73	47,16
Nov	4,64	18,28	56,54
Dic	3,79	37,16	101,51
Ene	3,64	58,94	119,96
Feb	1,61	64,10	124,58
Mar	0,09	68,63	124,45
Abr	0,00	58,31	123,82
May	0,00	51,96	102,72
Jun	0,00	29,59	87,82
Jul	0,00	22,53	79,29
Ago	0,00	18,18	74,89
Sep	0,00	14,88	72,11

Tabla nº 10. Propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Chica.

8.2.2 APROXIMACIÓN HIDROBIOLÓGICA

8.2.2.1 ASPECTOS ECOLÓGICOS Y FUNCIONALES DE LOS HÁBITATS

A continuación, se presentan de forma resumida algunos de los rasgos ecológicos y funcionales característicos de cada uno de los hábitats utilizados para llevar a cabo la aproximación.

- **Hábitat 3190:**

- La relevancia de los aportes hídricos se refiere principalmente a la capacidad de asegurar, mediante alimentación a través del acuífero y/o aportes superficiales, un balance hídrico que permita el mantenimiento de las condiciones de inundación para el desarrollo de las comunidades biológicas asociadas.
- La presencia/ausencia de agua condiciona su comportamiento, su dinámica y su evolución, por lo que los patrones hidrodinámicos naturales (duración de la inundación, frecuencia, momento de inundación, tasas de ascenso y descenso, etc.) deben preservarse para conseguir la conservación de estos ecosistemas.

- **Hábitat 6420:**

- Lo verdaderamente determinante es el freatismo temporal, con una fuerte bajada de la humedad en verano, que les confiere ese carácter mediterráneo que constituye su principal diferencia ecológica con respecto a las comunidades de Molinietalia.
- El agua debe ser dulce o, como máximo, ligeramente salina, porque un incremento de la salinidad provoca su sustitución por los sintaxa del orden Juncetalia maritimi.

8.2.2.2 PREFERENCIAS HIDRÁULICAS DE LA VEGETACIÓN

Las comunidades vegetales de la Laguna Chica están también presentes en otros humedales. Esto permite que estudios más detallados sobre la dinámica vegetal y su régimen de inundación realizados en otros humedales, puedan servir como valores de referencia para las comunidades vegetales de la Laguna Chica.

Entre los humedales con larga tradición en estudios ecológicos y limnológicos figuran las marismas de Doñana. El estudio de casi 1.400 parcelas permitió agrupar las diferentes asociaciones vegetales según su régimen hidráulico de inundación (García Viñas et al., 2005) (Figura nº 20). Los resultados se muestran en la Tabla nº 11.

Comunidad vegetal	Especies dominantes	Cota* (m s.n.m.)	Días de inundación
<i>Almajar</i>	<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	1,58 - 1,83	57
<i>Almajar mixto</i>	<i>A. macrostachyum/Juncus subilatus</i>	1,60 - 1,36	95
<i>Junquillar negro</i>	<i>Eleocharis palustris</i>	1,54 - 1,34	166
<i>Castañuelar</i>	<i>Scirpus maritimus</i>	1,35 - 1,18	139
<i>Bayuncar</i>	<i>Scirpus litoralis</i>	1,21 - 1,00	184
<i>Lucio</i>	<i>Sin helófitos</i>	1,28 - 0,821	179

* Localización del 80% de las parcelas muestreadas.

Tabla nº 11. Agrupación de las asociaciones vegetales según su régimen hidráulico de inundación.

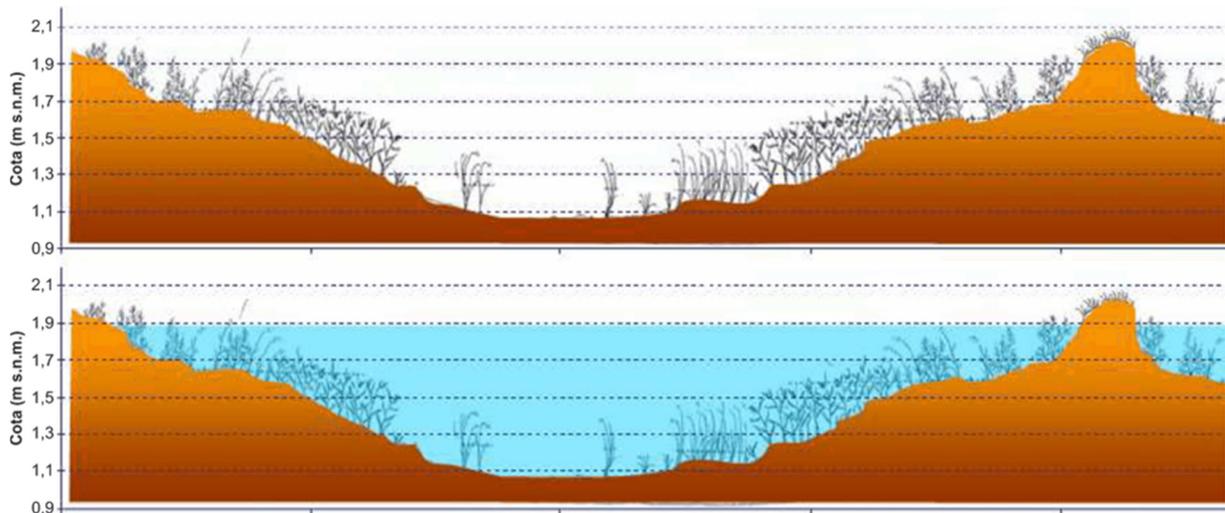


Figura nº 20. Modelo asociaciones vegetales según régimen hidráulico de inundación.

El paralelismo de algunas comunidades vegetales de Doñana con las propias de la Laguna Chica, permite establecer desde un punto de vista teórico unos periodos de inundación característicos para cada una de ellas. Para este estudio se consideran las duraciones de inundación de la Tabla nº 12.

Hábitat	Duración de inundación
3190	5 - 12 meses
6420	0 meses

Tabla nº 12. Periodos de inundación.

8.2.2.3 ESCENARIOS HIDROLÓGICOS PARA LA LAGUNA

En condiciones hidrológicas naturales, en el balance hídrico realizado con el modelo SIMPA se han considerado como entradas de agua a la laguna la escorrentía superficial, la escorrentía subterránea y la precipitación directa sobre la lámina de agua. Para el periodo 1980-2018, los valores medios para estos tres componentes del balance son 24, 99 y 15 Dm³ respectivamente. Estas cifras ponen de manifiesto la importancia de los aportes superficiales y subterráneos en el balance de la laguna.

Si se considera que la precipitación es una variable que no puede ser gestionada, los aportes superficiales y subterráneos se convierten en la variable clave de gestión de la laguna.

Para simular los efectos de la reducción de aportes sobre la laguna, se ha realizado el balance de la misma con el modelo SIMPA y diferentes escenarios hidrológicos. Para conocer estos efectos a largo plazo se ha considerado el periodo de datos de simulación (1980-2018). En la formulación de los

escenarios hidrológicos se ha considerado una reducción progresiva del 10% de los aportes superficiales y subterráneos, partiendo de la situación natural (100% de los mismos) hasta un escenario extremo en el que no hay aportes de ambas fuentes.

Los escenarios simulados y su reflejo en la serie de balances se muestran en la Figura nº 21. A simple vista se puede apreciar la reducción gradual de aportes en el balance hídrico de la laguna, reduciéndose drásticamente los volúmenes máximos y apareciendo escenarios en los que la laguna se llegaría a secar.

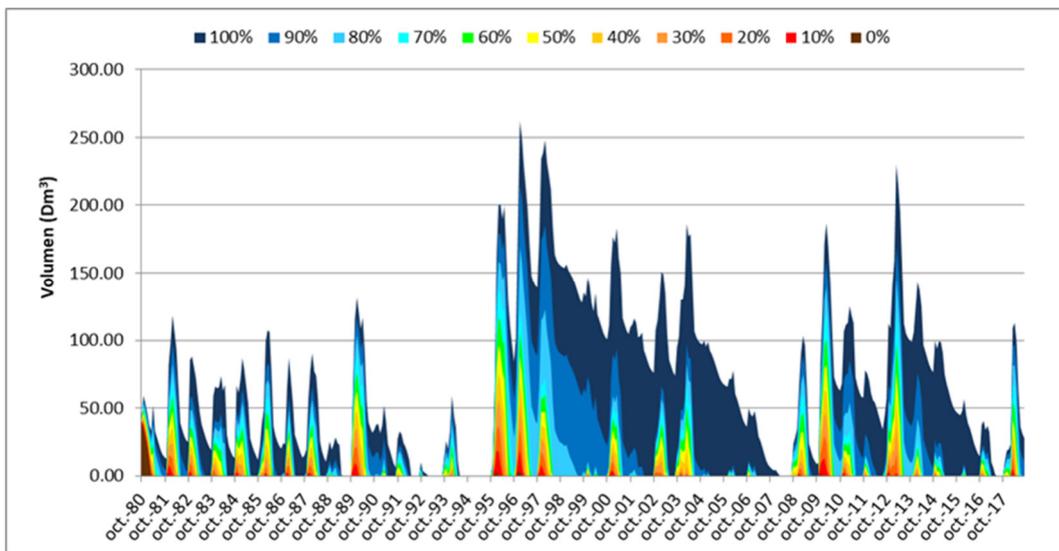


Figura nº 21. Formulación de escenarios mediante reducción progresiva del 10%.

8.2.2.4 RELACIÓN ENTRE LA SUPERFICIE POTENCIAL DE LOS HÁBITATS COMUNITARIOS Y LA REDUCCIÓN DE APORTES A LA LAGUNA

A partir de los escenarios hidrológicos anteriormente descritos, se han evaluado los efectos de la reducción de los aportes superficiales y subterráneos sobre la superficie potencial de los hábitats 3190 y 6420. Esta cuantificación ha sido posible gracias al modelo conceptual desarrollado en el punto 3.4.2.2.3 y las duraciones de inundación asignadas en el apartado 8.2.2.2.

La superficie potencial de los Hábitats de Interés Comunitario se muestra en la Figura nº 22.

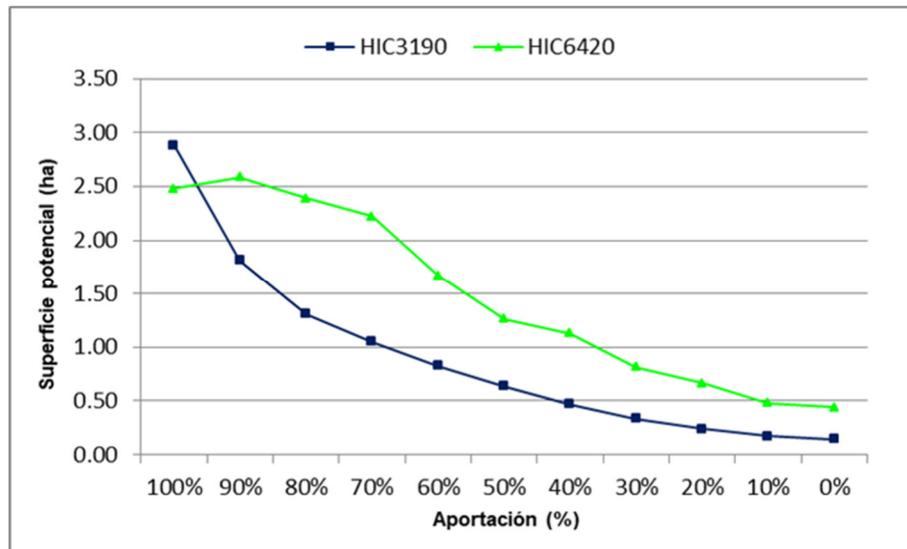


Figura nº 22. Evolución de la superficie de los HIC según aportaciones.

Con estos resultados se puede afirmar que:

- En condiciones naturales, la superficie potencial del hábitat 3190 sería de 2,88 has y la del hábitat 6420 de 1,48 has.
- La reducción de los aportes superficiales y subterráneos conlleva a una disminución de la superficie potencial de estos hábitats en la laguna.
- Si se eliminara la entrada de agua superficial y subterránea a la laguna, la superficie potencial de los hábitats 3190 y 6420 sería respectivamente de 0,14 y 0,44 has.

8.2.2.5 REDUCCIÓN MÁXIMA ADMISIBLE DE LAS APORTACIONES A PARTIR DE LA IPH

Según la IPH, los resultados obtenidos por aproximaciones hidrológicas deberán ajustarse mediante los modelos de simulación biológicos, que “tendrán como referencia las condiciones naturales y permitirán alcanzar condiciones coherentes con la consecución de las funciones y objetivos ambientales perseguidos” .

Con la simulación biológica y en el caso de los ríos, la IPH propone dos aproximaciones para la definición de la distribución de los caudales mínimos. La primera consiste en la utilización de un umbral del hábitat potencial comprendido en el rango 50-80% respecto al máximo, mientras que la segunda consiste en considerar el caudal correspondiente a un cambio significativo de pendiente en la curva de hábitat potencial útil-caudal.

La curva obtenida en este estudio que relaciona aportaciones versus superficies potenciales de los hábitats permite realizar una aproximación similar para el caso de la Laguna Chica. En la curva definida en el apartado 8.2.2.4 se observan cambios significativos de pendiente para ambos hábitats, en 80% para el hábitat 3190 y 70% para el hábitat 6420.

En el caso del criterio basado en mantener un 50-80% de la variable modelada respecto a las condiciones naturales, se puede interpretar como mantener entre el 50-80% de las superficies potenciales respecto a las condiciones naturales. Si en este caso se obtiene que en condiciones naturales (sin reducción de las aportaciones) las superficies potenciales de los hábitats 3190 y 6420 serían respectivamente de 2,88 ha y 2,48 has, mantener un 50%-80% de las mismas supondría unas superficies potenciales de 1,44-2,30 has para el hábitat 3190 y entre 1,24-1,98 has para el hábitat 6420.

En términos de aportaciones, para mantener esos niveles de superficie potencial (50-80%) del hábitat 3190 supondría estar entre el 82,5-94,5% de las aportaciones naturales (superficiales y subterráneas), mientras que para el hábitat 6420 supondría un intervalo entre 48,0-65,5%.

Teniendo en cuenta la importancia de este enclave, se propone como objetivo de gestión que se mantenga el 90% de la superficie potencial de referencia, es decir, 2,59 has para el hábitat 3190 y 2,23 has para el hábitat 6420.

8.3 DISCUSIÓN Y SELECCIÓN DE PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS

En la aproximación hidrológica abordada en este estudio se ha considerado el régimen de inundación como elemento clave que refleja adecuadamente los aspectos funcionales y estructurales del ecosistema, se han caracterizado los mismos mediante percentiles y a partir de una serie hidrológica en régimen natural. La serie hidrológica ha sido obtenida con el modelo SIMPA (CEDEX, 2019) para el periodo 1980-2018, en el que se recoge una alternancia entre años secos y años húmedos.

Para los modelos biológicos, los elementos objeto de simulación podrán ser componentes de los ecosistemas, tales como especies de flora y fauna o hábitats naturales, bien considerados individualmente o bien por comunidades faunísticas o grupos de hábitats.

En el caso de la Laguna Chica se han identificado los hábitats de interés comunitario más representativos como elementos indicadores del humedal. Estos hábitats son relevantes para la conservación (a escala comunitaria, estatal o regional), tienen presencia significativa en el humedal y necesitan ser gestionados para mantenerlos, mejorarlos o controlarlos. Además, presentan

sensibilidad a los cambios en el régimen de inundación del humedal y, en particular, al tipo de alteración hidrológica que puede sufrir la masa de agua.

Se puede decir, por tanto, que desde el punto de vista metodológico las aproximaciones abordadas en este estudio recogen todos los aspectos que marca la Instrucción de Planificación Hidrológica.

Desde el punto de vista de los resultados, los modelos biológicos apuntan que las descargas de aguas superficiales y subterráneas deben ser de al menos el 94,5% para mantener el 80% de la superficie potencial de hábitat de interés comunitario más restrictivo (hábitat 3190). En comparación con la aproximación hidrológica y asumiendo el caso de los hábitats comunitarios como el más restrictivo en términos de conservación, un escenario de reducción de los aportes al 94,5% proporcionaría para los años secos, medios y húmedos (valores medianos) los volúmenes de agua a la laguna que se muestran en la Tabla nº 13.

Mes	Año (Dm ³)					
	Secos		Medios		Húmedos	
	Biológico	Hidrológico	Biológico	Hidrológico	Biológico	Hidrológico
Oct	0,00	9,24	12,63	7,73	31,32	47,16
Nov	8,13	4,64	25,80	18,28	52,03	56,54
Dic	18,69	3,79	45,32	37,16	71,16	101,51
Ene	18,21	3,64	50,07	58,94	88,25	119,96
Feb	21,92	1,61	59,31	64,10	93,05	124,58
Mar	21,08	0,09	54,84	68,63	100,39	124,45
Abr	17,56	0,00	49,76	58,31	101,42	123,82
May	5,24	0,00	36,64	51,96	84,79	102,72
Jun	0,14	0,00	15,92	29,59	50,55	87,82
Jul	0,00	0,00	10,20	22,53	35,91	79,29
Ago	0,00	0,00	5,60	18,18	31,31	74,89
Sep	0,00	0,00	3,20	14,88	28,27	72,11

Tabla nº 13. Propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Chica.

De la comparación de ambos resultados se puede observar que la propuesta hidrológica presenta en unos volúmenes mayores a la propuesta biológica para años medios y húmedos, mientras que para los



años secos es la propuesta biológica la que presenta unos mayores volúmenes. Esta diferencia en los resultados debe interpretarse en clave normativa, ya que el marco combinado de aproximaciones metodológicas que establece la Instrucción se plantea de forma subordinada, donde los métodos hidrológicos deben complementarse con los biológicos. Efectivamente, la IPH establece que la distribución de valores mínimos “se obtendrá aplicando métodos hidrológicos y sus resultados deberán ser ajustados mediante la modelación del hábitat” de determinadas especies objetivo.

En conclusión, si se consideran los resultados más restrictivos en cada caso, la propuesta de necesidades hídricas finalmente adoptada para la Laguna Chica:

1. Implica unos aportes superficiales y subterráneos de al menos el 95% de las descargas naturales.
2. Supone unos valores medianos para los años húmedos, secos y medios que se muestran en la Tabla nº 14:



Año	Variable	Mes											
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Secos	Volumen (Dm ³)	9,24	8,13	18,69	18,21	21,92	21,08	17,56	5,24	0,14	0,00	0,00	0,00
	Superficie (ha)	0,71	0,64	1,27	1,24	1,46	1,41	1,21	0,46	0,13	0,00	0,00	0,00
	Profundidad (m)	2,66	2,50	3,77	3,73	4,03	3,97	3,68	2,16	0,11	0,00	0,00	0,00
Medios	Volumen (Dm ³)	12,63	25,80	45,32	58,94	64,10	68,63	58,31	51,96	29,59	22,53	18,18	14,88
	Superficie (ha)	0,91	1,68	2,70	3,35	3,58	3,78	3,32	3,02	1,88	1,49	1,24	1,05
	Profundidad (m)	3,20	4,30	5,21	5,64	5,78	5,89	5,62	5,46	4,52	4,07	3,73	3,43
Húmedos	Volumen (Dm ³)	47,16	56,54	101,51	119,96	124,58	124,45	123,82	102,72	87,82	79,29	74,89	72,11
	Superficie (ha)	2,79	3,24	5,10	5,75	5,91	5,91	5,89	5,14	4,57	4,23	4,05	3,93
	Profundidad (m)	5,28	5,58	6,66	7,05	7,14	7,13	7,12	6,69	6,36	6,16	6,05	5,98

Tabla nº 14. Valores medios para la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna Chica.



9 RECOMENDACIONES DE CARA A LA GESTIÓN

La Laguna Chica de Archidona constituye un humedal que se encuentra en buen estado de conservación, sobre el cual no se ha identificado ningún tipo de presión o impacto significativo que afecte al mismo. Debido a las características de la zona y a la calidad de las aguas de esta, se puede considerar que la laguna ha venido funcionando en régimen natural.

Es por ello por lo que se debería mantener esta situación de régimen natural en el tiempo, donde las recomendaciones más destacadas son entre otras:

- a) Mantener un control sobre la calidad de las aguas de la laguna.
- b) Se debería controlar la evolución de los niveles de la laguna, lo cual serviría para seguir con la mejora de los modelos.



10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bartolomé, C. et al. (2005). Los tipos de hábitat de interés comunitario de España: guía básica. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General para la Biodiversidad.

Blanca, G., B. Cabezudo, J. E. Hernández-Bermejo, C. M. Herrera, J. Muñoz y B. Valdés. (2000). Libro Rojo de la Flora Silvestre Amenazada de Andalucía. TOMO II: Especies Vulnerables. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Casado, S. y Montes, C. (1995). Guía de los Lagos y Humedales Españoles. J.M. Reyero eds.; Madrid.

CEDEX. (2019). Aplicación en las cuencas hidrográficas españolas del modelo SIMPA para la obtención de series en régimen hidrológico natural para el periodo 1940-2018. Datos disponibles en web.

Comisión Europea. (2003). Interpretation manual of European Union habitats. EUR25. 128 pp. D.G. Environment, Nature and Biodiversity.

Estrela, T. y L. Quintas. (1996). El sistema integrado de modelización precipitación-aportación SIMPA. Revista de Ingeniería Civil, nº 104. CEDEX-Ministerio de Fomento.

García Viñas, J. I., J. A. Mintegui y J. C. Robredo. (2005). La vegetación en la marisma del Parque Nacional de Doñana en relación a su régimen hidráulico. Naturaleza y Parques Nacionales. Serie Técnica. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente.

Gil Márquez, J.M. (2018). Caracterización hidrogeológica de humedales y manantiales salinos asociados a acuíferos kársticos evaporíticos del sector central del Subbético. Tesis doctoral. Universidad de Granada.

IGN. (2014). LiDAR (1ª Cobertura realizada por el IGN, PNOA-2014).

Junta de Andalucía. (2005a). Definición del Contexto Hidrogeológico de Humedales Andaluces. Tomo II: Humedales de Málaga.

Junta de Andalucía. (2005b). Caracterización Ambiental de Humedales en Andalucía. Consejería de Medio Ambiente.

Junta de Andalucía. (2020). Caracterización Ambiental de Humedales en Andalucía.

Junta de Andalucía. (2012). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas 2009-2015.

Junta de Andalucía. (2016). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas 2015-2021.

Keddy, P. (2002). Wetland Ecology: Principles and Conservation. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, xiv 1614 p.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010). Ficha Informativa Humedal Ramsar.

MMA. (2000). Libro blanco del agua en España. Secretaría de Estado de Aguas y Costas, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid: 1-637.

Moreira, J.M. y Montes, C. (2005). Caracterización Ambiental de Humedales en Andalucía. Junta de Andalucía. 511 pp. Madrid.

Paracuellos, M. (2005). Los humedales como islas de agua en un mar de tierra: La biogeografía y ecología insulares, una vez al servicio de la conservación. En: Contrastes naturales en la región bioclimática del Mediterráneo. (Eds. Ballesteros GA. & R. Pérez), pp. 175-189.

Pardo, L. (1948). Catálogo de los Lagos de España. Biología de las Aguas Continentales. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 522 pp. Madrid.

Reques Rodríguez, R. (2003). Conservación de la Biodiversidad en los Humedales de Andalucía. Junta de Andalucía. 323 pp. Sevilla.

Rodríguez-Rodríguez, M., Cruz-Pizarro, L., Cruz-SanJulián, J.J., Benavente Herrera, J. y Almécija Ruiz, C. (2001). Caracterización limnológica de dos lagunas saladas del sur de la península Ibérica. Limnetica, 20(2), 233-243.

Ruiz, J.M. (1998). Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual-distribuido de simulación continua integrado en un sistema de información geográfica. Tesis Doctoral presentada en la Universidad Politécnica de Valencia.

Sánchez, R. y Viñals, M.J. (2012). Manual para la determinación de las necesidades hídricas de los humedales. El contexto español. MAGRAMA.

Témez, J. R. (1977). Modelo matemático de transformación precipitación-aportación. ASINEL, 1977.



Villalobos Megía, M. (2006). Geodiversidad y Patrimonio Geológico de Andalucía. Itinerario Geológico por Andalucía. Guía didáctica de campo. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

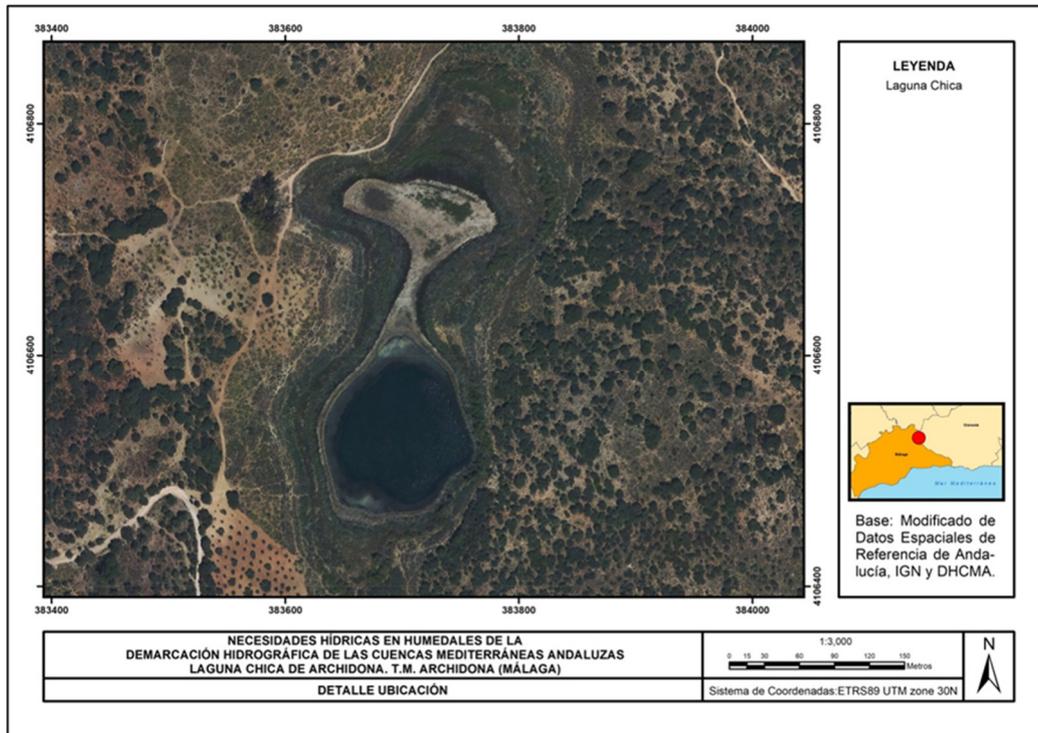
VV.AA. (2009). Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

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

WWF España. (2009). Caudales ecológicos de la marisma del Parque Nacional de Doñana y su área de influencia. 69 pp. Informe técnico.



11 ANEJO FOTOGRÁFICO



Detalle de ubicación de la Laguna Chica.



Detalle de yesos en la zona de la Laguna Chica.



Detalle de la vegetación de la Laguna Chica.



Entrada canal de desagüe de la Laguna Chica.



Laguna Chica.



Detalle de vegetación sumergida en la Laguna Chica.





Panorámica de la Laguna Chica.





LAGUNA DE HERRERA

T.M. DE ANTEQUERA

(MÁLAGA)

ÍNDICE:

1	INTRODUCCIÓN	1
2	DATOS GENERALES.....	2
2.1	SITUACIÓN.....	2
2.2	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	3
2.3	RÉGIMEN JURÍDICO DE PROTECCIÓN	3
2.3.1	Figuras de protección.....	3
2.3.2	Instrumentos y normas de gestión	4
3	CARACTERÍSTICAS DEL HUMEDAL	5
3.1	CLIMATOLOGÍA.....	5
3.2	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	7
3.2.1	Contexto geológico.....	7
3.2.2	Contexto geomorfológico	10
3.3	TOPOGRAFÍA Y CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS.....	10
3.4	FLORA Y VEGETACIÓN	12
3.4.1	Flora con interés de conservación	12
3.4.2	Vegetación	13
3.5	FAUNA.....	16
4	PRESIONES E IMPACTOS	18
4.1	PRESIONES.....	18
4.2	IMPACTOS.....	21
5	VALORES DE CONSERVACIÓN DEL HUMEDAL.....	22
5.1	VALORES DE CONSERVACIÓN	22
5.1.1	Criterios Ramsar	22
5.1.2	Hábitats de Interés Comunitario.....	22
5.1.3	Especies de Interés Comunitario	22
5.2	ESTADO GENERAL DE CONSERVACIÓN	23
5.2.1	Estado ecológico y químico del humedal.....	23
5.2.2	Estado de conservación general	23
6	HIDROLOGÍA DEL HUMEDAL.....	24
6.1	DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO	24
6.1.1	Red hidrográfica y cuencas	24
6.1.2	Funcionamiento hidrológico en condiciones naturales	24
6.1.3	Funcionamiento hidrológico en condiciones modificadas	25

6.2	SERIES DE NIVELES DEL HUMEDAL Y BALANCE ASOCIADO	26
6.3	MODELIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DEL HUMEDAL.....	26
6.3.1	Modelo empleado.....	26
6.3.2	Validación de resultados del modelo hidrológico.....	27
6.3.3	Balance hídrico del humedal	29
6.4	ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO DEL HUMEDAL.....	29
7	SÍNTESIS ECOLÓGICA E HIDROLÓGICA DEL HUMEDAL.....	30
7.1	MODELO CONCEPTUAL.....	30
8	NECESIDADES HÍDRICAS DEL HUMEDAL.....	32
8.1	OBJETIVOS DE CONSERVACIÓN ASOCIADOS AL RÉGIMEN DE NECESIDADES HÍDRICAS	32
8.1.1	Conservación y recuperación de funciones ecológicas generales	32
8.1.2	Conservación de especies y hábitats	32
8.1.3	Conservación de paisajes.....	33
8.2	FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS	33
8.2.1	Aproximación hidrológica	34
8.2.2	Aproximación hidrobiológica.....	41
8.3	DISCUSIÓN Y SELECCIÓN DE PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS.....	47
9	RECOMENDACIONES DE CARA A LA GESTIÓN.....	50
10	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
11	ANEJO FOTOGRÁFICO	54

FIGURAS:

Figura nº 1.	Situación general de la Laguna de Herrera.....	2
Figura nº 2.	Evolución de la precipitación, periodo 1980-2018.	6
Figura nº 3.	Climograma de la zona de estudio, periodo 1980-2018.	6
Figura nº 4.	Evolución de la ETP, periodo 1980-2018.	7
Figura nº 5.	Geología de la zona de estudio.....	8
Figura nº 6.	Leyenda geológica de la zona de estudio.	9
Figura nº 7.	Relación superficie-volumen.....	11
Figura nº 8.	Altimetría en la cuenca de la Laguna de Herrera.....	12
Figura nº 9.	Tipo de grupo de HIC en el entorno de la laguna.	14
Figura nº 10.	Tipos de HIC en el entorno de la laguna.....	16
Figura nº 11.	Perfil teórico de HIC en el entorno de la laguna.	16
Figura nº 12.	Evolución de niveles simulados para la Laguna de Herrera (oct1980-sep2018).	28
Figura nº 13.	Aportaciones (hm3) a la salida del Canal de la Laguna de Herrera (Fuente: Rediam). .	28
Figura nº 14.	Evolución de niveles simulados para la Laguna de Herrera (oct1980-sep2005).	29
Figura nº 15.	Marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y diversos componentes bióticos del ecosistema.....	30
Figura nº 16.	Hidroperiodo típico.....	35
Figura nº 17.	Distribución de volúmenes.	35
Figura nº 18.	Volumen en la laguna. Periodo 1980-2018.....	37
Figura nº 19.	Modelo asociaciones vegetales según régimen hidráulico de inundación.	43
Figura nº 20.	Formulación de escenarios mediante reducción progresiva del 10%.....	45
Figura nº 21.	Evolución de la superficie de los HIC según aportaciones.	45

TABLAS:

Tabla nº 1.	Catalogación del inventario de presiones	20
Tabla nº 2.	Identificación de presiones en el entorno de la Laguna de Herrera	20
Tabla nº 3.	HIC presentes en el entorno de la Laguna de Herrera.....	22
Tabla nº 4.	Especies de interés comunitario presentes en la Laguna de Herrera.....	22
Tabla nº 5.	Balance hídrico Laguna de Herrera.....	29
Tabla nº 6.	Distribución de años secos, medios y húmedos en la Laguna de Herrera.....	39
Tabla nº 7.	Percentil 5 para años secos en la Laguna de Herrera.....	40
Tabla nº 8.	Percentil 5 para años medios en la Laguna de Herrera.....	40
Tabla nº 9.	Percentil 5 para años húmedos en la Laguna de Herrera.....	41
Tabla nº 10.	Propuesta de necesidades hídricas para la Laguna de Herrera.....	41
Tabla nº 11.	Agrupación de las asociaciones vegetales según su régimen hidráulico de inundación.....	43
Tabla nº 12.	Periodos de inundación.....	44
Tabla nº 13.	Propuesta de necesidades hídricas para la Laguna de Herrera.....	48
Tabla nº 14.	Valores medios para la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna de Herrera.....	49

1 INTRODUCCIÓN

La determinación de los requerimientos hídricos ambientales de las masas de agua catalogadas en la condición de lagos o zonas de transición de tipo lagunar tiene como objetivo primordial favorecer a conseguir su buen estado o potencial ecológico a través del mantenimiento a largo plazo de la funcionalidad y estructura de dichos ecosistemas, lo que debe facilitar unos escenarios de hábitat apropiados para satisfacer las necesidades de las distintas comunidades biológicas propias de estos ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante la conservación de los procesos ecológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.

El humedal constituido por la Laguna de Herrera, que se encuentra desecado, se sitúa al norte de la provincia de Málaga, dentro del término municipal de Antequera y a unos 9 km al norte del núcleo de población de Antequera. El acceso se lleva a cabo por la carretera nacional N-331 (Carretera Córdoba-Málaga), situada a unos 800 m del borde oriental de la laguna.

Este espacio se integra dentro del contexto geológico de los Llanos de Antequera, que se ubica dentro del conocido como Trías de Antequera.

Según el proyecto de desecación de la laguna, en 1964 los terrenos de esta se describen como *“cubiertos por las aguas durante el invierno, permaneciendo encharcados durante el verano, siendo así que su aprovechamiento es casi nulo, reduciéndose al pastoreo de sus pastos de muy mala calidad durante el estiaje.* Igualmente, en 1968, se indica que *los terrenos de la laguna se encuentran encharcados la mayor parte del año, empleándose únicamente para pastos de verano”* .

2 DATOS GENERALES

2.1 SITUACIÓN

La Laguna de Herrera, con una superficie aproximada de 100 has (99,84), se ubica dentro de varias parcelas de los polígonos 34, 37 y 39 del término municipal de Antequera.

Las coordenadas del centro del polígono que define el ámbito de la laguna, en el sistema ETRS89 (30N) son:

- X: 359.418
- Y: 4.107.322

En la Figura nº 1 se muestra la situación general de la laguna.

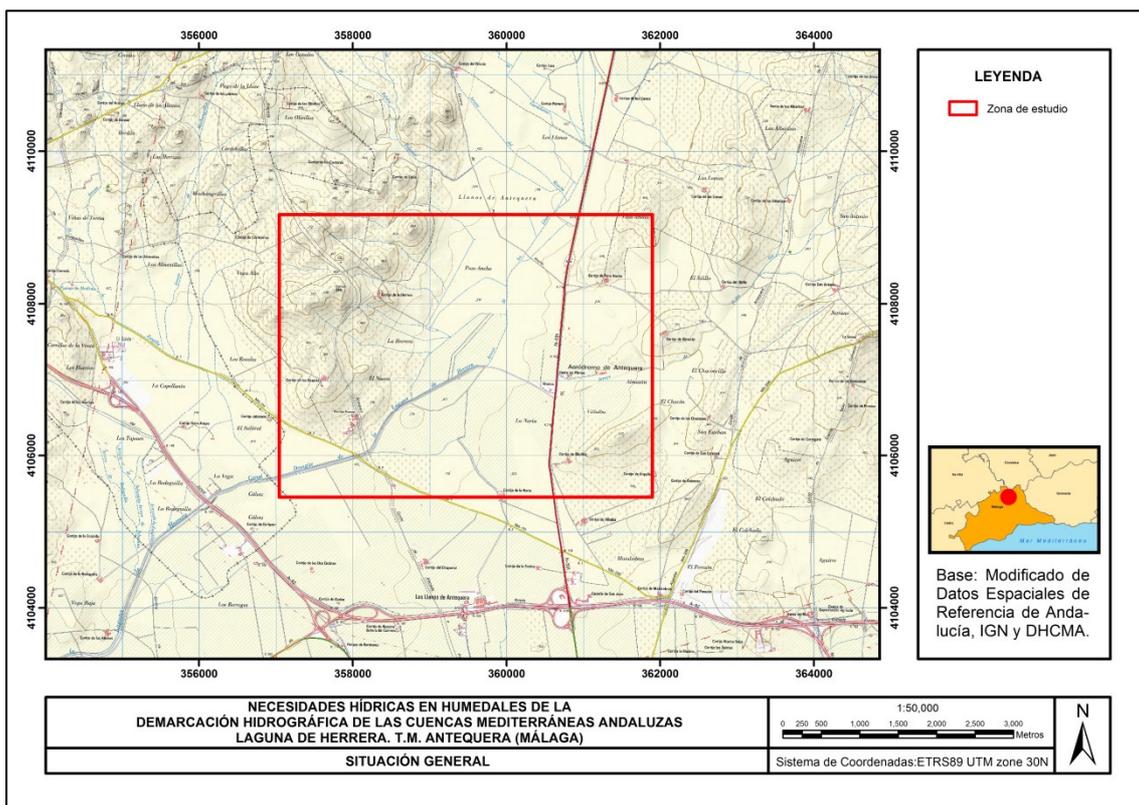


Figura nº 1. Situación general de la Laguna de Herrera.

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL

La Laguna de Herrera es un humedal endorreico, con una cuenca de recepción de 7.155 has, aunque si se considera la superficie correspondiente a la cuenca del arroyo de Pedro Gil, el cual no desembocaba de forma natural en la laguna, la superficie de la cuenca asciende en 1.169 has más, hasta alcanzar las 8.324 has.

La forma lagunar es elipsoidal, donde el eje mayor tiene una distancia aproximada de 1.980 m, frente a los 700 m del eje menor.

En origen, la Laguna de Herrera se comportaba como un humedal estacional de aguas salobres cuyo régimen hídrico sería variable según los años en función del descenso de los niveles piezométricos y la evaporación, lo que culminaría en su desecación completa durante el verano en condiciones naturales. Sin embargo, en la actualidad el régimen hídrico original del humedal se encuentra alterado mediante una red de drenes, construida entre 1963 y 1964 por el Instituto Nacional de Colonización, que desagua las aguas entrantes hacia el cercano río Guadalhorce a través de la denominada sangradera (CAGPDS, 2020), cauce que aparece ya recogido en cartografías antiguas como la de Ceballos y Vicioso de 1933, o la Dantín Cereda de 1940.

La superficie máxima de la lámina de agua se sitúa a 416 m.s.n.m., este valor se ha determinado a partir del modelo digital del terreno realizado con precisión de 10 cm mediante el uso de datos LIDAR (1ª Cobertura realizada por el IGN, PNOA-2014).

2.3 RÉGIMEN JURÍDICO DE PROTECCIÓN

2.3.1 FIGURAS DE PROTECCIÓN

La Laguna de Herrera no se encuentra catalogada dentro de la Red Natura 2000, ni como Humedal de Importancia Internacional del Convenio Ramsar. Sin embargo, sí se recoge en el Inventario español de zonas húmedas con el código IH617017 al igual que en el Inventario de humedales de Andalucía (mismo código).

Finalmente, se recoge dentro del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas como ES060MSPF0614540-Laguna Herrera (categoría lago, muy modificada), como zona protegida vinculada a la masa de agua superficial Canal de la Laguna Herrera (0614010) y a la masa de agua subterránea los Llanos de Antequera-Vega de Archidona (060.033).



2.3.2 INSTRUMENTOS Y NORMAS DE GESTIÓN

La Laguna de Herrera se ve afectada por los siguientes instrumentos y normas de gestión.

- Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) de Antequera, aprobado el 10 de junio de 2010. En dicho planeamiento se localiza a la Laguna de Herrera en Suelo no Urbanizable de Especial Protección.
- Plan Especial de Protección del Medio Físico de la provincia de Málaga, aprobado mediante Resolución de 14 de febrero de 2007, de la Dirección General de Urbanismo, por la que se dispone la publicación del Plan Especial de Protección del Medio Físico y Catálogo de Espacios y Bienes Protegidos de la provincia de Málaga (BOJA nº 69, de 9 de abril de 2007).
- Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas para el periodo 2009-2015, aprobado mediante Real Decreto 1331/2012, de 14 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (PHCMA aprobado por el Real Decreto 11/2016, de 8 de enero, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas de Galicia-Costa, de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, del Guadalete y Barbate y del Tinto, Odiel y Piedras, anulado por Sentencia de 25 de marzo de 2019, de la Sala Tercera del Tribunal Supremo (BOE núm. 107 de 4 de mayo de 2019)).



3 CARACTERÍSTICAS DEL HUMEDAL

3.1 CLIMATOLOGÍA

La descripción climática se ha realizado a partir de las series de datos de precipitación y temperatura que se presentan a continuación, las cuales han sido obtenidas del modelo hidrológico SIMPA (CEDEX, 2019) para la Laguna de Herrera.

La evaluación de recursos hídricos en régimen natural constituye una información básica de partida para el proceso de planificación hidrológica, y resulta esencial para conocer con detalle los recursos disponibles y gestionarlos de forma sostenible y eficiente.

El Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX trabaja continuamente en la mejora y actualización del modelo SIMPA (Sistema Integrado de Modelación Precipitación-Aportación), con el que se realiza en España la evaluación de los recursos hídricos en régimen natural.

De cara al tercer ciclo de planificación, desde el CEDEX se han realizado diversas mejoras en el modelo SIMPA, entre estas se encuentran el tratamiento de la nieve en la formulación del modelo hidrológico, mejoras en los datos de entrada de las variables atmosféricas (revisión de datos, interpolación, incorporación de estaciones SIAR para mejorar la ETP, nuevos mapas correctores de ETP), revisión de los datos de los puntos de contraste y selección de nuevos puntos, mejoras en los mapas de parámetros utilizados en la calibración, etc.

De modo general, las características climáticas de la zona de estudio son:

- El clima de la zona ha sido descrito como de tipo continental mediterráneo, seco-subhúmedo (CAGPDS, 2020).
- Para la serie de 1980-2018, la precipitación media anual es de 462 mm. El año con mayor precipitación en ese periodo fue de 1.117 mm, mientras que el de menos se estableció en 158 mm (Figura nº 2).

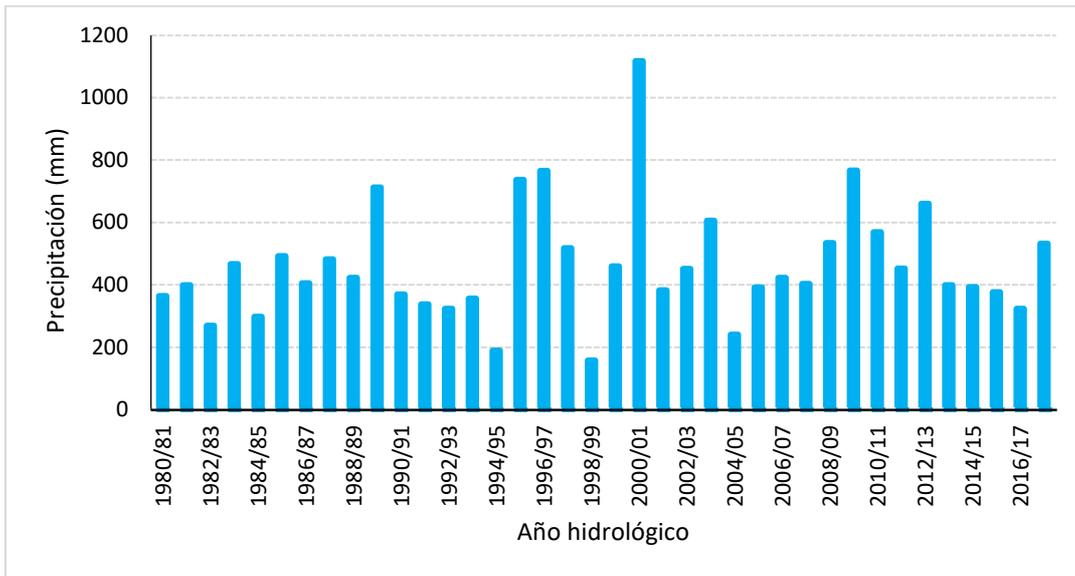


Figura nº 2. Evolución de la precipitación, periodo 1980-2018.

- Las precipitaciones máximas se dan en los meses de noviembre a enero, y las mínimas se dan en junio, julio y agosto (Figura nº 3).

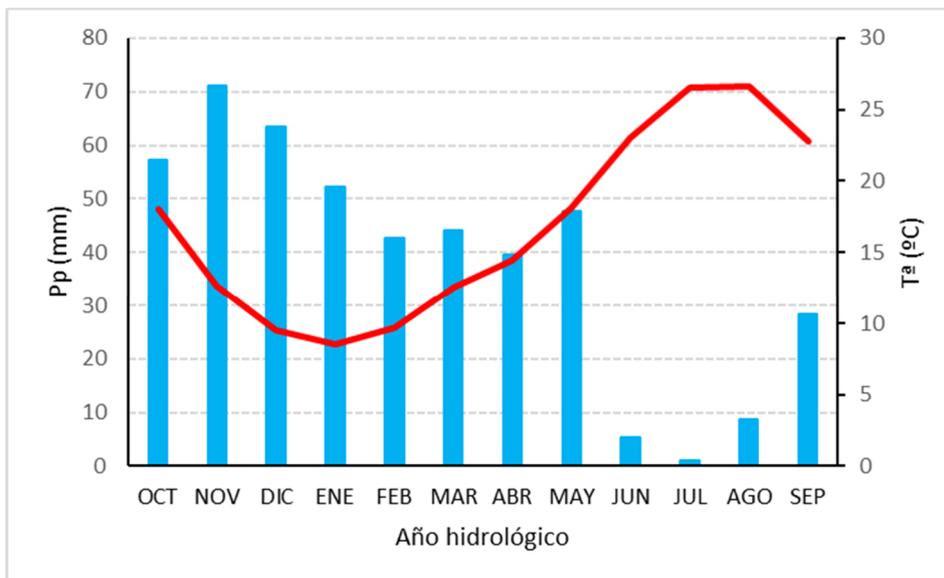


Figura nº 3. Climograma de la zona de estudio, periodo 1980-2018.

- En general el invierno es una estación suave, con temperaturas medias de entre 9,5°C y 12,6°C, aunque puntualmente se detectan heladas y la formación de escarcha (la media del mes más frío es 8,5°C), mientras que el verano es muy caluroso (la media de las temperaturas del mes más cálido es de 26,6°C). La primavera tiene unas temperaturas medias entre 15 y 18°C, en

tanto que el otoño se configura como la estación más inestable. La temperatura media anual se sitúa en torno a los 16,9°C.

- Para la serie de 1980-2018, la ETP considerada asciende a 1.047 mm. El año con mayor ETP en ese periodo fue de 1.144 mm, mientras que el de menos 946 mm (Figura nº 4).

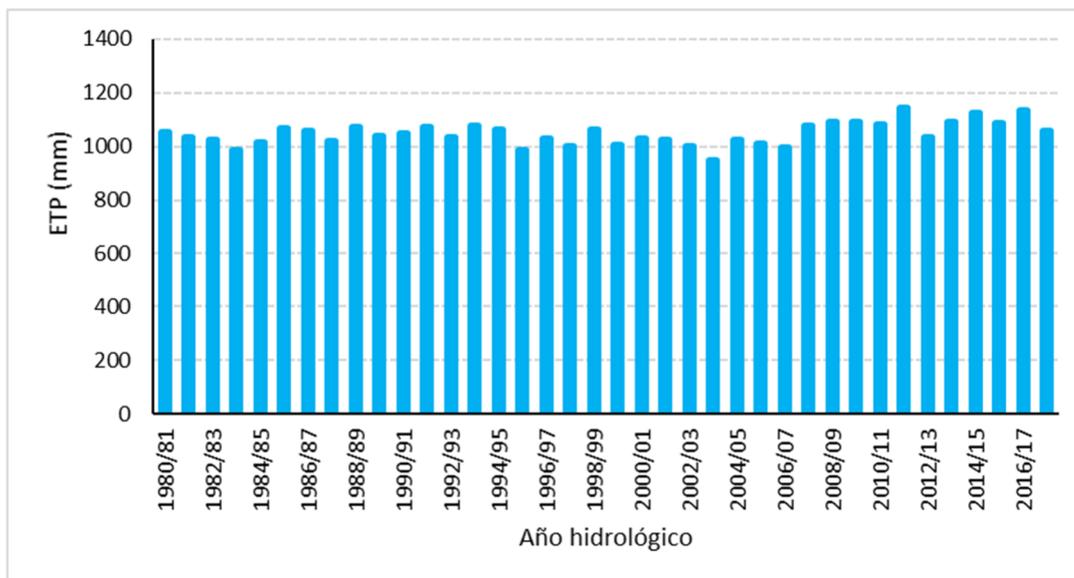


Figura nº 4. Evolución de la ETP, periodo 1980-2018.

- Dentro del ciclo anual, los valores máximos de evaporación tienen lugar durante los meses de junio, julio y agosto, con valores próximos a 160 mm, mientras que los meses invernales son los que presentan los valores más bajos, en los que noviembre, diciembre, enero y febrero presentan valores mensuales próximos a 35 mm).

3.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

La descripción del contexto geológico y geomorfológico de la Laguna de Herrera se ha realizado a partir de la información de la Ficha Informativa del Inventario de humedales de Andalucía, así como de información del IGN y estudios específicos realizados en la zona de estudio.

3.2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

La zona de estudio se ubica en los Llanos de Antequera, dentro del denominado Trías de Antequera, el cual pertenece al dominio paleoestratigráfico subbético, dentro de la Zona Externa de la Cordillera Bética. En esta región, la edad de los materiales que afloran data mayoritariamente del periodo Triásico, aunque también se pueden encontrar materiales cuyos depósitos se produjeron con posterioridad.

Concretamente, la zona de estudio se localiza en el valle de materiales de origen terciario y cuaternario que continúa al norte del Trías de Antequera. Estos materiales se sitúan sobre otros de origen Triásico (margas abigarradas del Keuper, salinas y yesosas, en cuya parte superior se sitúan bloques dolomíticos). El Cuaternario aluvial está constituido por arcillas con intercalaciones de gravas y arenas.

La Figura nº 5 muestra la geología de la zona de estudio y en la Figura nº 6 se presenta la leyenda geológica.

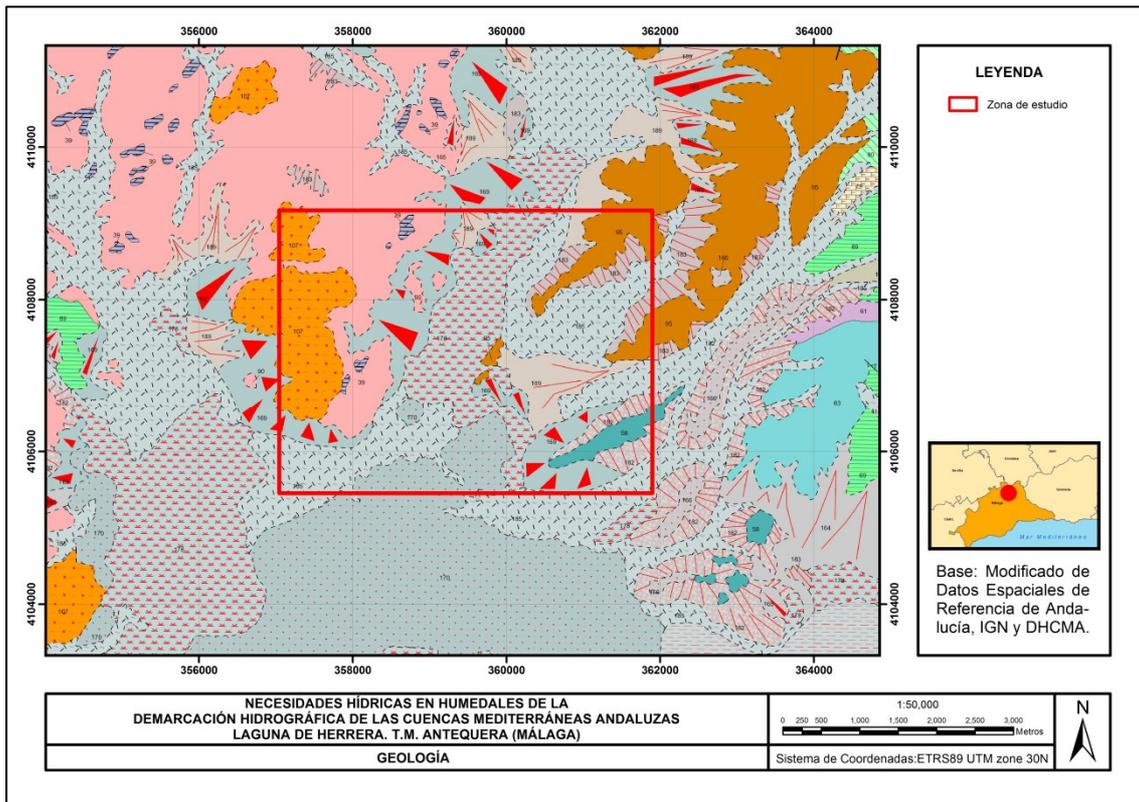


Figura nº 5. Geología de la zona de estudio.

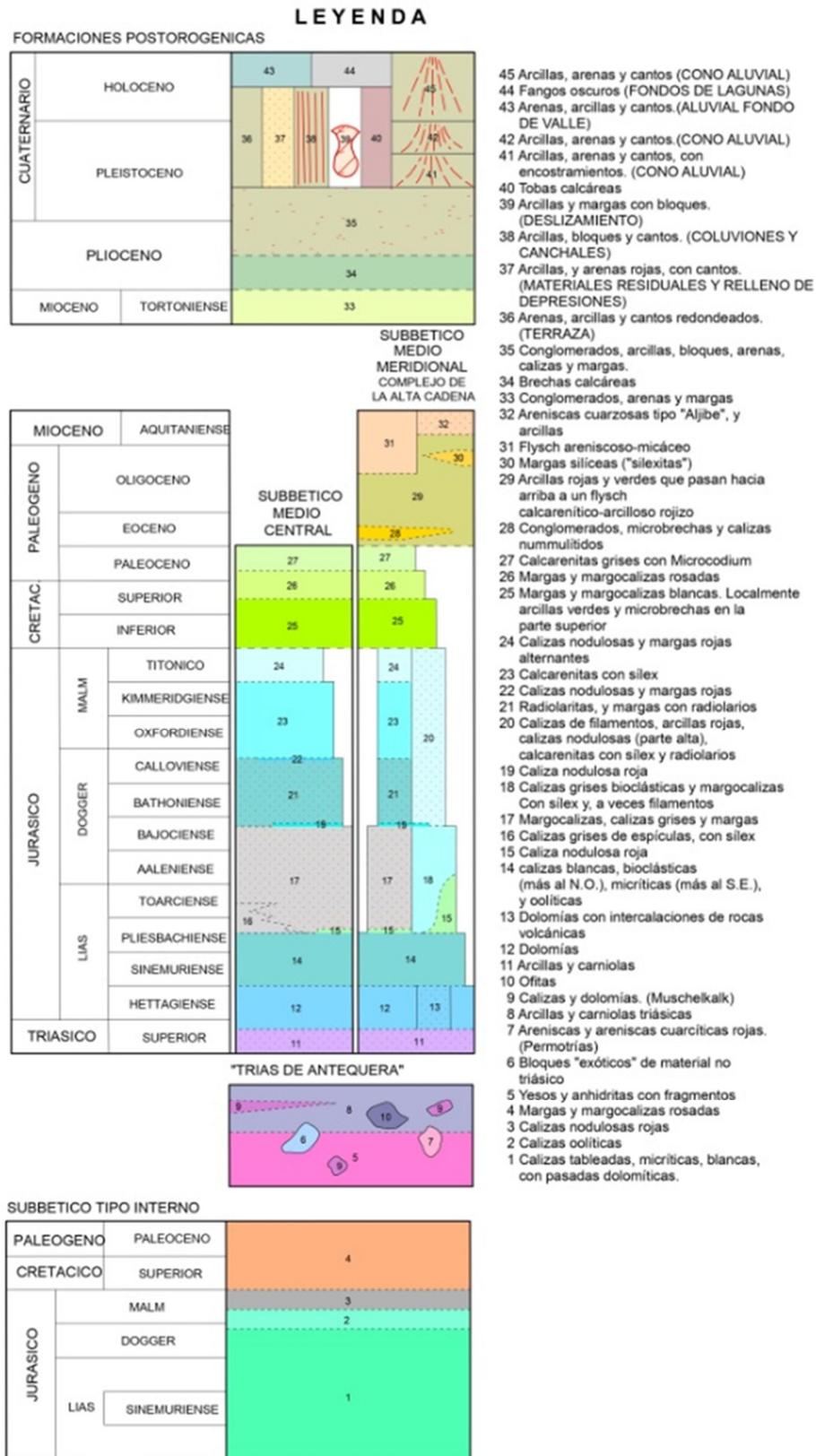


Figura nº 6. Leyenda geológica de la zona de estudio.



3.2.2 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

Desde el punto de vista geomorfológico este humedal se corresponde con una llanura cuaternaria rodeada por una serie de montículos terciarios (como el de Herrera y Torrecillas, entre otros) de suave topografía y con pendientes que aumentan hacia los bordes este y oeste del humedal, allí donde afloran los materiales calcáreos.

Se trata de una cubeta de relleno endorreico. Dicha figura geomorfológica se da al tratarse de una zona llana, topográficamente deprimida y constituida por materiales impermeables, los cuales recogen el agua que configuran el humedal.

En la región la red hidrográfica está escasamente desarrollada y constituida por cauces poco ramificados de pequeña longitud. La mayor parte de estos cauces desembocan en las diferentes lagunas existentes o se pierden en simas o sumideros, por lo que sobre los materiales triásicos hay instaurado un régimen endorreico que condiciona, en buena parte, la calidad química de las aguas superficiales y subterráneas de la región, debido a la disolución de evaporitas.

En la laguna son abundantes los depósitos de carácter arcilloso-arenoso (de un color oscuro que manifiesta su contenido en materias orgánicas), en cuyo techo aparece una delgada corteza salina que constituye el nivel más reciente de la sedimentación de la zona.

Por tanto, el carácter geomorfológico más representativo es su endorreísmo, donde su origen kárstico no ofrece apenas dudas: la disolución del yeso origina hundimientos que atraen las aguas, pero la abundancia de residuos arcillosos insolubles tapa los conductos abiertos por disolución y permite el estancamiento de las aguas.

3.3 TOPOGRAFÍA Y CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

En planta, la Laguna de Herrera muestra un contorno en forma elipsoidal, donde el eje mayor tiene una distancia aproximada de 1.980 m, frente a los 700 m del eje menor.

A partir del modelo digital del terreno elaborado, y mediante el uso de un SIG, se han deducido los volúmenes correspondientes a cada cota y la superficie asociada a los mismos (Figura nº 7).

Los resultados finales del balance realizado en este estudio podrían presentar ciertas variaciones ya que no se dispone de una batimetría de precisión.

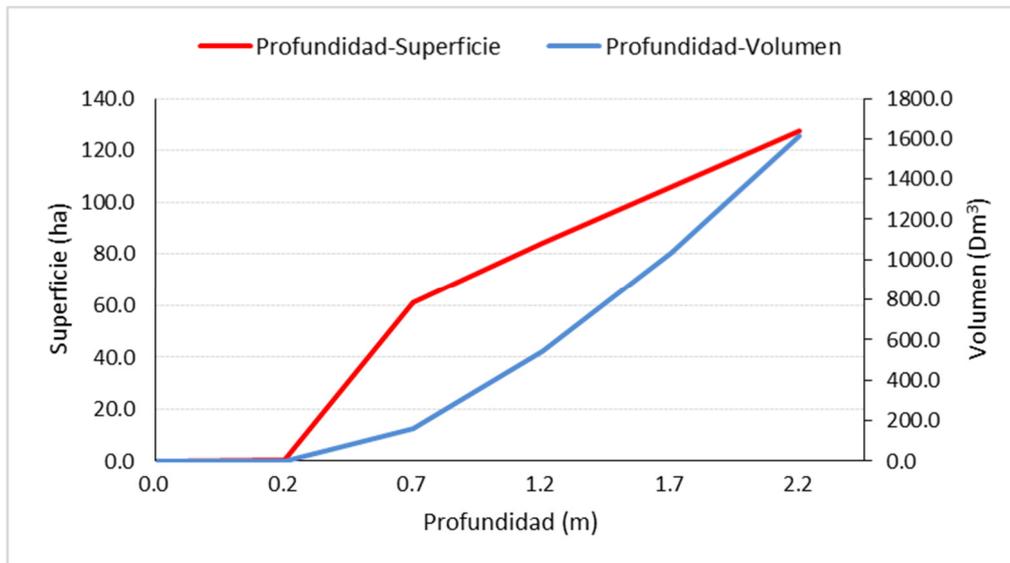


Figura nº 7. Relación superficie-volumen.

La laguna presenta un hidropereodo temporal. Inicialmente presentaba aguas salobres, que principalmente recibía los aportes de varios arroyos desde la parte norte de la cuenca (de los Llanos, con varios tributarios: del Rincón, de Garsidonia, de las Monjas, de Casarejo), así como, descargas de aguas freáticas desde el acuífero local, poco profundo y de comportamiento heterogéneo, tanto en su permeabilidad como en la composición química de las aguas. Su régimen hídrico era variable, según los niveles piezométricos y la evaporación. Sin embargo, en la actualidad el régimen hídrico original del humedal se encuentra alterado mediante una red de drenes construida entre 1963 y 1964 por el Instituto Nacional de Colonización, que desaguan las aguas entrantes hacia el cercano río Guadalhorce, a través de la denominada sangradera. A ello se le añade un nuevo tributario por el este, el arroyo de Pedro Gil, que de forma natural no desembocaba en la laguna, sino que generaba un delta anterior donde el agua se infiltraba lentamente en los materiales cuaternarios acumulados.

Prácticamente toda su superficie está cultivada, dado el fácil laboreo de los materiales que la conforman, al igual que los terrenos del perímetro que la rodea. Predomina el cultivo de herbáceas en secano y regadío como avena, cebada, trigo y girasol. Sin embargo, las prácticas agrícolas no llegan a alterar completamente las comunidades vegetales que aún restan en sus límites y drenes.

En la Figura nº 8 se muestra la altimetría en la cuenca de la Laguna Herrera.

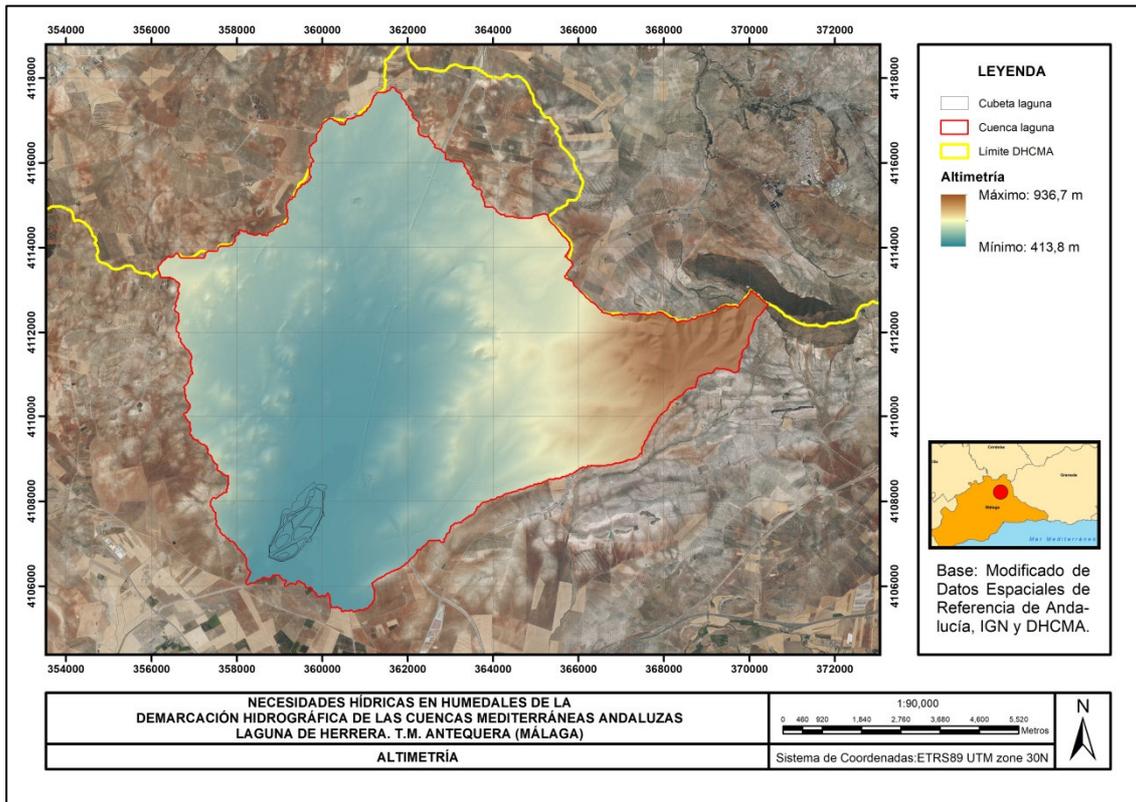


Figura nº 8. Altimetría en la cuenca de la Laguna de Herrera.

3.4 FLORA Y VEGETACIÓN

Las fuentes consultadas para desarrollar este apartado han sido diversas. Para la identificación de las especies de flora que presentan un gran valor de conservación se han revisado diferentes estudios y documentos técnicos (Inventario de Humedales de Andalucía, etc.). Para la presencia de los hábitats de interés comunitario se ha consultado, además, la información oficial de la Red Natura 2000. Para la interpretación y descripción de las comunidades vegetales de la laguna con relación a los hábitats tipificados de interés comunitario se ha utilizado el Manual de Interpretación (Comisión Europea, 2013) y el documento “Bases ecológicas para gestión de humedales” (VV.AA., 2009). En el caso del modelo de distribución de hábitats y especies vegetales en la laguna se han seguido los estudios y aproximaciones metodológicas de García Viñas *et al.* (2005) y WWF (2009).

3.4.1 FLORA CON INTERÉS DE CONSERVACIÓN

La vegetación del humedal se encuentra bastante condicionada por la presencia de los canales de drenaje que evacuan gran parte del agua acumulada. Esto produce una alteración en la sucesión vegetal definida tanto por la alteración del régimen hídrico como por un descenso en salinidad de las

aguas acumuladas, lo que origina que la vegetación emergente mayoritaria del humedal en la actualidad este formada un carrizal perilagunar residual de *Phragmites australis*, especie perenne adaptada a soportar una mayor estacionalidad y a sobrevivir con la humedad procedente del nivel freático. Esta formación vegetal es sustituida hacia las zonas más profundas de los canales por helófitos de medio porte, entre las que destacan rodales de *Typha dominguensis*, así como ejemplares diseminados de *Tamarix canariensis* y formaciones de juncales con *Scirpus maritimus*, *Juncus maritimus* y *Scirpus holoschoenus*.

Por su parte, las zonas de inundación temporal y por tanto de evaporación, generan en la superficie una acumulación de sales que estimula el crecimiento de saladares estacionales y pastizales de suelos salinos compuestos por las especies *Suaeda splendens*, *Hordeum marinum*, *Frankenia pulverulenta*, *Cressa cretica* y *Spergularia salina*.

En los años en que se produce una inundación recurrente del humedal, se instalan en los fondos de aguas someras densas praderas de vegetación sumergida que se desarrollan durante la primavera hasta la desecación del humedal. Se ha catalogado el desarrollo de las especies *Chara vulgaris longibracteata*, *Chara connivens* y *Chara aspera*, junto a formaciones anfibias de *Ranunculus peltatus* colonizando las aguas abiertas de inundación somera. En estos años, el sedimento húmedo de la laguna que aparece al retirarse las aguas es ocupado por comunidades de pastizales anuales dominados por *Lythrum tribracteatum*.

3.4.2 VEGETACIÓN

3.4.2.1 COMUNIDADES VEGETALES CARACTERÍSTICAS

Laguna de Herrera se define por la presencia de los siguientes hábitats naturales de interés comunitario:

- 13 Marismas y pastizales salinos atlánticos y continentales.
 - 1310 Vegetación anual pionera con *Salicornia* y otras especies de zonas fangosas o arenosas.
- 31 Aguas estancadas.
 - 3140 Aguas oligomesotróficas calcáreas con vegetación béntica de *Chara* spp.
 - 3170 Estanques temporales mediterráneos (*).

3.4.2.2 ORGANIZACIÓN ESPACIAL DE LOS HÁBITATS DE INTERÉS COMUNITARIO

3.4.2.2.1 LOS HÁBITATS EN EL CONJUNTO DEL HUMEDAL

En el ámbito de la Laguna de Herrera y su entorno se encuentran diferentes hábitats de interés comunitario vinculados al agua, tales como los hábitats de aguas estancadas, vegetación anual pionera y pastizales salinos (grupos de hábitats tipo 13 y 31) (Figura nº 9).

Cada tipo de hábitat está representado por ciertas especies predominantes, las cuales indican características del medio (humedad, salinidad, nutrientes, etc.) diferenciadas.

La organización espacial de las especies responde 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).



Figura nº 9. Tipo de grupo de HIC en el entorno de la laguna.

3.4.2.2.2 LOS HÁBITATS SEGÚN EL ORIGEN Y DINÁMICA DE LAS AGUAS

Los hábitats de interés comunitario de la Laguna de Herrera ligados al medio acuático estarían representados por los tipos 1310, 3140 y 3170.

Las diferentes comunidades que tapizan el perímetro lagunar se disponen en base a la variación de los siguientes factores ecológicos: duración del encharcamiento, grado de salinidad y textura del suelo. El resultado es una zonación horizontal de las distintas comunidades. Los diferentes hábitats que se encuentran en la laguna serían los siguientes:

- **Hábitat 1310:** Este hábitat está formado por un conjunto de comunidades vegetales muy características desarrolladas sobre suelos con altos contenidos en sales, principalmente especies anuales. Se trata de una banda de vegetación cercana al agua y que se desarrolla cuando esta desaparece a principios de verano. En la orilla de la laguna, ocupando el suelo desnudo cuando se retira el agua a finales de primavera, se desarrolla un pastizal dominado por *Salicornia ramosissima* (*Suaedo braun-blanquetii*- *Salicornietum patulae*).
- **Hábitat 3140:** Hábitat caracterizado por una vegetación flotante y sumergida relevante cuando el nivel de agua, salinidad y turbidez lo permiten. Un buen número de especies del género *Chara* son características de aguas con mayor contenido en bicarbonatos y aguas alcalinas, con algunas especies más eurihalinas.
- **Hábitat 3170:** Se trata de cuerpos de agua que sufren desecación parcial o total durante el estío, y con aguas con bajo a moderado contenido en nutrientes.

3.4.2.2.3 HACIA UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE HÁBITATS Y ESPECIES EN LA LAGUNA

La conceptualización anterior permite plantear un modelo de distribución de la vegetación en la Laguna de Herrera. Se trata de un modelo que permite explicar la distribución de los subgrupos y tipos de la Directiva Hábitat y las especies que los integran.

En la Figura nº 10 se reproduce la zonificación teórica de los diferentes tipos de hábitats de la Laguna de Herrera.

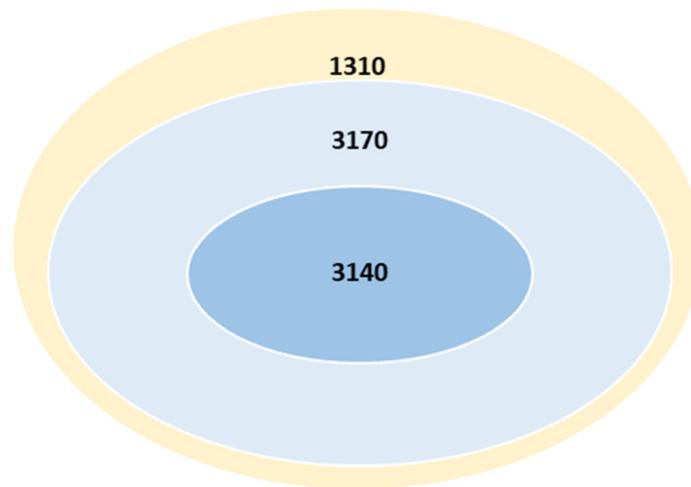


Figura nº 10. Tipos de HIC en el entorno de la laguna.

En la Figura nº 11 se presenta un perfil teórico de vegetación con los tipos de hábitats directamente influenciados por el régimen de inundación.

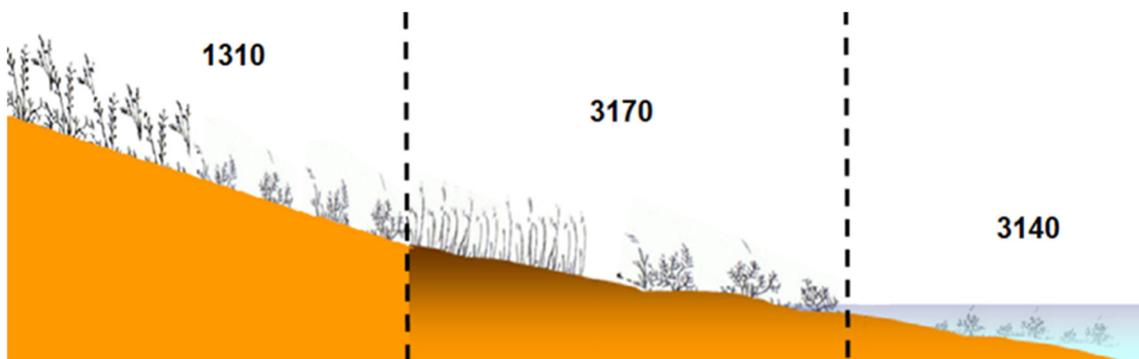


Figura nº 11. Perfil teórico de HIC en el entorno de la laguna.

3.5 FAUNA

Son escasas las especies de invertebrados catalogadas, donde destaca la presencia de crustáceos de los órdenes *Cladocera* y *Copepoda*. Estos organismos acuáticos colonizan el humedal tras su inundación gracias a los huevos de resistencia que producen y que permanecen en el sedimento hasta la vuelta de unas condiciones apropiadas, lo que en el caso de estos humedales más alterados puede tardar varios años.

Por su parte, en la laguna se han detectado al menos dos especies de anfibios, *Bufo calamita* (sapo corredor) y *Pleurodeles walt* (gallipato), especies particularmente adaptadas a un rápido desarrollo larvario en humedales estacionales y que se encuentran catalogadas como “De Interés Especial” en el Catálogo Español de Especies Amenazadas.



La avifauna acuática de este humedal está muy condicionada por las fluctuaciones estacionales e interanuales de la lámina de agua, así como por las actividades realizadas sobre el propio vaso lagunar. En este humedal se ha registrado la presencia de varias especies reproductoras como son el ánade real (*Anas platyrhynchos*), la focha común (*Fulica atra*), la gallineta común (*Gallinula chloropus*), la cigüeñuela (*Himantopus himantopus*) y la más escasa como reproductora avefría (*Vanellus vanellus*). Además, se ha observado la utilización del humedal por más de 40 especies de aves acuáticas, entre las que destacan la garceta común (*Egretta garzetta*), la garcilla cangrejera (*Ardeola ralloides*), el flamenco rosa (*Phoenicopterus roseus*), el aguilucho lagunero (*Circus aeruginosus*), la avoceta (*Recurvirostra avosetta*), el chorlito patinegro (*Charadrius alexandrinus*) y la pagaza piconegra (*Gelochelidon nilotica*).



4 PRESIONES E IMPACTOS

El diagnóstico de la Laguna de Herrera que se presenta a continuación ha sido elaborado a partir de toda la información disponible en las diferentes fichas y planes referentes a la misma.

4.1 PRESIONES

El Reglamento de la Planificación Hidrológica, la Instrucción de la Planificación Hidrológica y la guía CIS nº 3 IMPRESS definen una presión significativa como aquella que supera un umbral definido a partir del cual se puede poner en riesgo el cumplimiento de los objetivos ambientales en una masa de agua. Por otro lado, para la guía de *reporting* de la DMA (Comisión Europea, 2014), presión significativa es aquella que, sola o en combinación con otras presiones, impide o pone en riesgo el logro de los OMA (art. 4.1 DMA). Por tanto, no todas las presiones pueden considerarse significativas.

En dicha guía se lleva a cabo una sistematización de las presiones que se despliega en la Tabla nº 1.

1 Puntuales
1.1 Aguas residuales urbanas
1.2 Aliviaderos
1.3 Plantas IED
1.4 Plantas no IED
1.5 Suelos contaminados / Zonas industriales abandonadas
1.6 Zonas para eliminación de residuos
1.7 Aguas de minería
1.8 Acuicultura
1.9 Otras
2 Difusas
2.1 Escorrentía urbana / alcantarillado
2.2 Agricultura
2.3 Forestal
2.4 Transporte
2.5 Suelos contaminados / Zonas industriales abandonadas
2.6 Vertidos no conectados a la red de saneamiento
2.7 Deposición atmosférica
2.8 Minería
2.9 Acuicultura



2.10 Otras (cargas ganaderas)
3 Extracción de agua / Desviación de flujo
3.1 Agricultura
3.2 Abastecimiento público de agua
3.3 Industria
3.4 Refrigeración
3.5 Generación hidroeléctrica
3.6 Piscifactorías
3.7 Otras
4 Alteración morfológica
4.1 Alteración física del cauce/ lecho / ribera / márgenes
4.1.1 Protección frente a inundaciones
4.1.2 Agricultura
4.1.3 Navegación
4.1.4 Otras
4.1.5 Desconocidas
4.2 Presas, azudes y diques
4.2.1 Centrales Hidroeléctricas
4.2.2 Protección frente a inundaciones
4.2.3 Abastecimiento de agua
4.2.4 Riego
4.2.5 Actividades recreativas
4.2.6 Industria
4.2.7 Navegación
4.2.8 Otras
4.2.9 Estructuras obsoletas
4.3 Alteración del régimen hidrológico
4.3.1 Agricultura
4.3.2 Transporte
4.3.3 Centrales Hidroeléctricas
4.3.4 Abastecimiento público de agua
4.3.5 Acuicultura
4.3.6 Otras
4.4 Desaparición parcial o total de una masa de agua
4.5 Otras alteraciones hidromorfológicas



Otras
5.1 Especies alóctonas y enfermedades introducidas
5.2 Explotación / Eliminación de fauna y flora
5.3 Vertederos controlados e incontrolados
6.1 Recarga de acuíferos
6.2 Alteración del nivel o volumen de acuíferos
7 Otras presiones antropogénicas
8 Presiones desconocidas
9 Contaminación histórica

Tabla nº 1. Catalogación del inventario de presiones

Se diferencian en el entorno de la laguna, tanto en el humedal como en la cuenca, las siguientes presiones.

La laguna se encuentra drenada y transformada como tierra de cultivo, aunque se inunda parcialmente en años lluviosos. Cuando no se inunda su cubeta lacustre, predomina el cultivo de herbáceas en secano y regadío como avena, cebada, trigo y girasol. Sin embargo, las prácticas agrícolas no llegan a alterar completamente las comunidades vegetales que aún restan en sus límites y drenes. El drenaje que atraviesa la cubeta se limpia periódicamente de sedimentos acumulados para mantener su funcionalidad, ya que el arroyo de Pedro Gil aporta gran cantidad de sedimentos cada año.

En relación a la cuenca, la práctica totalidad de la cuenca se encuentra sometida a labores agrícolas, predominando el cultivo de olivar y herbáceas en secano y regadío. Las pendientes del terreno y las prácticas agrícolas favorecen la pérdida de suelo, que vierte directamente al vaso lagunar, fenómeno beneficiado por la extensión de la cuenca y la presencia de dos arroyos principales. Los bombeos en las captaciones situadas en el entorno de la laguna y el uso de productos fitosanitarios son otras presiones que pueden afectar de manera directa al humedal.

También se detectan vertidos de aguas residuales que pueden suponer una presión significativa, así como la presencia de redes de comunicación.

En la Tabla nº 2 se recogen las presiones identificadas en el entorno de la laguna.

Vertidos	Bombeos y extracciones	Morfológicas y del paisaje	Regulación del flujo	Extracción minera	Otros usos del suelo	Actividad agroganadera	Otras
X	X	X	X	--	X	X	--

Tabla nº 2. Identificación de presiones en el entorno de la Laguna de Herrera.

4.2 IMPACTOS

Las presiones a las que se encuentra sometido el humedal han dado lugar a diferentes impactos físicos, biológicos y ecológicos. En función de los recursos a los que afectan, los impactos más significativos son los siguientes:

- Medio físico.
 - Disminución del volumen de agua embalsada en el conjunto del humedal.
 - Reducción de zonas encharcadas debido a acciones humanas.
 - Contaminación del acuífero por nitratos de origen agrario.
 - Alteración de los valores característicos de calidad de las aguas superficiales.
 - Incremento de los procesos de erosión y de sedimentación en la laguna.
 - Alteración del régimen hidrológico del humedal, al menos de en la componente superficial.
 - Alteración de valores característicos de calidad de las aguas superficiales.
 - Alteración morfológica de la cubeta y sistema de drenaje de la misma.
 - Reducción de la zona inundable por ocupación del suelo para uso agrícola.
 - Reducción de la superficie encharcada debido a acciones humanas.
- Especies y comunidades de flora.
 - Regresión y cambios en la dinámica de la vegetación sumergida.
 - Regresión y en algunas zonas desaparición de la vegetación perilagunar.
 - Disminución general de la biodiversidad vegetal, con escasas especies de gran valor tal como correspondería a un espacio con estas características.
- Especies y comunidades de fauna.
 - Disminución de la capacidad de carga del conjunto lagunar para la invernada de aves acuáticas.
 - Disminución de la capacidad de carga del conjunto lagunar para la nidificación e invernada de especies de fauna, incluidas las aves, reptiles y anfibios.
 - Disminución del número de especies nidificantes y rarefacción de especies singulares de avifauna.

5 VALORES DE CONSERVACIÓN DEL HUMEDAL

5.1 VALORES DE CONSERVACIÓN

A partir de la información disponible en las diferentes fichas y planes referentes a la Laguna de Herrera, se han identificado los siguientes elementos de interés para su conservación.

5.1.1 CRITERIOS RAMSAR

Aunque la Laguna de Herrera no se encuentra catalogada bajo criterios Ramsar, esta:

- Sustenta especies vulnerables, en peligro o en peligro crítico, o comunidades ecológicas amenazadas.
- Sustenta poblaciones de especies vegetales y/o animales importantes para mantener la diversidad biológica de una región biogeográfica determinada.

5.1.2 HÁBITATS DE INTERÉS COMUNITARIO

En la Tabla nº 3 se muestran los hábitats de interés comunitario presentes en el entorno de la Laguna Herrera.

Código	Hábitat de Interés Comunitario (HIC)
1310	Vegetación anual pionera con <i>Salicornia</i> y otras especies de zonas fangosas o arenosas.
3140	Aguas oligomesotróficas calcáreas con vegetación béntica de <i>Chara spp.</i>
3170	Estanques temporales mediterráneos.

Tabla nº 3. HIC presentes en el entorno de la Laguna de Herrera.

5.1.3 ESPECIES DE INTERÉS COMUNITARIO

La Tabla nº 4 recoge las especies de interés comunitario presentes en la Laguna Herrera.

Grupo	Nombre de la especie	Nombre común
Aves	<i>Ardeola ralloides</i>	Garcilla cangrejera
Anfibios	<i>Pleurodeles waltl</i>	Gallipato

Tabla nº 4. Especies de interés comunitario presentes en la Laguna de Herrera.



5.2 ESTADO GENERAL DE CONSERVACIÓN

5.2.1 ESTADO ECOLÓGICO Y QUÍMICO DEL HUMEDAL

Tal y como se recoge en el tercer ciclo del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, la masa de agua tipo lago, muy modificada, Laguna Herrera (ES060MSPF0614540), presenta un potencial ecológico y un estado químico sin evaluar por no disponer de datos de las redes de control.

5.2.2 ESTADO DE CONSERVACIÓN GENERAL

La Laguna Herrera, tal y como se indica en el apartado anterior, se presenta sin evaluar por no disponer de datos de las redes de control.



6 HIDROLOGÍA DEL HUMEDAL

La descripción del funcionamiento hidrológico e hidrogeológico de la Laguna de Herrera se ha realizado a partir de la información del Estudio de las necesidades hídricas en lagos y humedales de la Junta de Andalucía. En la realización de los balances de la cuenca se han considerado los valores de ciertas variables aportadas por el modelo de simulación precipitación-escorrentía SIMPA (CEDEX, 2019). Para los datos de nivel de lámina de agua se han utilizado los valores obtenidos a partir del modelo digital del terreno obtenido mediante LIDAR.

6.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO

6.1.1 RED HIDROGRÁFICA Y CUENCAS

La zona de estudio, ubicada en el sector de Los Llanos, dentro del Trías de Antequera, se encuentra en el límite entre las demarcaciones hidrográficas de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas y del Guadalquivir, en esta zona la circulación de las aguas presenta dos componentes principales, superficial y subterránea.

En la zona se encuentran multitud de pequeños cauces que desembocan en la laguna de forma natural. De igual modo, también supone un punto de drenaje de las aguas subterráneas en la zona.

6.1.2 FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO EN CONDICIONES NATURALES

De forma natural la Laguna de Herrera representaba una cuenca endorreica en la que desembocaban varios cauces de pequeña entidad. La laguna presentaba una gran cuenca de recepción, con una superficie de 7.155 has.

En origen, la Laguna de Herrera se comportaba como un humedal estacional de aguas salobres (CAGPDS, 2020) cuyo régimen hídrico sería variable según los años en función del descenso de los niveles piezométricos y la evaporación, lo que culminaría en su desecación completa durante el verano en condiciones naturales.

En términos generales, el funcionamiento de la Laguna de Herrera presentaría importantes oscilaciones en función de las precipitaciones del año.

La recarga en la laguna se produce a partir de:

- Precipitación en forma de lluvia que cae directamente en la cubeta de la laguna.
- Agua de escorrentía que circula en superficie hasta alcanzar el humedal, preferentemente a través de los diferentes cauces que desembocan en la laguna, aunque también es importante el recurso que de manera difusa alcanza el sector (flujo hipogénico).
- Aporte de agua subterránea desde el acuífero.

La evaporación es el fenómeno que condiciona de manera primordial el vaciado de la laguna, donde se observa que el descenso estacional de nivel comienza prácticamente todos los años en los meses en que los índices de evaporación empiezan a ser más elevados, lo cual varía de unos años a otros.

Los materiales del Trías de Antequera, desde el punto de vista hidrogeológico, se consideran que constituyen el substrato impermeable de los sistemas hidrogeológicos de la zona.

La superficie máxima de la lámina de agua se sitúa a 416 m.s.n.m., este valor se ha determinado a partir del modelo digital del terreno realizado con precisión de 10 cm mediante el uso de datos LIDAR (1ª Cobertura realizada por el IGN, PNOA-2014).

6.1.3 FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO EN CONDICIONES MODIFICADAS

El régimen hídrico original del humedal se encuentra alterado mediante una red de drenes, construida entre 1963 y 1964 por el Instituto Nacional de Colonización, que desagua las aguas entrantes hacia el cercano río Guadalhorce a través de la denominada sangradera (CAGPDS, 2020), cauce que aparece ya recogido en cartografías antiguas como la de Ceballos y Vicioso de 1933, o la Dantín Cereda de 1940.

Tras las obras de acondicionamiento y de transformación agrícola de la zona a mediados del siglo XX, se le añade un nuevo tributario por el este, el arroyo de Pedro Gil, que de forma natural no desembocaba en la laguna, sino que generaba un delta anterior donde el agua se infiltraba lentamente en los materiales cuaternarios acumulados.

Junto al aporte de aguas superficiales, la descarga de aguas freáticas puede constituir un aporte hídrico destacado para este humedal, ya que los materiales miocenos y los depósitos detríticos cuaternarios que afloran en la Laguna de Herrera y su cuenca vertiente se comportan como acuíferos.

En esta área existe un acuífero cuyo nivel piezométrico es poco profundo y que se comporta con bastante heterogeneidad tanto en su permeabilidad como en la composición química de las aguas,

debido a los diferentes materiales permeables que se encuentran en contacto (trías, sedimentos terciarios y cuaternarios).

La Laguna de Herrera debe constituir por tanto el afloramiento en superficie del nivel piezométrico del acuífero allí donde existe una depresión de menor cota que el mismo. La variable salinidad de esta laguna, va ligada tanto a la cantidad de agua acumulada en el humedal como a la diferente mineralización de las aguas de descarga desde el acuífero en la cubeta, que constituye en sí misma una zona de evaporación y por tanto de concentración salina.

Así lo confirman restos de comunidades vegetales halófilas en los terrenos cultivados de la zona, aunque probablemente el proceso de lavado continuo ocasionado por el drenaje continuo de la cubeta haya contribuido a la disminución de las concentraciones salinas originales.

6.2 SERIES DE NIVELES DEL HUMEDAL Y BALANCE ASOCIADO

No se dispone de un registro limnimétrico de la Laguna de Herrera, la cual lleva mucho tiempo funcionando en un régimen alterado.

Para el balance hídrico se han utilizado los valores deducidos a partir de los datos hidrológicos del modelo SIMPA, el cual refleja en gran medida el comportamiento hidrológico natural de la laguna.

6.3 MODELIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DEL HUMEDAL

6.3.1 MODELO EMPLEADO

Para la simulación de los aportes a la Laguna de Herrera se ha utilizado un modelo agregado de balance continuo. Estos modelos se utilizan fundamentalmente para la evaluación de recursos hídricos de cuencas hidrográficas, realizando la simulación de largos periodos de tiempo, de 50 a 100 años, con lapsos de tiempo mayores que los modelos de eventos (el día, el mes o el año). Estos modelos utilizan las variables de estado para el cálculo de la nueva situación de la cuenca, por lo que realizan de forma continua el balance de agua en la cuenca hidrográfica.

El modelo más utilizado en España es el modelo de Témez (1977) que deriva del modelo de THORNTHWAITE-T y es similar al método planteado por el “Número de Curva” del *Soil Conservation Service*, ya que es un modelo conceptual de pocos parámetros que simula de forma sencilla el ciclo hidrológico y, a su vez, la ley que gobierna la generación de excedente, es decir, el agua que no es interceptada por el suelo.

La aplicación del modelo de Témez de forma distribuida dio lugar al modelo SIMPA (Sistema Integrado Precipitación Aportación) (Ruiz, 1998), que es un modelo hidrológico conceptual distribuido de simulación continua mensual integrado con un sistema de información geográfica GRASS (Estrela, 1996). Este modelo ha sido aplicado en la evaluación de los recursos hídricos en España, con una resolución inicial de 1km x 1km, realizada durante la elaboración del “Libro Blanco del Agua en España” (MMA, 2000) y para la elaboración de los planes hidrológicos de las demarcaciones. Actualmente presenta una resolución de 500m x 500m.

De cara al tercer ciclo de planificación, desde el CEDEX se han realizado diversas mejoras en el modelo SIMPA, entre estas se encuentran el tratamiento de la nieve en la formulación del modelo hidrológico, mejoras en los datos de entrada de las variables atmosféricas (revisión de datos, interpolación, incorporación de estaciones SIAR para mejorar la ETP, nuevos mapas correctores de ETP), revisión de los datos de los puntos de contraste y selección de nuevos puntos, mejoras en los mapas de parámetros utilizados en la calibración, etc.

Se ha trabajado con una superficie fija de la laguna cifrada en 100 has.

6.3.2 VALIDACIÓN DE RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO

Los resultados de aplicar esta aproximación al balance hídrico de la Laguna de Herrera mediante el modelo SIMPA no se ha podido contrastar con registros de la laguna, al carecer de estos.

La evolución de los niveles simulados de la Laguna de Herrera para el periodo 1980-2018 se muestra en la Figura nº 12.

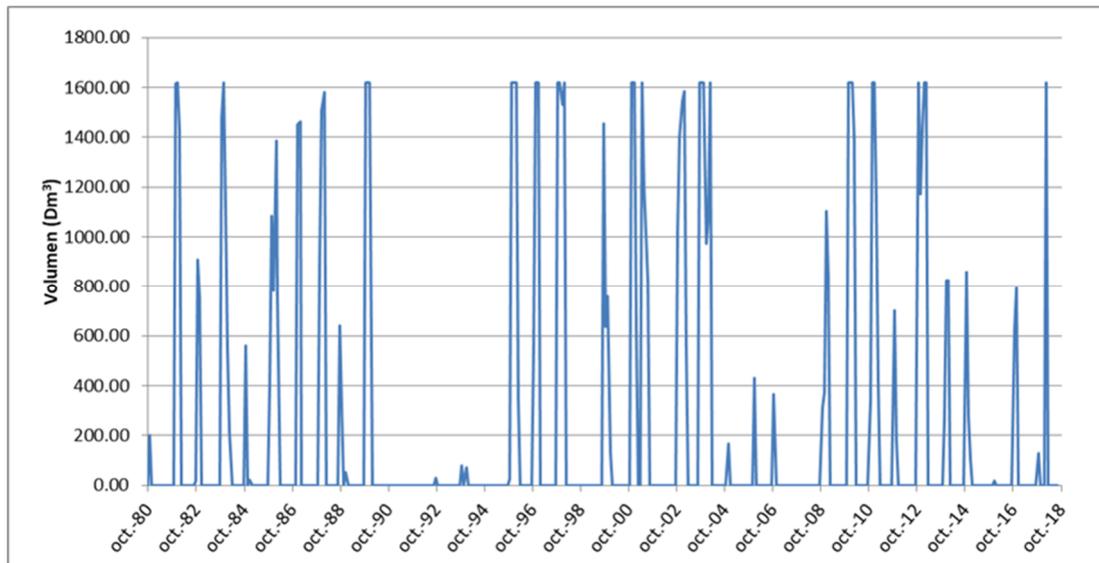


Figura nº 12. Evolución de niveles simulados para la Laguna de Herrera (oct1980-sep2018).

No obstante, se han comparado los valores simulados con las aportaciones a la salida del Canal de la Laguna de Herrera, donde se comprueba que los valores presentan un valor de distribución similar y con un orden de magnitud similar, por lo que se puede validar el modelo.

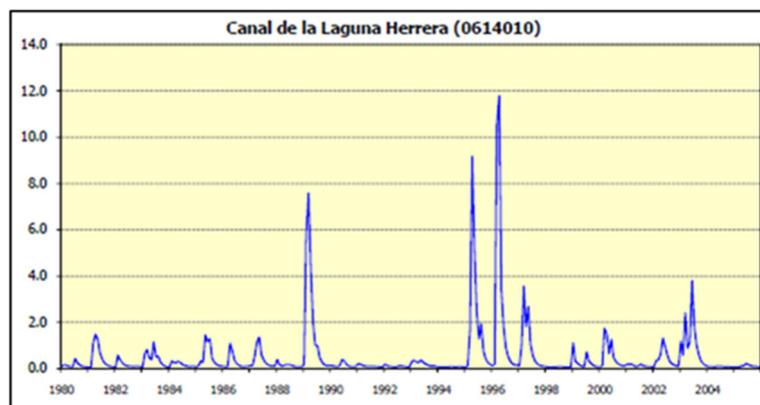


Figura nº 13. Aportaciones (hm³) a la salida del Canal de la Laguna de Herrera (Fuente: Rediam).



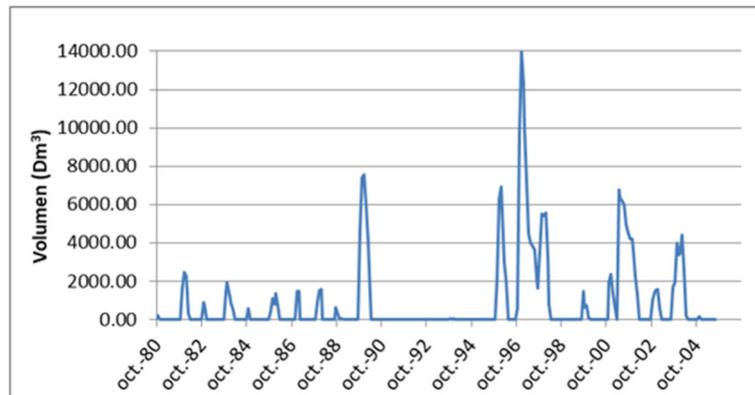


Figura nº 14. Evolución de niveles simulados para la Laguna de Herrera (oct1980-sep2005).

6.3.3 BALANCE HÍDRICO DEL HUMEDAL

A partir de los datos obtenidos en la simulación hidrológica, se ha realizado el balance medio de la Laguna de Herrera en condiciones hidrológicas naturales y para el periodo 1980-2018 (Tabla nº 5).

Balance	Componente	mm	Vol (Dm ³)
Entradas	Precipitación	461,8	461,84
	Superficial	16,7	997,83
	Subterránea	97,0	7.313,70
	Total		8.773,37
Salidas	ETP	1.047,3	1.047,28
	ETR	185,0	7.726,09
	Relación acuífero	--	--
	Total		8.773,37

Tabla nº 5. Balance hídrico Laguna de Herrera.

6.4 ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO DEL HUMEDAL

La Laguna de Herrera funciona en un régimen totalmente alterado, desde las obras para su desecación llevadas a cabo durante la primera mitad y década de los años sesenta del siglo pasado.

7 SÍNTESIS ECOLÓGICA E HIDROLÓGICA DEL HUMEDAL

7.1 MODELO CONCEPTUAL

La Figura nº 15 representa el marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y los diversos componentes bióticos del ecosistema.

El régimen hidráulico de la laguna está fundamentalmente condicionado por los aportes de la escorrentía superficial, la precipitación directa 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.) define el hidroperiodo de la laguna (2).

El régimen de inundación se traduce en determinados parámetros hidráulicos (profundidad media de encharcamiento, duración, etc.) que ejercen una gran influencia en la presencia y distribución de las especies vegetales (3).

La vegetación de la laguna ejerce un papel determinante en todas las épocas del ciclo biológico de anfibios (4), aves (5) y mamíferos (6).

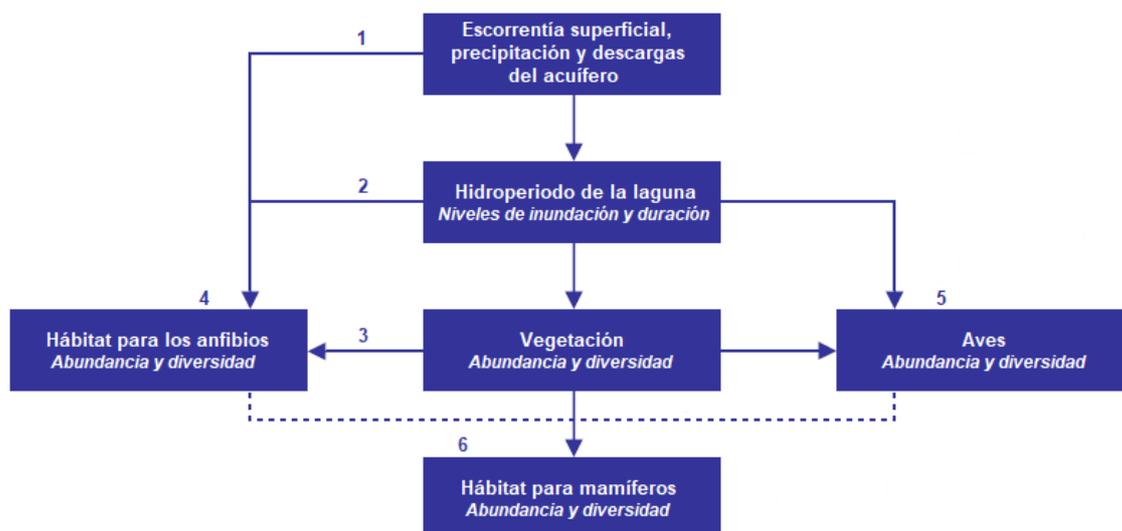


Figura nº 15. Marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y diversos componentes bióticos del ecosistema.



Las distintas especies de aves están desagregadas según la estructura del hábitat y tipo de recursos que explotan (2-3-5). 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 la laguna (3-6) condicionan el éxito reproductivo de numerosas especies. Al final de la primavera, la laguna suele secarse.

Cuando el descenso de los niveles de lámina de agua es demasiado rápido y los nidos quedan en seco (2-5), se reduce el éxito reproductivo de las especies.



8 NECESIDADES HÍDRICAS DEL HUMEDAL

8.1 OBJETIVOS DE CONSERVACIÓN ASOCIADOS AL RÉGIMEN DE NECESIDADES HÍDRICAS

En la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) queda establecida que “en la medida en que las zonas protegidas de la Red Natura 2000 y de la Lista de Humedales de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar puedan verse afectadas de forma apreciable por los regímenes de caudales ecológicos, estos serán los apropiados para mantener o restablecer un estado de conservación favorable de los hábitat o especies, respondiendo a sus exigencias ecológicas y manteniendo a largo plazo las funciones ecológicas de las que dependen” .

La Laguna de Herrera no se encuentra dentro de la Red Natura 2000, ni en la Lista de Humedales de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar, pero con la presente propuesta de necesidades hídricas se pretende contribuir a los siguientes apartados.

8.1.1 CONSERVACIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUNCIONES ECOLÓGICAS GENERALES

- a) Recuperar y garantizar el mantenimiento de la estructura y funcionalidad del ecosistema lagunar y sus elementos asociados.
- b) Potenciar la contribución del área al proceso de nidificación, migración e invernada de las aves como enclave de apoyo trófico y refugio.

8.1.2 CONSERVACIÓN DE ESPECIES Y HÁBITATS

- a) Servir de base para la conservación de las especies en general, teniendo entre otras funciones las de reserva genética.
- b) 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.
- c) Mantener al menos en un estado de conservación favorable los Hábitats Naturales de Interés Comunitario presentes en la zona de estudio.
- d) Mantener al menos en un estado de conservación favorable las Especies de Interés Comunitario presentes en la zona de estudio.
- e) Mantener al menos en un estado de conservación favorable las especies de aves del Anexo I de la Directiva 79/409 CEE y la Directiva 91/244/CEE presentes en la zona de estudio.

- f) 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.
- g) 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.

8.1.3 CONSERVACIÓN DE PAISAJES

Mantener en un estado adecuado los paisajes de la laguna y de su entorno, en relación a su elevada singularidad dentro de la Península.

8.2 FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS

Las necesidades hídricas se pueden abordar desde diferentes aproximaciones, entre las que destacan la aproximación puramente hidrológica (basada en los hidroperiodos de referencia) y la basada en criterios biológicos, la cual relaciona la reducción de los aportes en régimen natural con la superficie potencial de diferentes Hábitats de Interés Comunitario.

La aproximación hidrológica se fundamenta en que el régimen hidrológico natural del humedal (por extensión el hidroperiodo y el régimen de inundación) constituye el factor principal de organización del ecosistema acuático. Si se considera 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. De esta forma, el estudio del régimen de inundación se ha realizado a partir del régimen natural de inundación de la Laguna de Herrera, a partir de la caracterización de sus correspondientes hidroperiodos característicos.

En el caso de las aproximaciones hidro-biológicas, se analiza la respuesta de comunidades vegetales (hábitats tipificados según la Directiva Hábitats) en relación a los cambios en el régimen de inundación en escenarios de reducción de los aportes a la laguna. La identificación de parámetros hidráulicos clave de estas comunidades junto a los modelos de llenado/vaciado del humedal permite definir sus correspondientes respuestas potenciales.

8.2.1 APROXIMACIÓN HIDROLÓGICA

8.2.1.1 HIDROPERIODO TÍPICO DEL HUMEDAL

La Laguna de Herrera experimenta grandes oscilaciones en el volumen de sus aguas en función de la distribución de las precipitaciones que se recogen en la zona de influencia, las cuales presentan fuertes variaciones, tanto anuales como estacionales.

Las fluctuaciones estacionales se caracterizan por un máximo a principios de primavera y un periodo en el que la laguna se seca para el periodo estival. En la Figura nº 16 se muestran los volúmenes de la laguna que representan los hidroperiodos para años con características secas, medias y húmedas. Para esta caracterización se han empleado los percentiles 25, 50 y 75 sobre la serie de volúmenes mensuales de la laguna en régimen natural obtenidos con el modelo precipitación-escorrentía SIMPA.

En un ciclo anual típico, las precipitaciones de otoño comienzan a inundar la laguna. La cota de inundación aumenta progresivamente hasta que comienza a descender durante el invierno e inicio de la primavera, para encontrarse el humedal seco a final de la primavera y durante el resto del año. En régimen natural, al ser una cubeta endorreica, las pérdidas de agua se producen casi en exclusiva por evaporación (aunque puede existir una pequeña parte que se pierda como escorrentía subterránea).

La Laguna de Herrera presenta un hidroperiodo de tipo temporal. No obstante, esta laguna presenta un importante papel para el mantenimiento de las poblaciones vegetales y animales de su área de influencia.

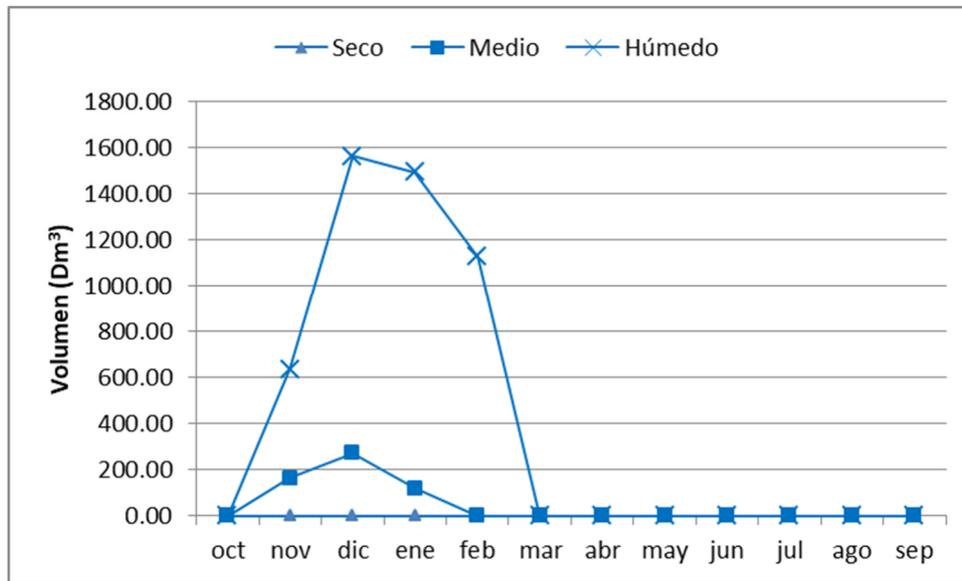


Figura nº 16. Hidroperiodo típico.

8.2.1.2 DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES DE LA LAGUNA

Según los datos obtenidos con el modelo SIMPA, la distribución de los volúmenes naturales de la laguna se muestra en la Figura nº 17.

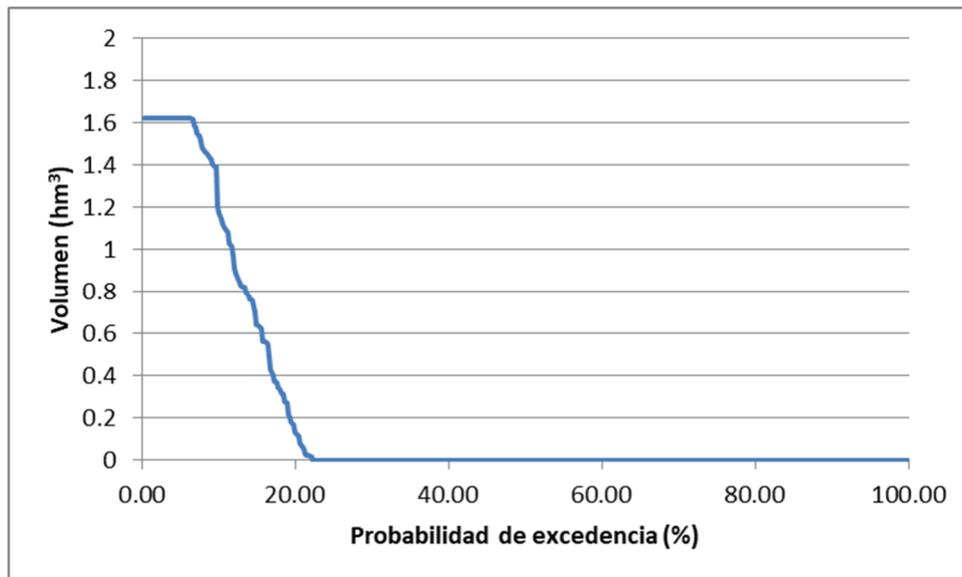


Figura nº 17. Distribución de volúmenes.

A partir de los datos obtenidos con el modelo, la laguna se ha secado durante el 78% de las ocasiones durante el periodo de estudio. El volumen mediano de la laguna es de unos 0 hm³, mientras que el volumen máximo se ha superado en el 7% de las ocasiones.

8.2.1.3 CARACTERIZACIÓN DE HIDROPERIODOS DE REFERENCIA

8.2.1.3.1 VARIABLE FÍSICA EMPLEADA

Según la IPH, “la caracterización de los requerimientos hídricos se realizará a partir de las variables físicas que reflejen más adecuadamente las características estructurales y funcionales de cada lago” , añadiendo que, “los criterios numéricos a partir de los cuales se formulen las propuestas de régimen hídrico, como percentiles, periodos de retorno de eventos, presencia o ausencia de taxones o éxito reproductivo, tendrán como referencia las condiciones naturales y permitirán alcanzar condiciones coherentes con la consecución de las funciones y objetivos ambientales perseguidos” .

En este estudio se ha considerado el régimen de inundación del humedal (entendido como la variación de los volúmenes o niveles de lámina de agua a lo largo del tiempo) como factor ambiental clave que determina en gran medida la presencia y distribución de las comunidades biológicas.

La IPH especifica que “los requerimientos hídricos ambientales de los humedales deberán (...) satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas (...) mediante la preservación de los procesos ecológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos” , incidiendo en la necesidad de considerar en su estudio “las variaciones estacionales e interanuales” . Los patrones naturales de inundación de un humedal (no importa cuán extremos puedan ser) 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 naturales de inundación. La caracterización de este régimen de inundación mediante aproximaciones hidrológicas (basadas en percentiles, medias móviles, etc.) permite de esta manera formular propuestas de necesidades hídricas.

8.2.1.3.2 SERIES DE DATOS HIDROLÓGICOS

La IPH recomienda que las series hidrológicas deberán “caracterizar su régimen natural” , comprendiendo un periodo temporal lo más extenso posible, que abarque al menos “los años hidrológicos 1940/41 a 2005/06 (ambos inclusive) con datos mensuales” . No obstante, en el caso del cálculo de necesidades hídricas la IPH indica que “se aplicará sobre una serie hidrológica representativa de al menos 20 años, preferentemente consecutivos, que presente una alternancia equilibrada entre años secos y húmedos” .

En este trabajo se ha realizado un balance agregado en condiciones hidrológicas naturales a escala mensual. En el caso de la determinación de las necesidades hídricas se ha empleado el periodo 1980-2018, haciendo énfasis en el periodo hidrológico más reciente.

Para conocer la representatividad, se han empleado sobre la serie de volúmenes medios anuales los percentiles 33 y 66, definiendo de esta forma tres grupos de años húmedos, medios y secos. Posteriormente se han contado sobre la serie cuántos años aparecían en cada uno de los grupos, lo que permite indicar que los datos hidrológicos empleados para el cálculo de las necesidades hídricas cumplen con el requisito de representatividad de la IPH. En la Figura nº 18; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los resultados obtenidos.

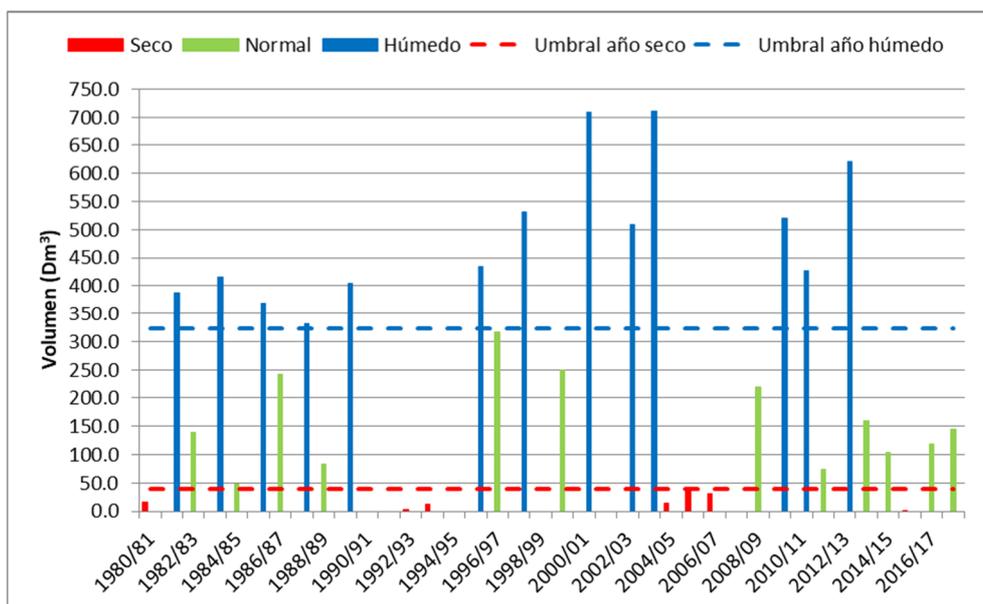


Figura nº 18. Volumen en la laguna. Periodo 1980-2018.

8.2.1.3.3 DIFERENCIACIÓN DE SITUACIONES HIDROLÓGICAS: AÑOS SECOS, MEDIOS Y HÚMEDOS

A diferencia de los sistemas lóticos (ríos), los humedales endorreicos y de cierto tamaño de cuenca presentan una inercia hidrológica muy significativa.

El fenómeno de acumulación de volúmenes y su correspondiente inercia hidrológica tiene efectos significativos sobre temporalidad de los humedales, y en consecuencia, sobre su estructura y funcionamiento. Los balances anuales negativos van reduciendo progresivamente los volúmenes,

pero esta larga inercia puede hacer concatenar varios ciclos húmedos consecutivos y que el humedal no llegue a sufrir la desecación en los ciclos secos.

Otra circunstancia, no menos importante, está en relación con el tamaño del humedal y su capacidad de acogida de diversidad. Como indica un patrón fundamental de la Teoría de Islas (Paracuellos, 2005), la reducción en tamaño de los humedales da lugar a una disminución en el número de especies que albergan, bien por la pérdida de área per se (de modo que cuanta más superficie se pierde menos individuos y especies caben en el humedal) o bien a que, conforme merma la extensión, existen muchas posibilidades de que el ambiente aún superviviente pierda tipos distintos de hábitats palustres simplificándose su complejidad estructural. De aquí se puede deducir que los elevados volúmenes mantenidos durante varios años proporcionan una cantidad y condiciones de hábitat muy adecuadas para albergar ricas y diversas comunidades biológicas.

Son por estas razones por la que resulta necesario incorporar los ciclos húmedos en la formulación de propuestas de necesidades hídricas de los humedales. De no ser así, la aproximación hidrológica mediante variables de centralización móvil o los percentiles que recomienda la IPH trabajaría solamente con niveles mínimos y consecuentemente, humedales de reducido tamaño respecto a sus referentes naturales.

Para incorporar en el análisis hidrológico los ciclos húmedos, mediante el uso de los percentiles 33 y 66 de la serie corta 1980-2018 se han dividido los años hidrológicos en tres franjas (correspondientes a años húmedos, medios y secos) en función del volumen medio anual del humedal. Los resultados se muestran en la Tabla nº 6.

Valores característicos		Volumen medio (Dm ³)
Umbral año seco (percentil 33)		38,5
Umbral año húmedo (percentil 66)		322,5
Secos	Medios	Húmedos
1980/81	1982/83	1981/82
1990/91	1984/85	1983/84
1991/92	1986/87	1985/86
1992/93	1988/89	1987/88
1993/94	1996/97	1989/90
1994/95	1999/00	1995/96
1998/99	2008/09	1997/98
2001/02	2011/12	2000/01
2004/05	2013/14	2002/03

2005/06	2014/15	2003/04
2006/07	2016/17	2009/10
2007/08	2017/18	2010/11
2015/16		2012/13

Tabla nº 6. Distribución de años secos, medios y húmedos en la Laguna de Herrera.

8.2.1.3.4 FORMULACIÓN DE NECESIDADES HÍDRICAS A PARTIR DE LOS HIDROPERIODOS DE REFERENCIA

Según la IPH, para obtener la distribución temporal de los volúmenes mínimos (caso de los humedales), los métodos hidrológicos aplicarán variables de centralización móviles o bien percentiles entre el 5 y el 15%. En el caso de la Laguna de Herrera se ha optado por aplicar percentiles sobre la curva de volúmenes clasificados para cada mes. De esta forma se define también automáticamente el hidroperiodo del humedal, puesto que la caracterización de los percentiles se ha realizado a escala mensual.

Tal como se ha justificado en el apartado anterior, los hidroperiodos de referencia se han calculado para cada una de las tres condiciones hidrológicas en las que previamente se han dividido los años (secos, medios y húmedos). Atendiendo a las condiciones del medio, para el horizonte de planificación del Plan, la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna de Herrera se basará en la aplicación del percentil 5. La Tabla nº 7, Tabla nº 8 y Tabla nº 9 muestran los resultados obtenidos para cada condición hidrológica.

Para dar una mayor consistencia hidrológica en los resultados, se ha considerado que las propuestas para cada mes deberían ser mayores o iguales al valor correspondiente de la propuesta menos húmeda.

Mes	Años secos (Dm ³)													
	80/81	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	98/99	01/02	04/05	05/06	06/07	07/08	15/16	P05
Oct	0,0	0,0	0,0	30,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Nov	201,9	0,0	0,0	0,0	78,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	366,3	0,0	0,0	0,00
Dic	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	168,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Ene	0,0	0,0	0,0	0,0	69,6	0,0	0,0	0,0	0,0	429,5	0,0	0,0	18,9	0,00
Feb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Abr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
May	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Jun	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

Años secos (Dm ³)														
Mes	80/81	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	98/99	01/02	04/05	05/06	06/07	07/08	15/16	P05
Jul	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Ago	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Sep	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Volumen medio	16,8	0,0	0,0	2,6	12,3	0,0	0,0	0,0	14,0	35,8	30,5	0,0	1,6	

Tabla nº 7. Percentil 5 para años secos en la Laguna de Herrera.

Años medios (Dm ³)														
Mes	82/83	84/85	86/87	88/89	96/97	99/00	08/09	11/12	13/14	14/15	16/17	17/18	P05	
Oct	17,0	0,0	0,0	639,0	0,0	1.454,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	
Nov	909,0	559,5	0,0	312,8	558,5	636,8	311,1	700,3	0,0	858,6	625,9	127,6	0,00	
Dic	753,1	0,0	0,0	0,0	1.617,4	758,3	373,8	178,9	269,9	274,0	793,7	0,0	0,00	
Ene	0,0	23,3	1.449,3	51,7	1.617,4	131,2	1.102,7	0,0	822,5	110,4	0,0	0,0	0,00	
Feb	0,0	0,0	1.463,7	0,0	0,0	0,0	843,9	0,0	825,7	0,0	0,0	0,0	0,00	
Mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.617,4	0,00	
Abr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	
May	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	
Jun	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	
Jul	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	
Ago	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	
Sep	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	
Volumen medio	139,9	48,6	242,7	83,6	316,1	248,4	219,3	73,3	159,8	103,6	118,3	145,4		

Tabla nº 8. Percentil 5 para años medios en la Laguna de Herrera.

Años húmedos (Dm ³)														
Mes	81/82	83/84	85/86	87/88	89/90	95/96	97/98	00/01	02/03	03/04	09/10	10/11	12/13	P05
Oct	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.617,4	0,0	0,0	0,0	0,00
Nov	0,0	1.480,3	403,2	0,0	1.617,4	24,3	1.617,4	0,0	1.023,7	1.617,4	0,0	335,0	1.617,4	0,00
Dic	1.614,8	1.617,4	1.084,2	889,4	1.617,4	1.617,4	1.617,4	1.617,4	1.402,0	1.617,4	1.617,4	1.617,4	1.171,4	1.006,29
Ene	1.617,4	1.118,3	780,2	1.507,8	1.617,4	1.617,4	1.532,1	1.617,4	1.544,7	972,4	1.617,4	1.617,4	1.430,3	895,54
Feb	1.427,7	547,4	1.387,0	1.578,5	0,0	1.617,4	1.617,4	621,2	1.583,0	1.080,0	1.617,4	1.142,7	1.617,4	328,42
Mar	0,0	216,9	762,2	0,0	0,0	342,1	0,0	0,0	557,0	1.617,4	1.391,4	414,8	1.617,4	0,00
Abr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
May	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.617,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Jun	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.199,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

Años húmedos (Dm ³)														
Mes	81/82	83/84	85/86	87/88	89/90	95/96	97/98	00/01	02/03	03/04	09/10	10/11	12/13	P05
Jul	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.015,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Ago	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	819,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Sep	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Volumen medio	388,3	415,0	368,1	331,3	404,4	434,9	532,0	709,0	509,2	710,2	520,3	427,3	621,2	

Tabla nº 9. Percentil 5 para años húmedos en la Laguna de Herrera.

Con los datos hidrológicos disponibles y los criterios de cálculo justificados anteriormente, la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna de Herrera mediante una aproximación hidrológica se recoge en la Tabla nº 10.

Mes	Año (Dm ³)		
	Secos	Medios	Húmedos
Oct	0,00	0,00	0,00
Nov	0,00	0,00	0,00
Dic	0,00	0,00	1.006,29
Ene	0,00	0,00	895,54
Feb	0,00	0,00	328,42
Mar	0,00	0,00	0,00
Abr	0,00	0,00	0,00
May	0,00	0,00	0,00
Jun	0,00	0,00	0,00
Jul	0,00	0,00	0,00
Ago	0,00	0,00	0,00
Sep	0,00	0,00	0,00

Tabla nº 10. Propuesta de necesidades hídricas para la Laguna de Herrera.

8.2.2 APROXIMACIÓN HIDROBIOLÓGICA

8.2.2.1 ASPECTOS ECOLÓGICOS Y FUNCIONALES DE LOS HÁBITATS

A continuación se presentan de forma resumida algunos de los rasgos ecológicos y funcionales característicos de cada uno de los hábitats utilizados para llevar a cabo la aproximación.

- **Hábitat 3140:**
 - o La relevancia de los aportes hídricos se refiere principalmente a la capacidad de asegurar, mediante alimentación a través del acuífero y/o aportes superficiales, un



balance hídrico que permita el mantenimiento de las condiciones de inundación para el desarrollo de las comunidades biológicas asociadas.

- La presencia/ausencia de agua condiciona su comportamiento, su dinámica y su evolución, por lo que los patrones hidrodinámicos naturales (duración de la inundación, frecuencia, momento de inundación, tasas de ascenso y descenso, etc.) deben preservarse para conseguir la conservación de estos ecosistemas.

- **Hábitat 3170:**

- Se trata de cuerpos de agua de pequeña extensión que sufren desecación parcial o total durante el estío, y con aguas con bajo a moderado contenido en nutrientes y menor salinidad.
- En lo que respecta a la presencia del hábitat 3170 en la Laguna de Herrera, se puede interpretar por la presencia de charcas menores dentro del humedal, ya que este hábitat está caracterizado por unas comunidades vegetales que sufren una desecación parcial o total durante el estío. De hecho, este hábitat se considera incompatible con el hábitat 3140 (VV.AA, 2009).

- **Hábitat 1310:**

- Este tipo de hábitat está compuesto casi en su totalidad por especies anuales que se establecen sobre suelos salinos poco evolucionados. La ecología del banco de semillas y los factores que controlan los mecanismos de dormancia y germinación de las semillas son, en gran medida, determinantes de la distribución y estructura de sus poblaciones.
- La mayoría de las especies características de este tipo de hábitat pueden establecerse y completar su ciclo en áreas con elevada salinidad, pero casi ninguna de ellas tolera periodos de inundación anual. Al tratarse mayoritariamente de especies anuales, los aspectos relacionados con la reproducción sexual tienen una gran importancia.
- El banco de semillas de estos tipos de hábitat se comporta como una reserva potencial de todas las especies presentes en el área; en cada situación, se producen “ventanas de germinación” (condiciones óptimas de salinidad y humedad) que permitirán el establecimiento de unas u otras especies dependiendo, principalmente, de sus requerimientos de salinidad y humedad edáfica.
- La germinación de semillas dependerá de factores bióticos (disponibilidad de semillas y presencia de especies perennes) y abióticos (precipitación, salinidad del



suelo y humedad) que variarán espacial y temporalmente en función del régimen de inundación de la laguna.

8.2.2.2 PREFERENCIAS HIDRÁULICAS DE LA VEGETACIÓN

Las comunidades vegetales de la Laguna de Herrera están también presentes en otros humedales. Esto permite que estudios más detallados sobre la dinámica vegetal y su régimen de inundación realizados en otros humedales, puedan servir como valores de referencia para las comunidades vegetales de la Laguna de Herrera.

Entre los humedales con larga tradición en estudios ecológicos y limnológicos figuran las marismas de Doñana. El estudio de casi 1.400 parcelas permitió agrupar las diferentes asociaciones vegetales según su régimen hidráulico de inundación (García Viñas et al., 2005) (Figura nº 20).

Los resultados se muestran en la Tabla nº 11.

Comunidad vegetal	Especies dominantes	Cota* (m.s.n.m.)	Días de inundación
<i>Almajar</i>	<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	1,58 - 1,83	57
<i>Almajar mixto</i>	<i>A. macrostachyum/Juncus subilatus</i>	1,60 - 1,36	95
<i>Junquillar negro</i>	<i>Eleocharis palustris</i>	1,54 - 1,34	166
<i>Castañuelar</i>	<i>Scirpus maritimus</i>	1,35 - 1,18	139
<i>Bayuncar</i>	<i>Scirpus litoralis</i>	1,21 - 1,00	184
<i>Lucio</i>	<i>Sin helófitos</i>	1,28 - 0,821	179

*Localización del 80% de las parcelas muestreadas.

Tabla nº 11. Agrupación de las asociaciones vegetales según su régimen hidráulico de inundación.

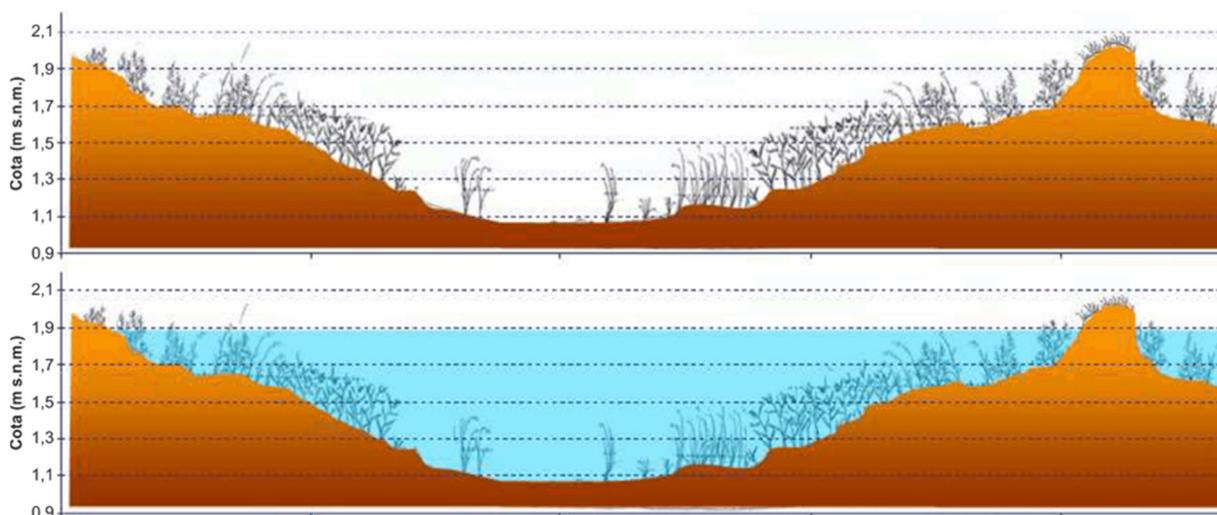


Figura nº 19. Modelo asociaciones vegetales según régimen hidráulico de inundación.

El paralelismo de algunas comunidades vegetales de Doñana con las propias de la Laguna de Herrera, permite establecer desde un punto de vista teórico unos periodos de inundación característicos para cada una de ellas. Para este estudio se consideran las duraciones de inundación de la Tabla nº 12.

Hábitat	Duración de inundación
3140	12 meses
3170	5-12 meses
1310	3-5 meses

Tabla nº 12. Periodos de inundación.

8.2.2.3 ESCENARIOS HIDROLÓGICOS PARA LA LAGUNA

En condiciones hidrológicas naturales, en el balance hídrico realizado con el modelo SIMPA se han considerado como entradas de agua a la laguna la escorrentía superficial, la escorrentía subterránea y la precipitación directa sobre la lámina de agua. Para el periodo 1980-2018, los valores medios para estos tres componentes del balance son 998, 7.314 y 462 Dm³ respectivamente. Estas cifras ponen de manifiesto la importancia de los aportes superficiales y subterráneos en el balance de la laguna.

Si se considera que la precipitación es una variable que no puede ser gestionada, los aportes superficiales y subterráneos se convierten en la variable clave de gestión de la laguna.

Para simular los efectos de la reducción de aportes sobre la laguna, se ha realizado el balance de la misma con el modelo SIMPA y diferentes escenarios hidrológicos. Para conocer estos efectos a largo plazo se ha considerado el periodo de datos de simulación (1980-2018). En la formulación de los escenarios hidrológicos se ha considerado una reducción progresiva del 10% de los aportes superficiales y subterráneos, partiendo de la situación natural (100% de los mismos) hasta un escenario extremo en el que no hay aportes de ambas fuentes.

Los escenarios simulados y su reflejo en la serie de balances se muestran en la Figura nº 21. A simple vista se puede apreciar la reducción gradual de aportes en el balance hídrico de la laguna, reduciéndose drásticamente los volúmenes máximos y apareciendo escenarios en los que la laguna se llegaría a secar.

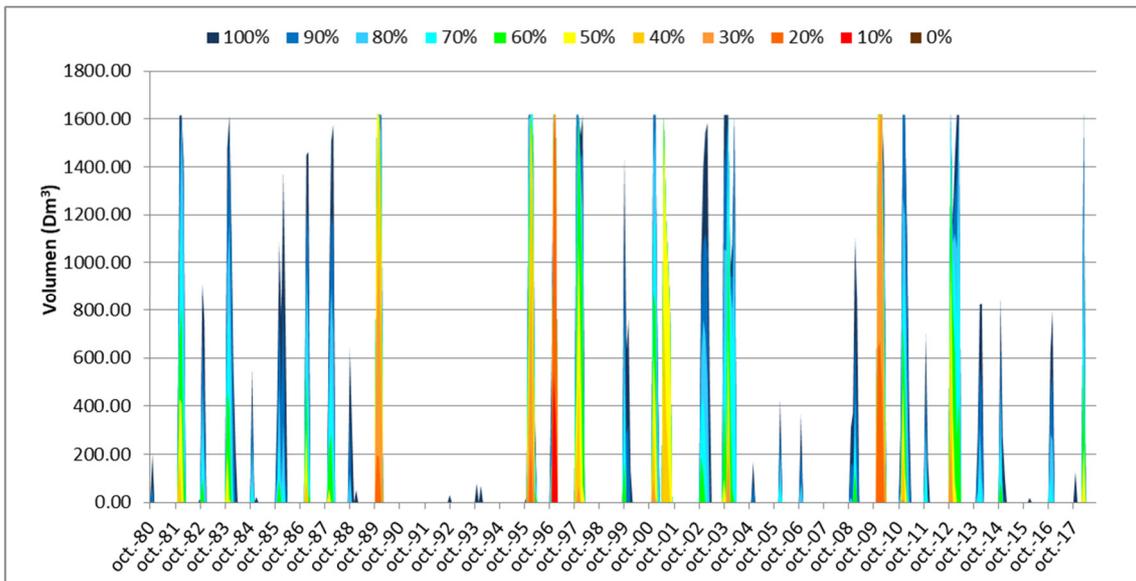


Figura nº 20. Formulación de escenarios mediante reducción progresiva del 10%.

8.2.2.4 RELACIÓN ENTRE LA SUPERFICIE POTENCIAL DE LOS HÁBITATS COMUNITARIOS Y LA REDUCCIÓN DE APORTES A LA LAGUNA

A partir de los escenarios hidrológicos anteriormente descritos, se han evaluado los efectos de la reducción de los aportes superficiales y subterráneos sobre la superficie potencial de los hábitats 3140 y 1310. Esta cuantificación ha sido posible gracias al modelo conceptual desarrollado en el punto 3.4.2.2.3 y las duraciones de inundación asignadas en el apartado 8.2.2.2.

La superficie potencial de los Hábitats de Interés Comunitario se muestra en la Figura nº 21.

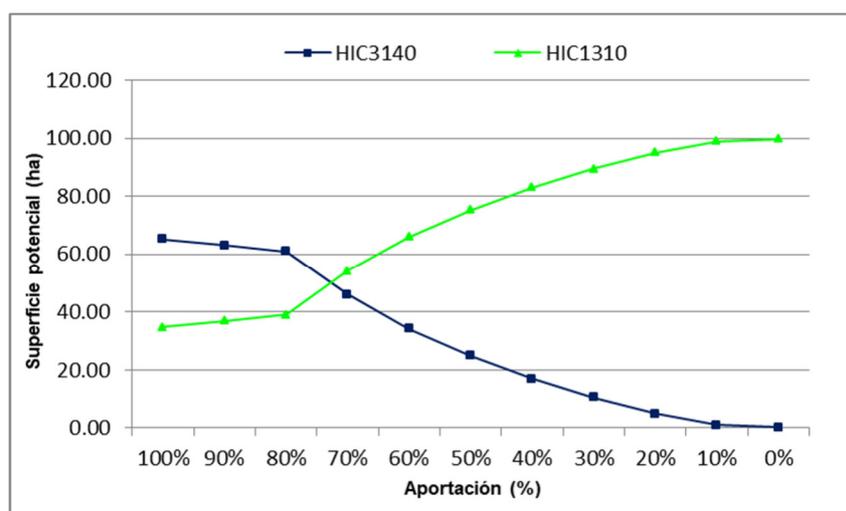


Figura nº 21. Evolución de la superficie de los HIC según aportaciones.

Con estos resultados se puede afirmar que:

- En condiciones naturales, la superficie potencial del hábitat 3140 sería de 65,2 has y la del hábitat 1310 de 34,8 has.
- La reducción de los aportes superficiales y subterráneos conlleva a una disminución de la superficie potencial del hábitat 3140, mientras que aumenta la del 1310.
- Si se eliminara la entrada de agua superficial y subterránea a la laguna, la superficie potencial de los hábitats 3140 y 1310 sería respectivamente de 0,3 y 99,7 has. El aumento en el hábitat 1310 es debido a que el nivel freático en la zona es elevado y que puede tolerar el no estar inundada.

8.2.2.5 REDUCCIÓN MÁXIMA ADMISIBLE DE LAS APORTACIONES A PARTIR DE LA IPH

Según la IPH, los resultados obtenidos por aproximaciones hidrológicas deberán ajustarse mediante los modelos de simulación biológicos, que “tendrán como referencia las condiciones naturales y permitirán alcanzar condiciones coherentes con la consecución de las funciones y objetivos ambientales perseguidos” .

Con la simulación biológica y en el caso de los ríos, la IPH propone dos aproximaciones para la definición de la distribución de los caudales mínimos. La primera consiste en la utilización de un umbral del hábitat potencial comprendido en el rango 50-80% respecto al máximo, mientras que la segunda consiste en considerar el caudal correspondiente a un cambio significativo de pendiente en la curva de hábitat potencial útil-caudal.

La curva obtenida en este estudio que relaciona aportaciones versus superficies potenciales de los hábitats permite realizar una aproximación similar para el caso de la Laguna de Herrera. En la curva definida en el apartado 8.2.2.4 se observan cambios significativos de pendiente para ambos hábitats en el 80%.

En el caso del criterio basado en mantener un 50-80% de la variable modelada respecto a las condiciones naturales, se puede interpretar como mantener entre el 50-80% de las superficies potenciales respecto a las condiciones naturales. Si en este caso se obtiene que en condiciones naturales (sin reducción de las aportaciones) las superficies potenciales de los hábitats 3140 y 1310 serían respectivamente de 65,2 ha y 34,8 has, mantener un 50%-80% de las mismas supondría unas superficies potenciales de 32,6-52,2 has para el hábitat 3140 y entre 17,4-27,8 has para el hábitat 1310.

En términos de aportaciones, para mantener esos niveles de superficie potencial (50-80%) del hábitat 3140 supondría estar entre el 58,5-74,2% de las aportaciones naturales (superficiales y subterráneas), mientras que para el hábitat 1310 al incrementar su superficie al descender las aportaciones no requiere el garantizar un mínimo de aportaciones (en comparación al hábitat 3140, sería el realmente limitante).

Teniendo en cuenta la importancia de este enclave y las presiones que sobre el mismo se llevan a cabo, se propone como objetivo inicial de gestión que se mantenga el 50% de la superficie potencial de referencia, es decir, 32,6 has para el hábitat 3140.

8.3 DISCUSIÓN Y SELECCIÓN DE PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS

En la aproximación hidrológica abordada en este estudio se ha considerado el régimen de inundación como elemento clave que refleja adecuadamente los aspectos funcionales y estructurales del ecosistema, se han caracterizado los mismos mediante percentiles y a partir de una serie hidrológica en régimen natural. La serie hidrológica ha sido obtenida con el modelo SIMPA (CEDEX, 2019) para el periodo 1980-2018, en el que se recoge una alternancia entre años secos y años húmedos.

Para los modelos biológicos, los elementos objeto de simulación podrán ser componentes de los ecosistemas, tales como especies de flora y fauna o hábitats naturales, bien considerados individualmente o bien por comunidades faunísticas o grupos de hábitats.

En el caso de la Laguna de Herrera se han identificado los hábitats de interés comunitario más representativos como elementos indicadores del humedal. Estos hábitats son relevantes para la conservación (a escala comunitaria, estatal o regional), tienen presencia significativa en el humedal y necesitan ser gestionados para mantenerlos, mejorarlos o controlarlos. Además, presentan sensibilidad a los cambios en el régimen de inundación del humedal y, en particular, al tipo de alteración hidrológica que puede sufrir el humedal.

Se puede decir, por tanto, que desde el punto de vista metodológico las aproximaciones abordadas en este estudio recogen todos los aspectos que marca la Instrucción de Planificación Hidrológica.

Desde el punto de vista de los resultados, los modelos biológicos apuntan que las descargas de aguas superficiales y subterráneas deben ser de al menos el 82,5% para mantener el 50% de la superficie potencial de hábitat de interés comunitario más restrictivo (hábitat 3140). En comparación con la aproximación hidrológica y asumiendo el caso de los hábitats comunitarios como el más restrictivo en

términos de conservación, un escenario de reducción de los aportes al 82,5% proporcionaría para los años secos, medios y húmedos (valores medianos) los volúmenes de agua a la laguna que se muestran en la Tabla nº 13.

Mes	Año (Dm ³)					
	Secos		Medios		Húmedos	
	Biológico	Hidrológico	Biológico	Hidrológico	Biológico	Hidrológico
Oct	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nov	0,00	0,00	0,00	0,00	317,43	0,00
Dic	0,00	0,00	0,00	0,00	1.173,26	1.006,29
Ene	0,00	0,00	0,00	0,00	1.034,17	895,54
Feb	0,00	0,00	0,00	0,00	623,95	328,42
Mar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Abr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
May	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jun	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jul	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ago	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sep	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla nº 13. Propuesta de necesidades hídricas para la Laguna de Herrera.

De la comparación de ambos resultados se puede observar que la propuesta biológica presenta unos volúmenes mayores a la propuesta hidrológica para años húmedos, mientras que para los años secos y medios presentan el mismo valor, cero para todos los meses en ambos casos. Esta diferencia en los resultados debe interpretarse en clave normativa, ya que el marco combinado de aproximaciones metodológicas que establece la Instrucción se plantea de forma subordinada, donde los métodos hidrológicos deben complementarse con los biológicos. Efectivamente, la IPH establece que la distribución de valores mínimos “se obtendrá aplicando métodos hidrológicos y sus resultados deberán ser ajustados mediante la modelación del hábitat” de determinadas especies objetivo.

En conclusión, si se consideran los resultados más restrictivos en cada caso, la propuesta de necesidades hídricas finalmente adoptada para la Laguna de Herrera:

1. Implica unos aportes superficiales y subterráneos de al menos el 82,5% de las descargas naturales.
2. Supone unos valores medianos para los años húmedos, secos y medios que se muestran en la Tabla nº 14:

Año	Variable	Mes											
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Secos	Volumen (Dm ³)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superficie (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Profundidad (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Medios	Volumen (Dm ³)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superficie (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Profundidad (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Húmedos	Volumen (Dm ³)	0,00	317,43	1.173,26	1.034,17	623,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superficie (ha)	0,00	70,91	100,00	100,00	87,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Profundidad (m)	0,00	0,88	2,20	2,20	1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla nº 14. Valores medios para la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna de Herrera.



9 RECOMENDACIONES DE CARA A LA GESTIÓN

La Laguna de Herrera constituye un humedal que se encuentra en un estado de conservación peor que bueno, sobre el cual se han efectuado multitud de actuaciones encaminadas a su desecación a lo largo de la primera mitad y la década de los sesenta del pasado siglo, entre otras presiones e impactos.

Se proponen las siguientes recomendaciones de cara a la gestión:

- a) Llevar a cabo el seguimiento mensual de aves acuáticas.
- b) Desarrollo y aplicación de los programas de actuación como Zona Vulnerable.
- c) Control de las actividades agrarias en la cuenca vertiente para la reducción de aportes de sedimentos y contaminantes.
- d) Delimitar el Dominio Público Hidráulico de la laguna y analizar la viabilidad de su deslinde.
- e) Análisis de la posibilidad de adquisición de los terrenos originalmente ocupados por la laguna.
- f) Estudiar las posibilidades de restauración topográfica de los márgenes de la laguna para posterior recuperación de su vegetación perilagunar.
- g) Ajustar los volúmenes de extracciones del acuífero y los puntos de extracción para permitir las descargas subterráneas hacia la laguna.
- h) Permitir la entrada de las aguas superficiales de la cuenca a la laguna, una vez asegurada las condiciones de calidad de las mismas.
- i) Establecer un perímetro de protección para control de extracciones de aguas subterráneas y de los usos potencialmente contaminantes que puedan afectar a la conservación del humedal.
- j) Otras medidas



10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bartolomé, C. et al. (2005). Los tipos de hábitat de interés comunitario de España: guía básica. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General para la Biodiversidad.

Blanca, G., B. Cabezudo, J. E. Hernández-Bermejo, C. M. Herrera, J. Muñoz y B. Valdés. (2000). Libro Rojo de la Flora Silvestre Amenazada de Andalucía. TOMO II: Especies Vulnerables. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Casado, S. y Montes, C. (1995). Guía de los Lagos y Humedales Españoles. J.M. Reyero eds.; Madrid.

CEDEX. (2019). Aplicación en las cuencas hidrográficas españolas del modelo SIMPA para la obtención de series en régimen hidrológico natural para el periodo 1940-2018. Datos disponibles en web.

Comisión Europea. (2003). Interpretation manual of European Union habitats. EUR25. 128 pp. D.G. Environment, Nature and Biodiversity.

Estrela, T. y L. Quintas. (1996). El sistema integrado de modelización precipitación-aportación SIMPA. Revista de Ingeniería Civil, nº 104. CEDEX-Ministerio de Fomento.

García Viñas, J. I., J. A. Mintegui y J. C. Robredo. (2005). La vegetación en la marisma del Parque Nacional de Doñana en relación a su régimen hidráulico. Naturaleza y Parques Nacionales. Serie Técnica. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente.

IGN. (2014). LiDAR (1ª Cobertura realizada por el IGN, PNOA-2014).

Junta de Andalucía. (2005a). Definición del Contexto Hidrogeológico de Humedales Andaluces. Tomo II: Humedales de Málaga.

Junta de Andalucía. (2005b). Caracterización Ambiental de Humedales en Andalucía. Consejería de Medio Ambiente.

Junta de Andalucía. (2020). Caracterización Ambiental de Humedales en Andalucía.

Junta de Andalucía. (2012). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas 2009-2015.

Junta de Andalucía. (2016). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas 2015-2021.

Keddy, P. (2002). *Wetland Ecology: Principles and Conservation*. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, xiv 1614 p.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010). Ficha Informativa Humedal Ramsar.

MMA. (2000). Libro blanco del agua en España. Secretaría de Estado de Aguas y Costas, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid: 1-637.

Moreira, J.M. y Montes, C. (2005). *Caracterización Ambiental de Humedales en Andalucía*. Junta de Andalucía. 511 pp. Madrid.

Paracuellos, M. (2005). Los humedales como islas de agua en un mar de tierra: La biogeografía y ecología insulares, una vez al servicio de la conservación. En: *Contrastes naturales en la región bioclimática del Mediterráneo*. (Eds. Ballesteros GA. & R. Pérez), pp. 175-189.

Pardo, L. (1948). *Catálogo de los Lagos de España*. Biología de las Aguas Continentales. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 522 pp. Madrid.

Reques Rodríguez, R. (2003). *Conservación de la Biodiversidad en los Humedales de Andalucía*. Junta de Andalucía. 323 pp. Sevilla.

Ruiz, J.M. (1998). *Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual-distribuido de simulación continua integrado en un sistema de información geográfica*. Tesis Doctoral presentada en la Universidad Politécnica de Valencia.

Sánchez, R. y Viñals, M.J. (2012). *Manual para la determinación de las necesidades hídricas de los humedales. El contexto español*. MAGRAMA.

Témez, J. R. (1977). *Modelo matemático de transformación precipitación-aportación*. ASINEL, 1977.

Villalobos Megía, M. (2006). *Geodiversidad y Patrimonio Geológico de Andalucía. Itinerario Geológico por Andalucía. Guía didáctica de campo*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

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.

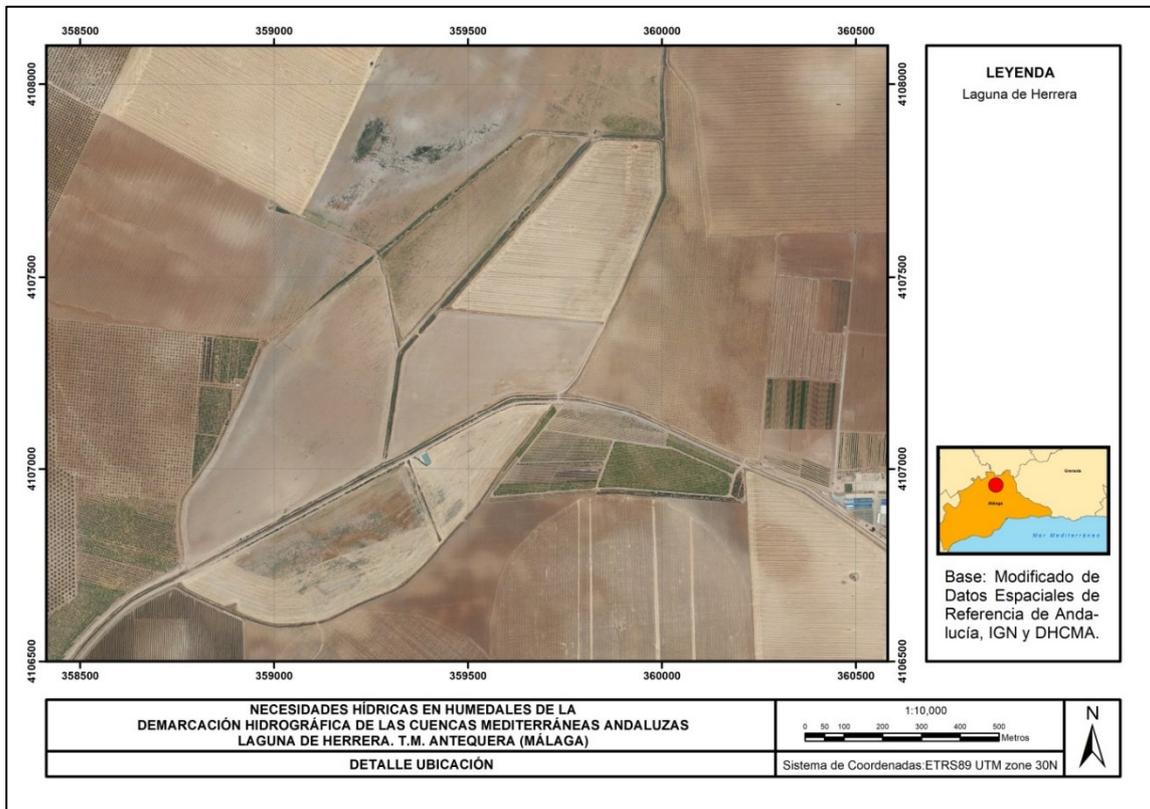
Wasserberg, G., B. P. Kotler, D. W. Morris y Z. Abramskyd. (2006). *A Spectre of Coexistence: Is Centrifugal Community Organization Haunted by the Ghost of Competition?*. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, Vol. 52, 2006, pp. 123-140.



WWF España. (2009). Caudales ecológicos de la marisma del Parque Nacional de Doñana y su área de influencia. 69 pp. Informe técnico.



11 ANEJO FOTOGRÁFICO



Detalle de ubicación de la Laguna de Herrera.



Terrenos cultivados de la laguna.



Canales de desagüe de la Laguna de Herrera.



Detalle de la vegetación de la Laguna de Herrera.





Canal de la Laguna de Herrera.



Panorámica de la Laguna de Herrera.





LAGUNA DE LA CALDERA

T.M. DE CAPILEIRA

(GRANADA)

ÍNDICE:

1	INTRODUCCIÓN	1
2	DATOS GENERALES.....	2
2.1	SITUACIÓN.....	2
2.2	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	3
2.3	RÉGIMEN JURÍDICO DE PROTECCIÓN	3
2.3.1	Figuras de protección.....	3
2.3.2	Instrumentos y normas de gestión	4
3	CARACTERÍSTICAS DEL HUMEDAL	6
3.1	CLIMATOLOGÍA.....	6
3.2	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	8
3.2.1	Contexto geológico.....	8
3.2.2	Contexto geomorfológico	11
3.3	TOPOGRAFÍA Y CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS.....	11
3.4	FLORA Y VEGETACIÓN	12
3.4.1	Flora con interés de conservación	13
3.4.2	Vegetación	14
3.5	FAUNA.....	17
4	PRESIONES E IMPACTOS	18
4.1	PRESIONES.....	18
4.2	IMPACTOS.....	20
5	VALORES DE CONSERVACIÓN DEL HUMEDAL.....	21
5.1	VALORES DE CONSERVACIÓN	21
5.1.1	Hábitats de Interés Comunitario.....	21
5.1.2	Especies de Interés Comunitario	21
5.2	ESTADO DE CONSERVACIÓN.....	22
5.2.1	Estado ecológico y químico del humedal.....	22
5.2.2	Estado de conservación general	22
6	HIDROLOGÍA DEL HUMEDAL.....	23
6.1	DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO	23
6.1.1	Red hidrográfica y cuencas	23
6.1.2	Funcionamiento hidrológico en condiciones naturales	23
6.1.3	Funcionamiento hidrológico en condiciones modificadas	24
6.2	SERIES DE NIVELES DEL HUMEDAL Y BALANCE ASOCIADO	24

6.3	MODELIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DEL HUMEDAL.....	24
6.3.1	Modelo empleado.....	24
6.3.2	Validación de resultados del modelo hidrológico.....	25
6.3.3	Balance hídrico del humedal	26
6.4	ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO DEL HUMEDAL.....	27
7	SÍNTESIS ECOLÓGICA E HIDROLÓGICA DEL HUMEDAL.....	28
7.1	MODELO CONCEPTUAL.....	28
8	NECESIDADES HÍDRICAS DEL HUMEDAL.....	30
8.1	OBJETIVOS DE CONSERVACIÓN ASOCIADOS AL RÉGIMEN DE NECESIDADES HÍDRICAS	30
8.1.1	Conservación y recuperación de funciones ecológicas generales.....	30
8.1.2	Conservación de especies y hábitats.....	30
8.1.3	Conservación de paisajes.....	31
8.2	FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS	31
8.2.1	Aproximación hidrológica	32
8.3	DISCUSIÓN Y SELECCIÓN DE PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS.....	39
9	RECOMENDACIONES DE CARA A LA GESTIÓN.....	41
10	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
11	ANEJO FOTOGRÁFICO	45

FIGURAS:

Figura nº 1.	Situación general de la Laguna de la Caldera.....	2
Figura nº 2.	Evolución de la precipitación, periodo 1980-2018.	7
Figura nº 3.	Climograma de la zona de estudio, periodo 1980-2018.	7
Figura nº 4.	Evolución de la ETP, periodo 1980-2018.	8
Figura nº 5.	Geología de la zona de estudio.....	9
Figura nº 6.	Leyenda geológica de la zona de estudio	10
Figura nº 7.	Relación superficie-volumen.....	12
Figura nº 8.	Altimetría en la cuenca de la Laguna de la Caldera.....	12
Figura nº 9.	Tipos de HIC en el entorno de la laguna.....	15
Figura nº 10.	HIC en el entorno de la laguna.....	16
Figura nº 11.	Perfil teórico de HIC en el entorno de la laguna.	16
Figura nº 12.	Evolución de niveles simulados para la Laguna de la Caldera (oct1980-sep2018).	26
Figura nº 13.	Marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y diversos componentes bióticos del ecosistema.....	28
Figura nº 14.	Esquema representativo de la red trófica de la laguna. En flechas se representa el flujo de carbono orgánico. COD, Carbono Orgánico Disuelto; NFHs, Nanoflagelados Heterotróficos (Carrillo et al. 2006).	29
Figura nº 15.	Hidroperiodo típico.....	32
Figura nº 16.	Distribución de volúmenes.....	33
Figura nº 17.	Volumen en la laguna. Periodo 1980-2018.....	35

TABLAS:

Tabla nº 1.	Catalogación del inventario de presiones	20
Tabla nº 2.	Identificación de presiones en el entorno de la Laguna de la Caldera.	20
Tabla nº 3.	HIC presentes en el entorno de la Laguna de la Caldera.....	21
Tabla nº 4.	Especies de interés comunitario presentes en la ZEC ES6140004-Sierra Nevada.....	21
Tabla nº 5.	Especies de interés comunitario presentes en la ZEPA ES6140004-Sierra Nevada.	22
Tabla nº 6.	Balance hídrico Laguna de la Caldera.....	26
Tabla nº 7.	Distribución de años secos, medios y húmedos en la Laguna de la Caldera.	36
Tabla nº 8.	Percentil 15 para años secos en la Laguna de la Caldera.....	37
Tabla nº 9.	Percentil 15 para años medios en la Laguna de la Caldera.....	38
Tabla nº 10.	Percentil 15 para años húmedos en la Laguna de la Caldera.....	38
Tabla nº 11.	Propuesta de necesidades hídricas para la Laguna de la Caldera.....	39
Tabla nº 12.	Valores medios para la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna de la Caldera.	40

1 INTRODUCCIÓN

La determinación de los requerimientos hídricos ambientales de las masas de agua catalogadas en la condición de lagos o zonas de transición de tipo lagunar tiene como objetivo primordial favorecer el conseguir su buen estado o potencial ecológico a través del mantenimiento a largo plazo de la funcionalidad y estructura de dichos ecosistemas, lo que debe facilitar unos escenarios de hábitat apropiados para satisfacer las necesidades de las distintas comunidades biológicas propias de estos ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante la conservación de los procesos ecológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.

La Laguna de la Caldera es una de las que conforma las denominadas Lagunas de Sierra Nevada, integradas dentro del Parque Nacional de Sierra Nevada. Las lagunas de Sierra Nevada presentan un excepcional valor geomorfológico, biogeográfico y ecológico, al ser el conjunto de humedales de morfogénesis glaciar más meridional de la Península.

Sierra Nevada representa el reducto más meridional del glaciario en Europa que dejó su impronta en la fisonomía del paisaje de cumbres, conformó circos, valles glaciares y nichos de nivación que, tras la retirada de los hielos, dieron lugar a las lagunas que actualmente se asientan sobre estas formaciones. Sin embargo, la capacidad erosiva de los glaciares fue de escasa consideración, por lo que las cubetas generadas por la incidencia del glaciario son, en general, de modestas dimensiones, tanto en lo que se refiere a su superficie como a su profundidad (CMA, 2005).

De entre estas cubetas, situadas en su mayoría entre los 2.800 y 3.040 m de altitud, destaca la Laguna de la Caldera, por su profundidad. Esta se define como una laguna endorreica de glaciar de la alta montaña bética, de modelado periglacial, carácter permanente y alimentación epigénica (CAGPDS, 2020).

2 DATOS GENERALES

2.1 SITUACIÓN

La Laguna de la Caldera constituye una de las Lagunas de Sierra Nevada, dentro del Parque Nacional de Sierra Nevada.

Con una superficie aproximada de 2 has, la Laguna de la Caldera se ubica dentro de la Parcela 2 del Polígono 1 del término municipal de Capileira (provincia de Granada).

Las coordenadas del centro del polígono que define el ámbito de la laguna en el sistema ETRS89 (30N) son:

- X: 470.720
- Y: 4.100.990

En la Figura nº 1 se muestra la situación general de la laguna.

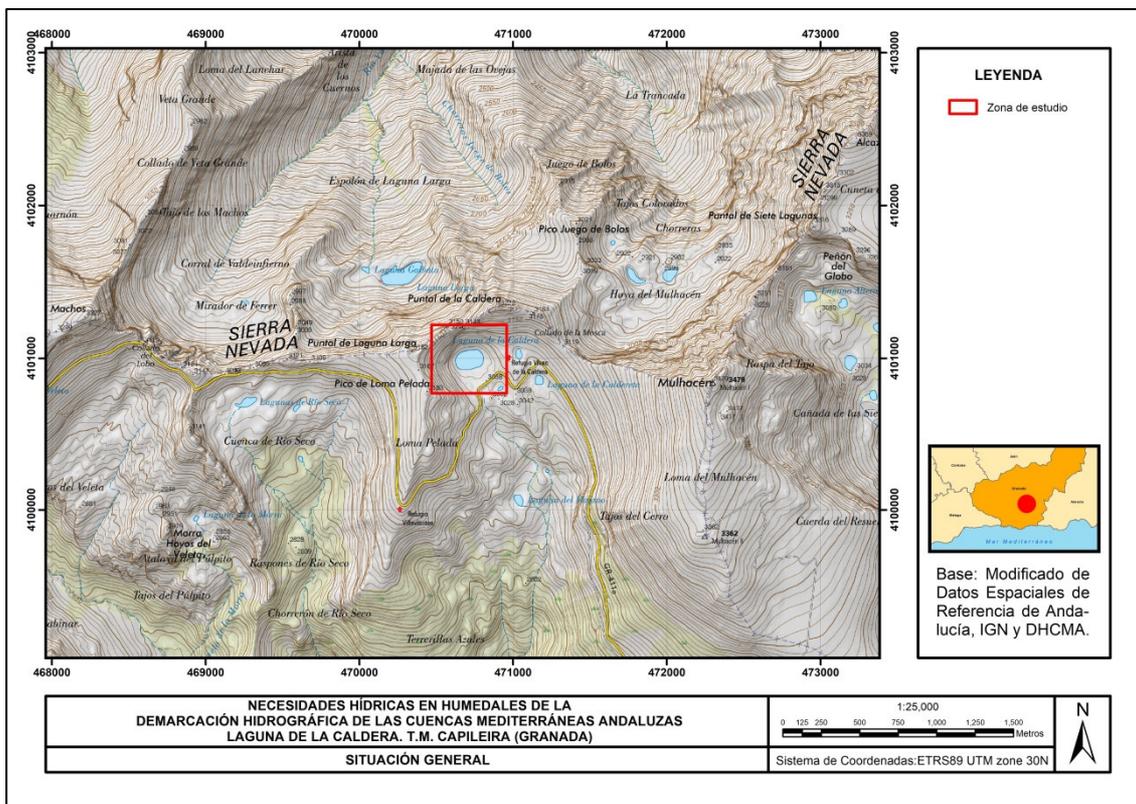


Figura nº 1. Situación general de la Laguna de la Caldera.

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL

La Laguna de la Caldera presenta una superficie de cubeta aproximada de 2 has, esta superficie se corresponde con la situación de aguas altas, a partir de esta superficie las aguas de la laguna se filtran a través de los materiales depositados por la morrena del glaciar que dio lugar a la laguna, por lo que supone su límite superior a modo de rebosadero.

La forma lagunar es arriñonada, donde el eje mayor tiene una distancia aproximada de 180 m, frente a los 115 m del eje menor. Presenta un aumento progresivo de la profundidad hacia la zona central de la cubeta, donde las orillas, de pendiente acusada, solo se suavizan en el extremo sur de la cubeta. El hidropereodo es permanente, lo que significa que siempre existe disponibilidad de agua en el humedal.

La superficie máxima de la lámina de agua, marcada por el rebosadero del sector sur, se sitúa a 3.021,0 m.s.n.m., este valor se ha determinado a partir del modelo digital del terreno realizado con precisión de 10 cm mediante el uso de datos LIDAR (1ª Cobertura realizada por el IGN, PNOA-2014).

Según el Inventario de Humedales de Andalucía, la altura máxima de columna de agua se sitúa en 12 m.

Se ha determinado la cuenca vertiente de la laguna en una superficie de 24,2 has, aunque de esta, unas 8 has realmente vierten a la zona de depósitos de la antigua morrena, por lo que se puede fijar la superficie efectiva que vierte sus aguas de forma directa a la laguna en unas 16 has. Esta cuenca no es muy extensa, y en ella se recogen las precipitaciones tanto en forma de lluvia como de nieve, que dan lugar a las aportaciones de recursos a la laguna.

2.3 RÉGIMEN JURÍDICO DE PROTECCIÓN

2.3.1 FIGURAS DE PROTECCIÓN

Las Lagunas de Sierra Nevada, entre las que se encuentra la Laguna de la Caldera, se localizan dentro del Parque Nacional de Sierra Nevada, declarado en 1999 por la Ley 3/1999, de 11 de enero, por la que se crea el Parque Nacional de Sierra Nevada (BOE nº 11, de 13/01/99).

El Espacio Natural de Sierra Nevada, declarado por el Decreto 24/2007, de 30 de enero, coincide con la también Reserva de la Biosfera, declarada desde el 4 de abril de 1986. La Reserva de la Biosfera de Sierra Nevada incorporó a la Red Mundial un ecosistema de alta montaña verdaderamente excepcional, dada

sus particulares condiciones, que combinan la mayor altura de la Península Ibérica (3.479 m del pico Mulhacén) con su situación meridional en el continente europeo.

A su vez, la Laguna de la Caldera se encuentra dentro de la Zona Especial de Conservación (ZEC), declarada por el Decreto 493/2012, de 25 de septiembre, y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA), desde el 31 de diciembre de 2012, ambas con código de registro ES6140004-Sierra Nevada, por lo que se encuentran dentro de la Red Natura 2000.

También se encuentra definida como Humedal de Andalucía, según el Decreto 98/2004, de 9 de marzo, por el que se crea el Inventario de Humedales de Andalucía y el Comité Andaluz de Humedales, al igual que dentro del Inventario español de zonas húmedas con el código IH614013.

Finalmente, la Laguna de la Caldera se encuentra definida como masa de agua superficial dentro del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (código 0632500).

2.3.2 INSTRUMENTOS Y NORMAS DE GESTIÓN

La Laguna de la Caldera, ubicada dentro de la Reserva de la Biosfera y Parque Nacional de Sierra Nevada, se ve afectada por los siguientes instrumentos y normas de gestión.

- Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN), aprobado por el Decreto 238/2011, de 12 de julio, por el que se establece la ordenación y gestión de Sierra Nevada (BOJA nº 155, de 8 de agosto de 2011). Este es el instrumento de planificación y gestión que en la actualidad marca las directrices y objetivos en la conservación del espacio. Este Plan ha sido prorrogado en dos ocasiones. De conformidad con lo dispuesto en la Ley 3/1999, de 11 de enero, y en el Plan Director de la Red de Parques Nacionales, aprobado por Real Decreto 1803/1999, de 26 de noviembre, se declara la Laguna de la Caldera como zona de reserva.
- Decreto 238/2011, de 12 de julio, por el que se establece la ordenación y gestión de Sierra Nevada, en su anexo II Plan rector de uso y gestión del Parque Nacional de Sierra Nevada, la Laguna de la Caldera es declarada como zona de reserva.
- Plan de Ordenación Urbana de Capileira, adaptado a la LOUA y aprobado el 24 de febrero de 2006, donde se define la superficie ocupada por la Laguna de la Caldera como Suelo No Urbanizable de Especial Protección (SNU-EP).



- Plan Especial de Protección del Medio Físico de la provincia de Granada, aprobado mediante Resolución de 14 de febrero de 2007, de la Dirección General de Urbanismo, por la que se dispone la publicación del Plan Especial de Protección del Medio Físico y Catálogo de Espacios y Bienes Protegidos de la provincia de Granada. (BOJA nº 61, de 27 de marzo de 2007).
- Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas para el periodo 2009-2015, aprobado mediante Real Decreto 1331/2012, de 14 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (PHCMA aprobado por el Real Decreto 11/2016, de 8 de enero, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas de Galicia-Costa, de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, del Guadalete y Barbate y del Tinto, Odiel y Piedras, anulado por Sentencia de 25 de marzo de 2019, de la Sala Tercera del Tribunal Supremo (BOE núm. 107 de 4 de mayo de 2019)).



3 CARACTERÍSTICAS DEL HUMEDAL

3.1 CLIMATOLOGÍA

La descripción climática se ha realizado a partir de la Ficha Informativa de Humedal de Andalucía. Por su parte, las series de datos de precipitación y temperatura que se presentan a continuación han sido obtenidas del modelo hidrológico SIMPA (CEDEX, 2019) para la Laguna de la Caldera.

La evaluación de recursos hídricos en régimen natural constituye una información básica de partida para el proceso de planificación hidrológica, y resulta esencial para conocer con detalle los recursos disponibles y gestionarlos de forma sostenible y eficiente.

El Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX trabaja continuamente en la mejora y actualización del modelo SIMPA (Sistema Integrado de Modelación Precipitación-Aportación), con el que se realiza en España la evaluación de los recursos hídricos en régimen natural.

De cara al tercer ciclo de planificación, desde el CEDEX se han realizado diversas mejoras en el modelo SIMPA, entre estas se encuentran el tratamiento de la nieve en la formulación del modelo hidrológico, mejoras en los datos de entrada de las variables atmosféricas (revisión de datos, interpolación, incorporación de estaciones SIAR para mejorar la ETP, nuevos mapas correctores de ETP), revisión de los datos de los puntos de contraste y selección de nuevos puntos, mejoras en los mapas de parámetros utilizados en la calibración, etc.

De modo general, las características climáticas de la zona de estudio son:

- El clima de la zona ha sido descrito como de tipo mediterráneo de montaña, dentro del bioclima pluviestacional continental, del termotipo oromediterráneo superior, ombrotipo subhúmedo superior (CAGPDS, 2020).
- Para los trabajos se ha considerado la serie de 1980-2018, donde la precipitación media anual es de 834 mm. El año con mayor precipitación en ese periodo fue de 1.820 mm, mientras que el de menos se estableció en 283 mm (Figura nº 2).

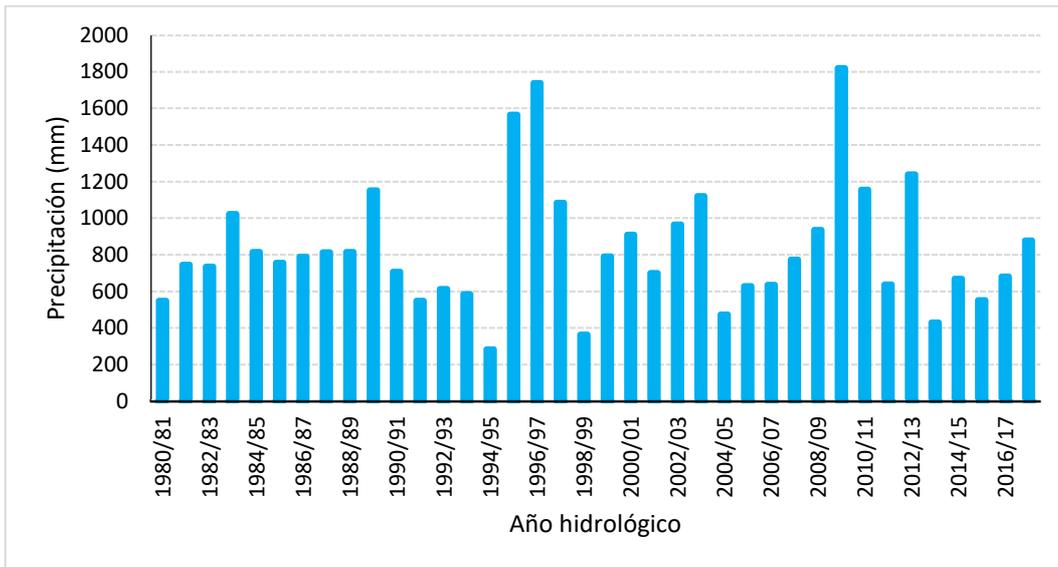


Figura nº 2. Evolución de la precipitación, periodo 1980-2018.

- Las precipitaciones máximas se dan en los meses de noviembre y diciembre, y las mínimas se dan en julio y agosto (Figura nº 3).

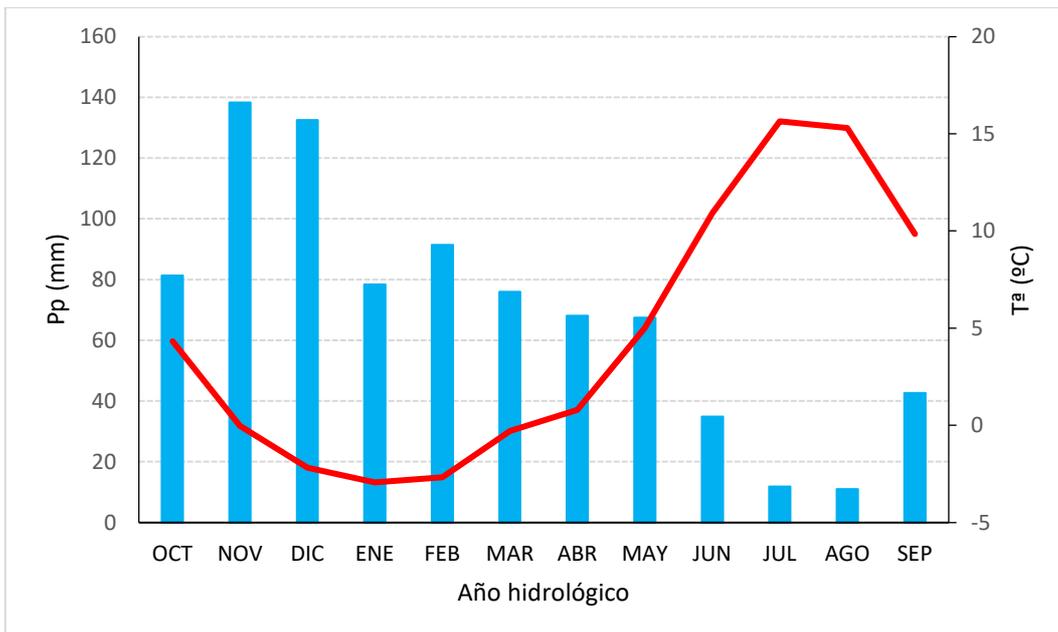


Figura nº 3. Climograma de la zona de estudio, periodo 1980-2018.

- En general, el invierno es una estación fría, con temperaturas medias de entre -2,2 y -2,7°C (la media del mes más frío es -2,9°C), mientras que el verano es suave (la media de las temperaturas del mes más cálido es de 15,6°C). La primavera tiene unas temperaturas medias



entre 0 y 5°C, en tanto que el otoño se configura como la estación más inestable. La temperatura media anual se sitúa en torno a los 4,5°C.

- Para la serie de 1980-2018, la ETP se establece en 630 mm. El año con mayor ETP en ese periodo fue de 779 mm, mientras que el de menos 497 mm (Figura nº 4).

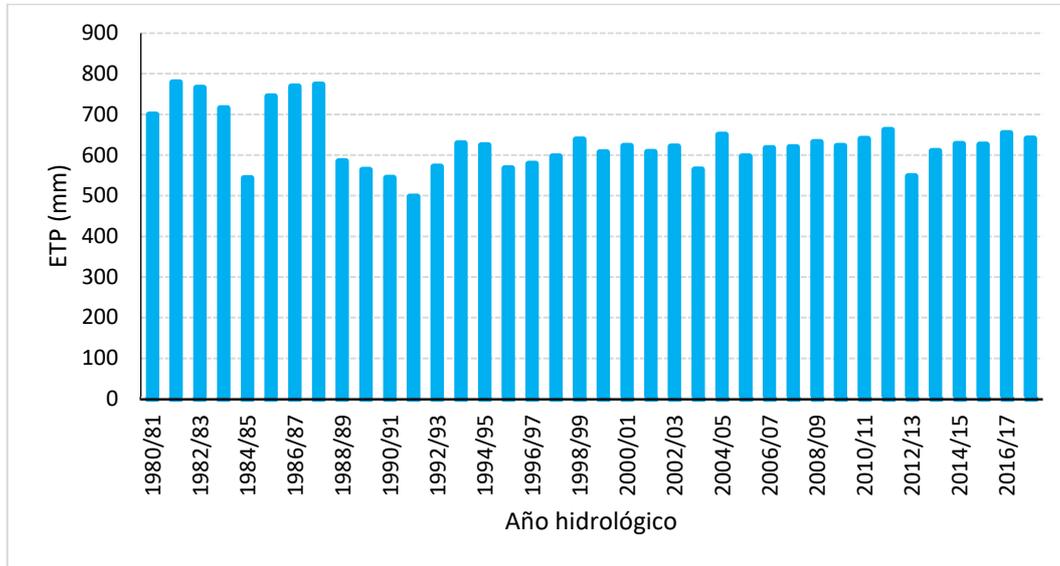


Figura nº 4. Evolución de la ETP, periodo 1980-2018.

- Dentro del ciclo anual, los valores máximos de evaporación tienen lugar durante los meses de junio, julio y agosto, con valores próximos a 110 mm, mientras que los meses invernales son los que presentan los valores más bajos (noviembre, diciembre, enero y febrero con valores mensuales inferiores a 30 mm).

3.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

La descripción del contexto geológico y geomorfológico de la Laguna de la Caldera se ha realizado a partir de la información de la Ficha Informativa de Humedal de Andalucía, así como de información del IGN.

3.2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

La Laguna de la Caldera se localiza en un sistema glaciar y periglacial dentro del Complejo Nevado-Filábride, localizado en la Cordillera Bética, en el que predominan los derrubios de gravedad y mantos de piedras, los cuales dan lugar a roquedos, suelos desnudos, canchales y borreguiles.

Tras la desaparición de los glaciares de los valles de Sierra Nevada, aún permanecieron pequeños focos glaciares o grandes neveros en el interior de los circos más altos, como el que ocupaba la actual Laguna de la Caldera, en la cabecera del barranco de Mulhacén (Gómez *et al*, 2013).

La morfogénesis glacial conformó, en Sierra Nevada, unas cincuenta cubetas de variable superficie localizadas, en su mayoría, entre los 2.800 y 3.040 m de altitud.

Generalmente, todas las lagunas presentan dimensiones moderadas a causa de la escasa capacidad erosiva que tuvieron los glaciares. En el núcleo central de la sierra emergen materiales del conjunto Nevado-Filábride (micasquistos, cuarcitas, mármoles, gneises, serpentinas y anfibolitas), mientras que alrededor del anterior aparece el conjunto Alpujárride (micasquistos del Paleozoico y Precámbrico, filitas con cuarcitas del Permotriás y calizas y dolomías triásicas).

La Figura nº 5 muestra la geología de la zona de estudio y en la Figura nº 6 se presenta la leyenda geológica.

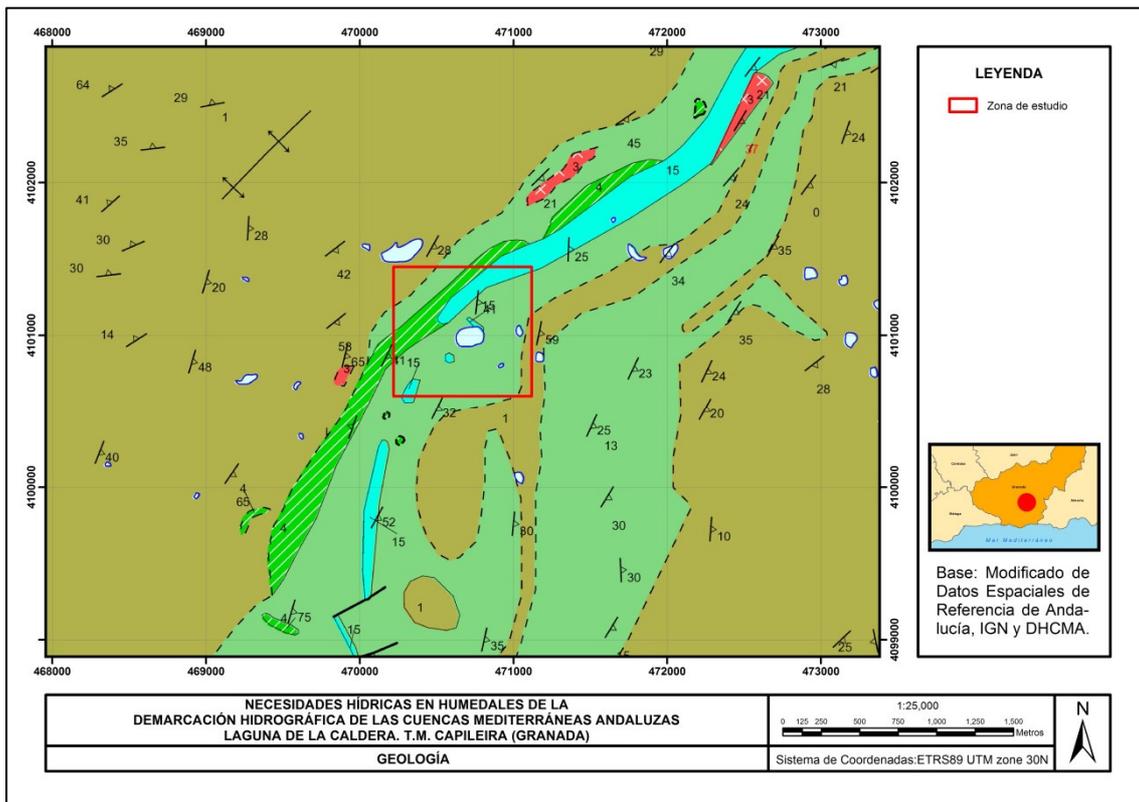


Figura nº 5. Geología de la zona de estudio.

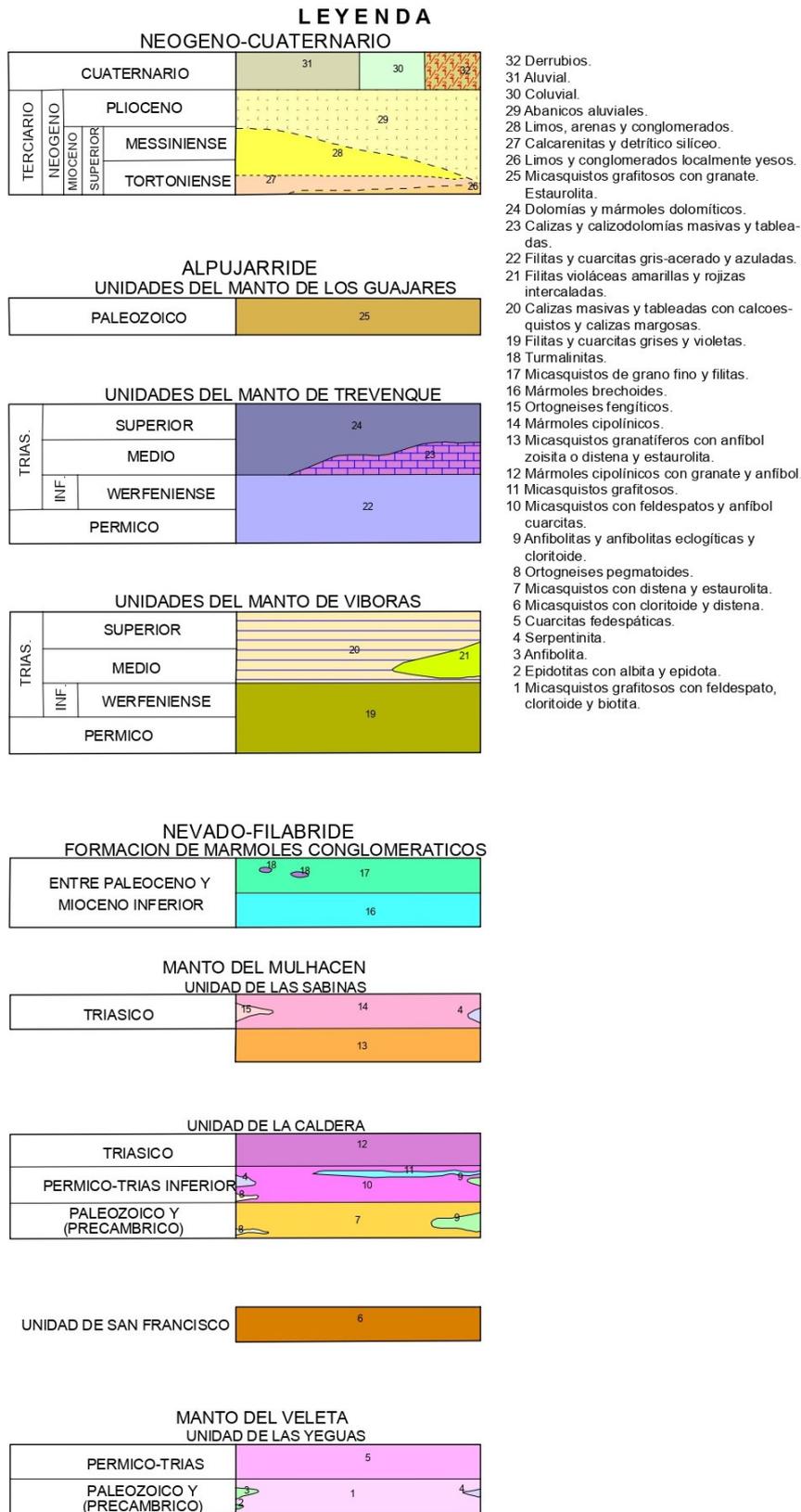


Figura nº 6. Leyenda geológica de la zona de estudio



3.2.2 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

Sierra Nevada representa el reducto más meridional del glaciario en Europa, el cual dejó su impronta en la fisonomía del paisaje de cumbres, al conformar circos, valles glaciares y nichos de nivación que, tras la retirada de los hielos, dieron lugar a las lagunas que actualmente se asientan sobre estas formaciones (CMA, 2005).

La Laguna de la Caldera, desde el punto de vista geomorfológico, presenta forma de circo glacial, considerada una depresión excavada en la montaña, donde se acumula el hielo.

En el interior de estos circos es usual la presencia de lagunas como es el caso de la Caldera, Siete Lagunas, Río Seco y Hoya del Mulhacén.

3.3 TOPOGRAFÍA Y CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

En planta, la Laguna de la Caldera muestra un contorno en forma arriñonada, donde el eje mayor tiene una distancia aproximada de 180 m, frente a los 115 m del eje menor, a la vez que presenta un aumento progresivo de la profundidad hacia la zona central de la cubeta.

El entorno de la laguna no ha sufrido el impacto de la actividad humana, por lo que su estado de conservación es muy bueno y se puede considerar que se encuentra en estado natural.

A partir del modelo digital del terreno elaborado, y mediante el uso de un SIG, se han deducido los volúmenes correspondientes a cada cota y la superficie asociada a los mismos (Figura nº 7).

Los resultados finales del balance realizado en este estudio podrían presentar ciertas variaciones ya que no se dispone de una batimetría de precisión.

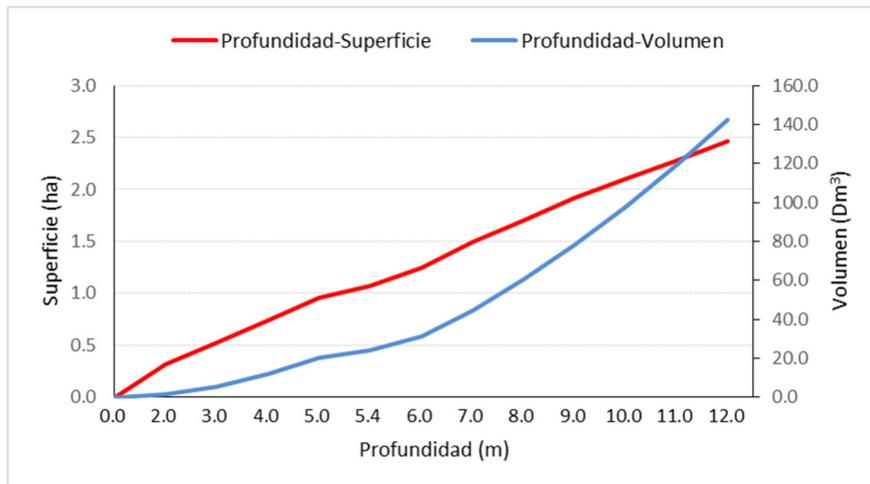


Figura nº 7. Relación superficie-volumen.

En la Figura nº 8 se muestra la altimetría en la cuenca de la Laguna de la Caldera.

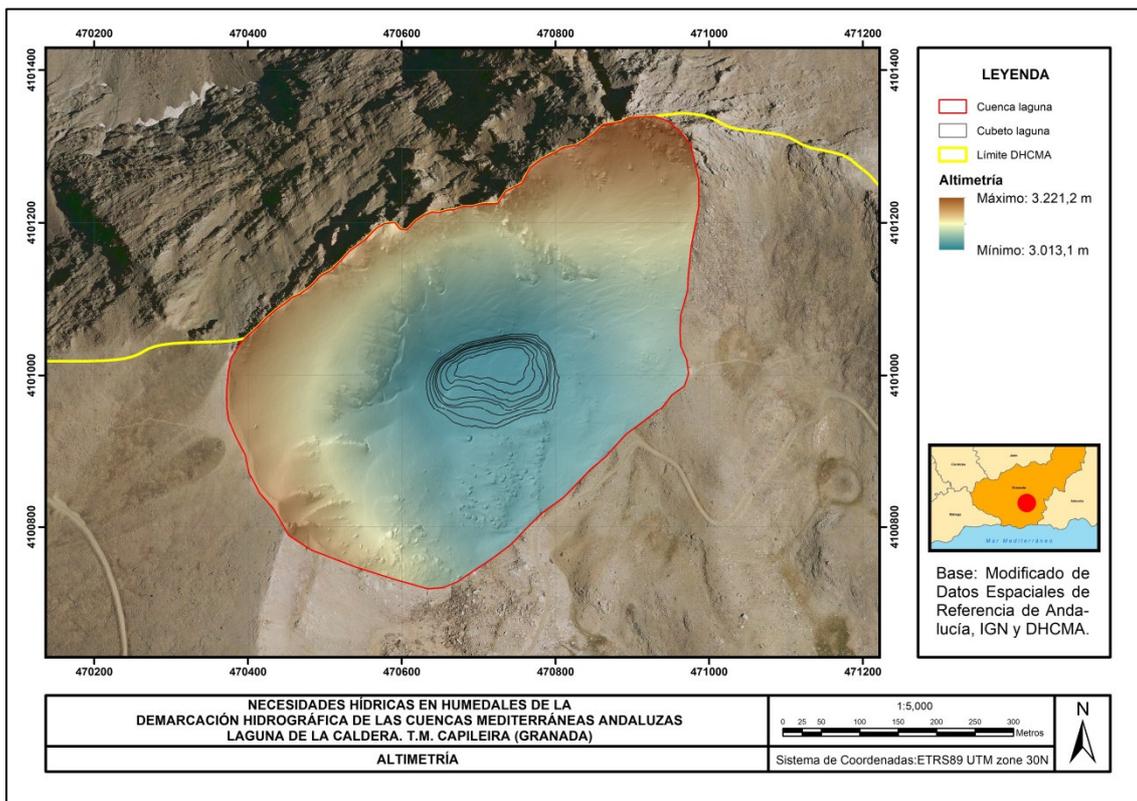


Figura nº 8. Altimetría en la cuenca de la Laguna de la Caldera.

3.4 FLORA Y VEGETACIÓN

Las fuentes consultadas para el desarrollo de este apartado han sido diversas. Para la identificación de las especies de flora que presentan un gran valor de conservación se han revisado diferentes estudios

y documentos técnicos (Inventario de Humedales de Andalucía, Lagunas de Sierra Nevada del Observatorio Cambio Global Sierra Nevada, etc.). Para la presencia de los hábitats de interés comunitario se ha consultado, además, la información oficial de la Red Natura 2000. Para la interpretación y descripción de las comunidades vegetales de la laguna en relación con los hábitats tipificados de interés comunitario se ha utilizado el Manual de Interpretación (Comisión Europea, 2013) y el documento “Bases ecológicas para gestión de humedales” (VV.AA., 2009). En el caso del modelo de distribución de hábitats y especies vegetales en la laguna se han seguido los estudios y aproximaciones metodológicas de García Viñas *et al.* (2005) y WWF (2009).

3.4.1 FLORA CON INTERÉS DE CONSERVACIÓN

La vegetación que se registra en torno a esta laguna se compone de lastonares de *Festuca pseudoeskia* en zonas expuestas o *Dactylis juncinella* en zonas más protegidas (*Festucetum moleroio-pseudoeskia*; *Cirsio gregarii-Dactyletum juncinell*), tomillares (*Sideritido glacialis-Arenarietum pungentis*) con especies como *Sideritis glacialis*, *Thymus serpylloides* o *Arenaria pungens*, que se sitúan en las zonas más térmicamente aventajadas. Sin embargo, en las zonas sombrías de los grandes bloques de piedra se identifican comunidades de helechos (*Campanulo willkommii-Polystichetum lonchitidis*), con especies como *Polystichum lonchitis*, *Cystiopteris fragilis* o *Cryptogramma crispa*.

La vegetación del entorno de la laguna muestra poco desarrollo a causa de la orilla abrupta que presenta el humedal, y está formada por especies como *Armeria splendens*, *Lotus glareosus* o *Plantago nivalis* (*Armerio splendentis-Agrostietum nevadensis*) (CMA, 2005).

Además, la laguna carece de vegetación litoral de macrófitos. El fitoplancton es el principal autótrofo que se halla en la base de la cadena trófica de la laguna. Un rasgo característico de la estructura biológica de esta laguna es la ausencia de picoplancton autotrófico (0,2 y 2 micras de tamaño), ya que los autótrofos que dominan pertenecen al nanoplancton compuesto de células entre 2 y 20 micras.

La especie más representativa es *Chromulina nevadensis*, un alga unicelular que pertenece a la familia de las crisofíceas y que se encuentra muy adaptada y extendida en ecosistemas árticos y de alta montaña.

La estructura de la red trófica de la Laguna de la Caldera, y de otras lagunas análogas en Sierra Nevada, se desvía de los patrones determinados para ecosistemas oligotróficos que presentan el predominio de la cadena de la red trófica microbiana sobre la cadena de herbívoros.

3.4.2 VEGETACIÓN

3.4.2.1 COMUNIDADES VEGETALES CARACTERÍSTICAS

La Laguna de la Caldera se define por la presencia de los siguientes hábitats naturales de interés comunitario:

- 31 Aguas estancadas.
3110_1 Lagunas glaciares de altas montañas.
- 61 Prados naturales.
6160 Prados ibéricos silíceos de *Festuca indigesta*.
- 81 Desprendimientos rocosos.
8130_0 Desprendimientos rocosos occidentales y termófilos.

3.4.2.2 ORGANIZACIÓN ESPACIAL DE LOS HÁBITATS DE INTERÉS COMUNITARIO

3.4.2.2.1 LOS HÁBITATS EN EL CONJUNTO DEL HUMEDAL

En el ámbito de la Laguna de la Caldera y su entorno se encuentran diferentes hábitats de interés comunitario vinculados al agua, tales como los hábitats de aguas estancadas y prados naturales (grupos de hábitats tipo 31 y 61) (Figura nº 9).

Cada tipo de hábitat está representado por ciertas especies predominantes, las cuales indican características del medio (humedad, salinidad, nutrientes, etc.) diferenciadas.

La organización espacial de las especies responde fundamentalmente a gradientes ambientales, donde el régimen de inundación y las condiciones térmicas 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).

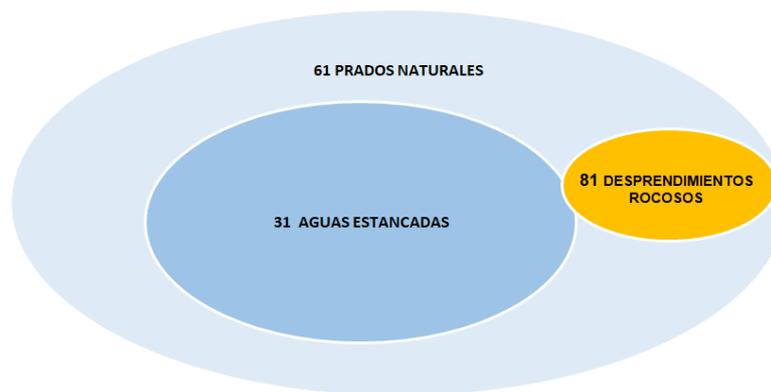


Figura nº 9. Tipos de HIC en el entorno de la laguna.

3.4.2.2.2 LOS HÁBITATS SEGÚN EL ORIGEN Y DINÁMICA DE LAS AGUAS

Los hábitats de interés comunitario de la Laguna de la Caldera ligados al medio acuático estarían representados por los tipos 3110_1 y 6160.

Las diferentes comunidades que tapizan el perímetro lagunar se disponen en base a la variación de los siguientes factores ecológicos: duración del encharcamiento, grado de salinidad y textura del suelo. El resultado es una zonación horizontal de las distintas comunidades. Los diferentes hábitats que se encuentran en la laguna serían los siguientes:

- **Hábitat 3110_1:** Lagunas de origen glaciar propias de alta montaña en el ámbito mediterráneo, por lo general por encima de los 3.000 m.s.n.m, y restringida en Andalucía a las altas cumbres de Sierra Nevada. Suelen presentar un importante grado de naturalidad ya que la alteración antrópica en estas localizaciones es menor que en otros sistemas acuáticos. Quedarían excluidas las lagunas en las que se han realizado adaptaciones estructurales para su conversión en embalses. Estas lagunas permanecen heladas durante gran parte del año, son de aguas dulces y débilmente mineralizadas, lo que constituye las señas de identidad de este hábitat acuático de alta montaña.

Realmente se trata de un HIC básicamente fisiográfico, determinado por las características del medio físico, presencia de lagunas de la alta montaña andaluza, de origen glaciar, donde las comunidades y especies vegetales dan idea únicamente del estado de conservación de este.

- **Hábitat 6160:** Prados de las altas montañas silíceas ibéricas dominados por especies y subespecies del grupo de *Festuca indigesta*, que constituyen la vegetación potencial por encima de los pisos de bosque.

- **Hábitat 8130_0:** Este HIC se considera claramente fisionómico o estructural, es decir, la existencia del hábitat viene determinada por la presencia de canchales, cascajares, pedregales, pedreras, pedrizas, etc. La vegetación solo da idea del estado de conservación del Hábitat.

3.4.2.2.3 HACIA UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE HÁBITATS Y ESPECIES EN LA LAGUNA

La conceptualización anterior permite plantear un modelo de distribución de la vegetación en la Laguna de la Caldera. Se trata de un modelo que permite explicar la distribución de los subgrupos y tipos de la Directiva Hábitat y las especies que los integran.

En la Figura nº 10 se reproduce la zonificación teórica de los diferentes tipos de hábitats de la Laguna de la Caldera.

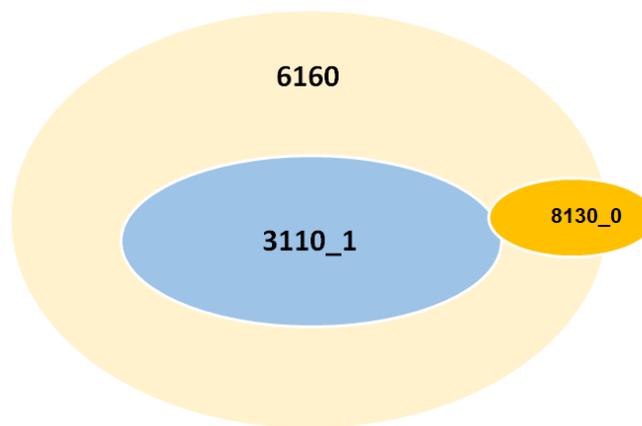


Figura nº 10. HIC en el entorno de la laguna.

En la Figura nº 11 se presenta un perfil teórico de vegetación con los tipos de hábitats directamente influenciados por el régimen de inundación.

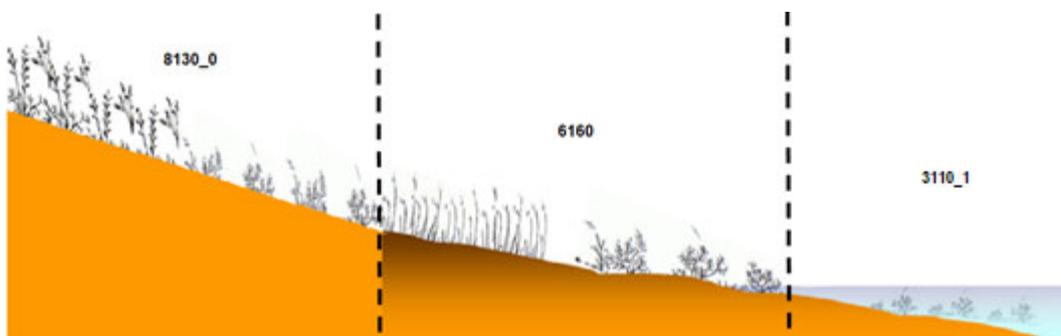


Figura nº 11. Perfil teórico de HIC en el entorno de la laguna.



3.5 FAUNA

La Laguna de la Caldera, al igual que el resto de lagunas de Sierra Nevada, carece de peces. Las especies de mayor tamaño que se pueden observar son de coleóptero del grupo de los escarabajos buceadores (*Dytiscus sp.*).

No obstante, los organismos heterotróficos más particulares corresponden al grupo de mesoplancton y microplancton, con especies de crustáceos planctónicos de vida pelágica, ordinariamente distinguidos como zooplancton. El zooplancton más particular de la laguna pertenece al grupo de los copépodos del orden *Calanoides*, *Diaptomus cyaneus* y *Mixodiaptomus laciniatus*. Además, también se puede encontrar la especie *Cyclops abysorum* del orden Cyclopoidae. Otros crustáceos que pueden aparecer en la laguna son los cladóceros del tipo *Daphnia*, conocidas como pulgas de agua.

Por último, el microplancton se representa con especies de rotíferos y las formas larvarias de copépodos, por lo que es frecuente que especies del grupo de los *Bdelloideos* o el rotífero *Hexarthra bulgarica* afloren inmediatamente, e incluso consigan dominar el zooplancton tras episodios de entrada de polvo atmosférico o en años secos.



4 PRESIONES E IMPACTOS

El diagnóstico de la Laguna de la Caldera que se presenta a continuación ha sido elaborado a partir de toda la información disponible en las diferentes fichas y planes referentes a la misma.

4.1 PRESIONES

El Reglamento de la Planificación Hidrológica, la Instrucción de la Planificación Hidrológica y la guía CIS nº 3 IMPRESS definen una presión significativa como aquella que supera un umbral definido a partir del cual se puede poner en riesgo el cumplimiento de los objetivos ambientales en una masa de agua. Por otro lado, para la guía de *reporting* de la DMA (Comisión Europea, 2014), presión significativa es aquella que, sola o en combinación con otras presiones, impide o pone en riesgo el logro de los OMA (art. 4.1 DMA). Por tanto, no todas las presiones pueden considerarse significativas.

En dicha guía se lleva a cabo una sistematización de las presiones que se despliega en la Tabla nº 1.

1 Puntuales
1.1 Aguas residuales urbanas
1.2 Aliviaderos
1.3 Plantas IED
1.4 Plantas no IED
1.5 Suelos contaminados / Zonas industriales abandonadas
1.6 Zonas para eliminación de residuos
1.7 Aguas de minería
1.8 Acuicultura
1.9 Otras
2 Difusas
2.1 Escorrentía urbana / alcantarillado
2.2 Agricultura
2.3 Forestal
2.4 Transporte
2.5 Suelos contaminados / Zonas industriales abandonadas
2.6 Vertidos no conectados a la red de saneamiento
2.7 Deposición atmosférica
2.8 Minería
2.9 Acuicultura



2.10 Otras (cargas ganaderas)
3 Extracción de agua / Desviación de flujo
3.1 Agricultura
3.2 Abastecimiento público de agua
3.3 Industria
3.4 Refrigeración
3.5 Generación hidroeléctrica
3.6 Piscifactorías
3.7 Otras
4 Alteración morfológica
4.1 Alteración física del cauce/ lecho / ribera / márgenes
4.1.1 Protección frente a inundaciones
4.1.2 Agricultura
4.1.3 Navegación
4.1.4 Otras
4.1.5 Desconocidas
4.2 Presas, azudes y diques
4.2.1 Centrales Hidroeléctricas
4.2.2 Protección frente a inundaciones
4.2.3 Abastecimiento de agua
4.2.4 Riego
4.2.5 Actividades recreativas
4.2.6 Industria
4.2.7 Navegación
4.2.8 Otras
4.2.9 Estructuras obsoletas
4.3 Alteración del régimen hidrológico
4.3.1 Agricultura
4.3.2 Transporte
4.3.3 Centrales Hidroeléctricas
4.3.4 Abastecimiento público de agua
4.3.5 Acuicultura
4.3.6 Otras
4.4 Desaparición parcial o total de una masa de agua
4.5 Otras alteraciones hidromorfológicas





Otras
5.1 Especies alóctonas y enfermedades introducidas
5.2 Explotación / Eliminación de fauna y flora
5.3 Vertederos controlados e incontrolados
6.1 Recarga de acuíferos
6.2 Alteración del nivel o volumen de acuíferos
7 Otras presiones antropogénicas
8 Presiones desconocidas
9 Contaminación histórica

Tabla nº 1. Catalogación del inventario de presiones

Dada la ubicación y características del entorno, que se encuentra en estado natural, no se ha identificado ninguna presión en relación con la Laguna de la Caldera, en especial relacionada con los siguientes tipos (Tabla nº 2).

Vertidos	Bombeos y extracciones	Morfológicas y del paisaje	Regulación del flujo	Extracción minera	Otros usos del suelo	Actividad agroganadera	Otras
--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla nº 2. Identificación de presiones en el entorno de la Laguna de la Caldera.

4.2 IMPACTOS

Las presiones a las que se puede encontrar sometido un humedal determinan los impactos significativos que afectan al mismo, estos impactos se pueden diferenciar entre físicos, biológicos y ecológicos. En el caso de la Laguna de la Caldera no se identifican impactos significativos.



5 VALORES DE CONSERVACIÓN DEL HUMEDAL

5.1 VALORES DE CONSERVACIÓN

A partir de la información disponible en las diferentes fichas y planes referentes a la Laguna de la Caldera, se han identificado los siguientes elementos de interés para su conservación:

- Sustenta especies vulnerables, en peligro o en peligro crítico, o comunidades ecológicas amenazadas.
- Sustenta poblaciones de especies vegetales y/o animales importantes para mantener la diversidad biológica de una región biogeográfica determinada.

5.1.1 HÁBITATS DE INTERÉS COMUNITARIO

En la Tabla nº 3 se muestran los hábitats de interés comunitario presentes en el entorno de la Laguna de la Caldera.

Código	Hábitat de Interés Comunitario (HIC)
3110_1	Lagunas glaciares de altas montañas
6160	Prados ibéricos silíceos de <i>Festuca indigesta</i>
8130_0	Desprendimientos mediterráneos occidentales y termófilos

Tabla nº 3. HIC presentes en el entorno de la Laguna de la Caldera.

5.1.2 ESPECIES DE INTERÉS COMUNITARIO

No se recogen especies de interés comunitario en la zona de la Laguna de la Caldera, pero sí se identifican dentro de la ZEC y ZEPA de la que forma parte. Estas se recogen en la Tabla nº 4 y la Tabla nº 5.

Anfibios	<i>Discoglossus galganoi</i>
Reptiles	<i>Mauremys leprosa</i>
Invertebrados	<i>Euphydryas aurinia</i>
Plantas	<i>Trichomanes speciosum</i>
	<i>Pinguicula nevadensis</i>
	<i>Senecio elodes</i>
	<i>Narcissus nevadensis</i>

Tabla nº 4. Especies de interés comunitario presentes en la ZEC ES6140004-Sierra Nevada.

Aves	<i>Gyps fulvus</i>
	<i>Circaetus gallicus</i>
	<i>Circus aeruginosus</i>
	<i>Circus cyaneus</i>
	<i>Aquila chrysaetos</i>
	<i>Hieraaetus pennatus</i>
	<i>Hieraaetus fasciatus</i>
	<i>Falco peregrinus</i>
	<i>Bubo bubo</i>
	<i>Caprimulgus europaeus</i>
	<i>Alcedo atthis</i>
	<i>Coracias garrulus</i>
	<i>Galerida theklae</i>
	<i>Lullula arborea</i>
	<i>Anthus campestris</i>
	<i>Luscinia svecica</i>
	<i>Oenanthe leucura</i>
	<i>Sylvia undata</i>
<i>Pyrrhocorax pyrrhocorax</i>	
<i>Emberiza hortulana</i>	

Tabla nº 5. Especies de interés comunitario presentes en la ZEPA ES6140004-Sierra Nevada.

5.2 ESTADO DE CONSERVACIÓN

5.2.1 ESTADO ECOLÓGICO Y QUÍMICO DEL HUMEDAL

Tal y como se recoge en el vigente Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, la masa de agua Laguna de la Caldera, en base a los datos de la red de control y a la ausencia de presiones e impactos, presenta un estado ecológico muy bueno.

De igual modo, se determina que la masa se encuentra en buen estado químico.

5.2.2 ESTADO DE CONSERVACIÓN GENERAL

La Laguna de la Caldera se encuentra prácticamente en estado natural, y no presenta ni presiones ni impactos significativos, por lo que su estado de conservación general se determina como bueno o mejor.

6 HIDROLOGÍA DEL HUMEDAL

La descripción del funcionamiento hidrológico e hidrogeológico de la Laguna de la Caldera se ha realizado a partir de la información de los informes de la Junta de Andalucía relativos al contexto hidrogeológico de los humedales andaluces (Consejería de Medio Ambiente, 2005). En la realización de los balances de la cuenca se han considerado los valores de ciertas variables aportadas por el modelo de simulación precipitación-escorrentía SIMPA (CEDEX, 2019). Para los datos de nivel de lámina de agua se han utilizado los valores obtenidos a partir del modelo digital del terreno obtenido mediante LIDAR.

6.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO

6.1.1 RED HIDROGRÁFICA Y CUENCAS

La red hidrográfica de Sierra Nevada está formada por numerosos arroyos, ríos y barrancos que tienen poca agua en invierno y un caudal elevado en primavera y principios de verano, momento en el que se produce la fusión de la nieve. Las lagunas de Sierra Nevada se alimentan por aportes superficiales de escorrentía y deshielo, existiendo, en la mayoría de ellas, pequeños arroyuelos afluentes. Aunque, en general, se trata de cubetas de aguas permanentes, están sujetas a fluctuaciones de nivel en el periodo estival, más o menos acusadas en función de su localización y de sus características morfométricas, de manera que algunas de ellas pueden llegar a secarse completamente en verano. En estos sistemas, los efluentes naturales, de existir, se forman por rebose, si bien puede producirse cierta percolación del agua contenida en algunas cubetas a través de fracturas y diaclasas, con lo que se incrementa la pérdida añadida a la evaporación. Aquellas lagunas que permanecen heladas durante gran parte del año son de aguas dulces y débilmente mineralizadas, lo que constituye las señas de identidad de este tipo de ecosistemas acuáticos de alta montaña.

6.1.2 FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO EN CONDICIONES NATURALES

No existen cauces que viertan sus aguas a la laguna, cuya cuenca de recepción es muy pequeña, 24,2 has, aunque de esta, unas 8 has realmente vierten a la zona de depósitos de la antigua morrena, por lo que se puede fijar la superficie efectiva que vierte sus aguas de forma directa a la laguna en unas 16 has. Esta cuenca no es muy extensa, y en ella se recogen las precipitaciones, tanto en forma de lluvia como de nieve, que dan lugar a las aportaciones de recursos a la laguna.

En términos generales, el funcionamiento de la Laguna de la Caldera es permanente, con oscilaciones importantes en función de las precipitaciones del año, principalmente en forma de nieve.

La recarga en la laguna se produce a partir de:

- Precipitaciones en forma de lluvia y nieve que cae directamente en la cubeta de la laguna.
- Agua de escorrentía que circula en superficie hasta alcanzar el humedal, preferentemente de manera difusa debido a la ausencia de cauces que canalicen el agua de precipitación (flujo hipodérmico).

La evaporación es el fenómeno que condiciona de manera primordial el vaciado de la laguna, donde se observa que el descenso estacional de nivel comienza prácticamente todos los años en los meses en que los índices de evaporación empiezan a ser más elevados, lo cual varía de unos años a otros.

Los materiales geológicos de la Laguna de la Caldera presentan un carácter netamente impermeable. Sin embargo, a partir de una superficie de cubeta aproximada de 2 has, se corresponde con la situación de aguas altas, las aguas de la laguna se filtran a través de los materiales depositados por la morrena del glaciar que dio lugar a la laguna, por lo que supone su límite superior a modo de rebosadero, el cual se establece en una cota de 3.021,0 m s.n.m.

6.1.3 FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO EN CONDICIONES MODIFICADAS

La Laguna de la Caldera no presenta ningún tipo de presión, ni impacto, y no tiene afección que origine un régimen modificado diferente al régimen natural.

6.2 SERIES DE NIVELES DEL HUMEDAL Y BALANCE ASOCIADO

No se dispone de series de nivel del humedal, por lo que se han utilizado las deducidas a partir de los datos hidrológicos del modelo SIMPA, el cual refleja en gran medida el comportamiento hidrológico natural de la laguna.

6.3 MODELIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DEL HUMEDAL

6.3.1 MODELO EMPLEADO

Para la simulación de los aportes a la Laguna de la Caldera se ha utilizado un modelo agregado de balance continuo. Estos modelos se utilizan fundamentalmente para la evaluación de recursos

hídricos de cuencas hidrográficas, realizando la simulación de largos periodos de tiempo, de 50 a 100 años, con lapsos de tiempo mayores que los modelos de eventos (el día, el mes o el año). Estos modelos utilizan las variables de estado para el cálculo de la nueva situación de la cuenca, por lo que realizan de forma continua el balance de agua en la cuenca hidrográfica.

El modelo más utilizado en España es el modelo de Témez (1977) que deriva del modelo de THORNTHWAITE-T y es similar al método planteado por el “Número de Curva” del *Soil Conservation Service*, ya que es un modelo conceptual de pocos parámetros que simula de forma sencilla el ciclo hidrológico y, a su vez, la ley que gobierna la generación de excedente, es decir, el agua que no es interceptada por el suelo.

La aplicación del modelo de Témez de forma distribuida dio lugar al modelo SIMPA (Sistema Integrado Precipitación Aportación) (Ruiz, 1998), que es un modelo hidrológico conceptual distribuido de simulación continua mensual integrado con un sistema de información geográfica GRASS (Estrela, 1996). Este modelo ha sido aplicado en la evaluación de los recursos hídricos en España, con una resolución inicial de 1km x 1km, realizada durante la elaboración del “Libro Blanco del Agua en España” (MMA, 2000) y para la elaboración de los planes hidrológicos de las demarcaciones. Actualmente presenta una resolución de 500m x 500m.

De cara al tercer ciclo de planificación, desde el CEDEX se han realizado diversas mejoras en el modelo SIMPA, entre estas se encuentran el tratamiento de la nieve en la formulación del modelo hidrológico, mejoras en los datos de entrada de las variables atmosféricas (revisión de datos, interpolación, incorporación de estaciones SIAR para mejorar la ETP, nuevos mapas correctores de ETP), revisión de los datos de los puntos de contraste y selección de nuevos puntos, mejoras en los mapas de parámetros utilizados en la calibración, etc.

Se ha trabajado con una superficie fija de la laguna cifrada en 2 has.

6.3.2 VALIDACIÓN DE RESULTADOS DEL MODELO HIDROLÓGICO

Los resultados de aplicar esta aproximación al balance hídrico de la Laguna de la Caldera mediante el modelo SIMPA no se ha podido contrastar con registros de la laguna, al carecer de estos. No obstante, se ha revisado la información gráfica de fotos de la laguna existentes en el Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada de las Lagunas de Sierra Nevada, las cuales se encuentran fechadas y en cierto modo permiten hacer una idea de los niveles en dichas fechas.

La evolución de los niveles simulados de la Laguna de la Caldera para el periodo 1980-2018 se muestra en la Figura nº 12.

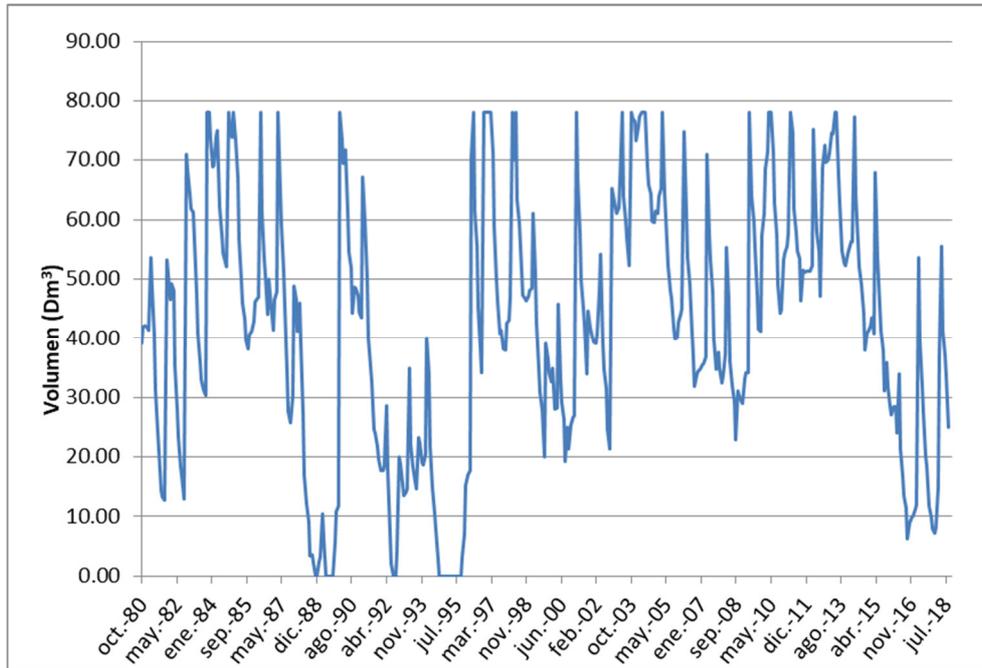


Figura nº 12. Evolución de niveles simulados para la Laguna de la Caldera (oct1980-sep2018).

6.3.3 BALANCE HÍDRICO DEL HUMEDAL

A partir de los datos obtenidos en la simulación hidrológica, se ha realizado el balance medio de la Laguna de la Caldera en condiciones hidrológicas naturales y para el periodo 1980-2018 (Tabla nº 6).

Balance	Componente	mm	Vol (Dm ³)
Entradas	Precipitación	833,9	16,68
	Superficial	565,6	125,59
	Subterránea	--	--
	Total		142,27
Salidas	ETP	630,5	12,61
	ETR	271,0	60,17
	Relación acuífero*	--	69,49
	Total		142,27

*Rebosadero

Tabla nº 6. Balance hídrico Laguna de la Caldera.



6.4 ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO DEL HUMEDAL

Como se indicó con anterioridad, la Laguna de la Caldera no presenta ningún tipo de presión, ni impacto, y no tiene afección que origine un régimen modificado diferente al régimen natural.



7 SÍNTESIS ECOLÓGICA E HIDROLÓGICA DEL HUMEDAL

7.1 MODELO CONCEPTUAL

La Figura nº 13 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** representa el marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y los diversos componentes bióticos del ecosistema.

El régimen hidráulico de la laguna está fundamentalmente condicionado por los aportes de la escorrentía superficial y la precipitación directa (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.) define el hidroperiodo de la laguna (2).

El régimen de inundación se traduce en determinados parámetros hidráulicos (profundidad media de encharcamiento, duración, etc.) que ejercen una gran influencia en la presencia y distribución de las especies y la red trófica (3).



Figura nº 13. Marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y diversos componentes bióticos del ecosistema.

En la Figura nº 14 se muestra el esquema de la red trófica de la laguna.

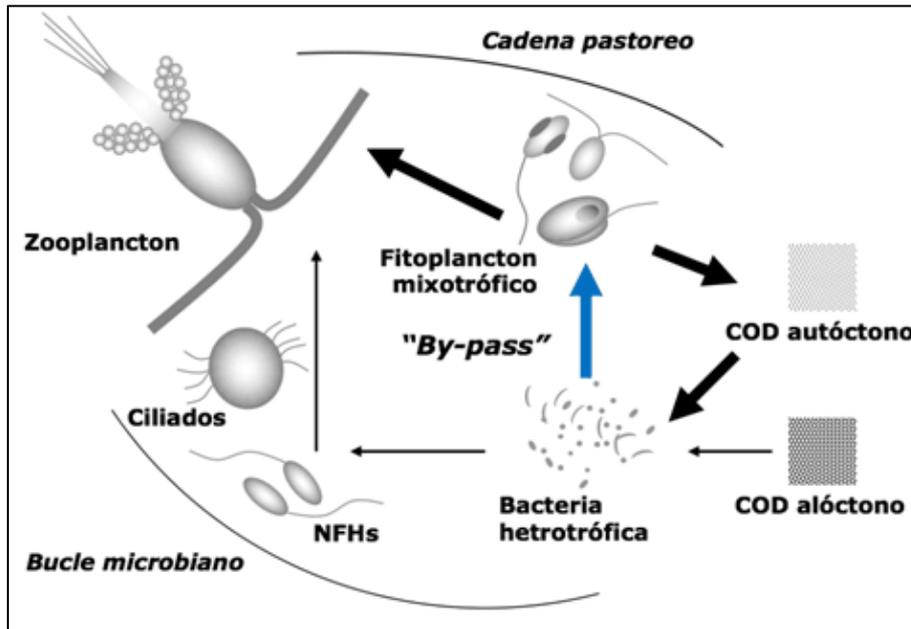


Figura nº 14. Esquema representativo de la red trófica de la laguna. En flechas se representa el flujo de carbono orgánico. COD, Carbono Orgánico Disuelto; NFHs, Nanoflagelados Heterotróficos (Carrillo et al. 2006).

8 NECESIDADES HÍDRICAS DEL HUMEDAL

8.1 OBJETIVOS DE CONSERVACIÓN ASOCIADOS AL RÉGIMEN DE NECESIDADES HÍDRICAS

En la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) queda establecida que “en la medida en que las zonas protegidas de la Red Natura 2000 y de la Lista de Humedales de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar puedan verse afectadas de forma apreciable por los regímenes de caudales ecológicos, estos serán los apropiados para mantener o restablecer un estado de conservación favorable de los hábitat o especies, respondiendo a sus exigencias ecológicas y manteniendo a largo plazo las funciones ecológicas de las que dependen” .

Al considerar los objetivos de conservación establecidos en el marco legal para la Laguna de la Caldera, con la presente propuesta de necesidades hídricas se pretende contribuir a los siguientes apartados.

8.1.1 CONSERVACIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUNCIONES ECOLÓGICAS GENERALES

- a) Garantizar el mantenimiento de la estructura y funcionalidad del ecosistema lagunar y sus elementos asociados.
- b) Mantener la laguna en unas condiciones lo más similares posible a las originales como ecosistema de laguna continental.
- c) Potenciar la contribución del área como enclave de apoyo trófico y refugio para las aves.

8.1.2 CONSERVACIÓN DE ESPECIES Y HÁBITATS

- a) Servir de base para la conservación de las especies en general, teniendo entre otras funciones las de reserva genética.
- b) 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.
- c) Mantener al menos en un estado de conservación favorable los Hábitats Naturales de Interés Comunitario presentes en la zona de estudio.
- d) Mantener al menos en un estado de conservación favorable las Especies de Interés Comunitario.
- e) Mantener al menos en un estado de conservación favorable las especies de Aves.



- f) 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.
- g) 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.

8.1.3 CONSERVACIÓN DE PAISAJES

- a) Mantener en un estado adecuado los paisajes de la laguna y de su entorno, atendiendo a su elevada singularidad dentro de la Península.

8.2 FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS

Las necesidades hídricas se pueden abordar desde diferentes aproximaciones, entre las que destacan la aproximación puramente hidrológica (basada en los hidroperiodos de referencia) y la basada en criterios biológicos, la cual relaciona la reducción de los aportes en régimen natural con la superficie potencial de diferentes Hábitats de Interés Comunitario.

La aproximación hidrológica se fundamenta en que el régimen hidrológico natural del humedal (por extensión el hidroperiodo y el régimen de inundación) constituye el factor principal de organización del ecosistema acuático. Si se considera que los hábitats y especies están condicionadas 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. De esta forma, el estudio del régimen de inundación se ha realizado a partir del régimen natural de inundación de la Laguna de la Caldera, caracterizando sus correspondientes hidroperiodos característicos.

En el caso de las aproximaciones hidro-biológicas, se analiza la respuesta de comunidades vegetales (hábitats tipificados según la Directiva Hábitats) en relación con los cambios en el régimen de inundación en escenarios de reducción de los aportes a la laguna. La identificación de parámetros hidráulicos clave de estas comunidades junto a los modelos de llenado/vaciado del humedal permite definir sus correspondientes respuestas potenciales.



8.2.1 APROXIMACIÓN HIDROLÓGICA

8.2.1.1 HIDROPERIODO TÍPICO DEL HUMEDAL

La Laguna de la Caldera experimenta grandes oscilaciones en el volumen de sus aguas en función de la distribución de las precipitaciones que recoge, las cuales presentan fuertes variaciones, tanto anuales como estacionales.

Las fluctuaciones estacionales se caracterizan por un máximo a finales de primavera y un mínimo a finales de verano. En la Figura nº 15 se muestran los volúmenes de la laguna que representan los hidroperiodos para años con características secas, medias y húmedas. Para esta caracterización se han empleado los percentiles 25, 50 y 75 sobre la serie de volúmenes mensuales de la laguna en régimen natural obtenidos con el modelo precipitación-escorrentía SIMPA.

En un ciclo anual típico, las precipitaciones de finales de otoño comienzan a inundar la laguna. La cota de inundación aumenta progresivamente a lo largo del invierno y de la primavera, coincidiendo con abundantes precipitaciones y escasa evaporación. A partir de este momento la laguna se va secando progresivamente, reduciendo su superficie. Al ser una cubeta endorreica, las pérdidas de agua se producen en exclusiva por evaporación. La laguna ocupa su menor extensión en el ciclo anual a finales del verano, coincidiendo con las menores precipitaciones y máximas temperaturas.

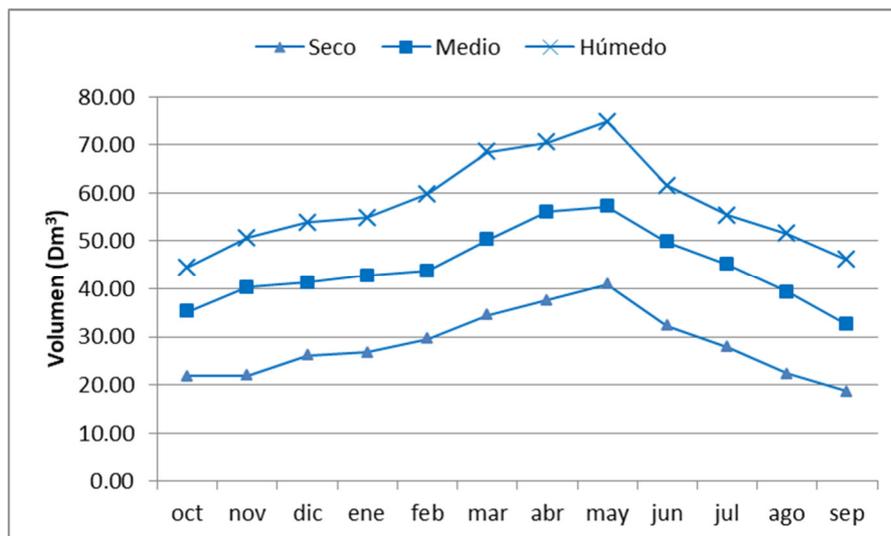


Figura nº 15. Hidroperiodo típico.

8.2.1.2 DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES DE LA LAGUNA

Según los datos obtenidos con el modelo SIMPA, la distribución de los volúmenes naturales de la laguna se muestra en la Figura nº 16.

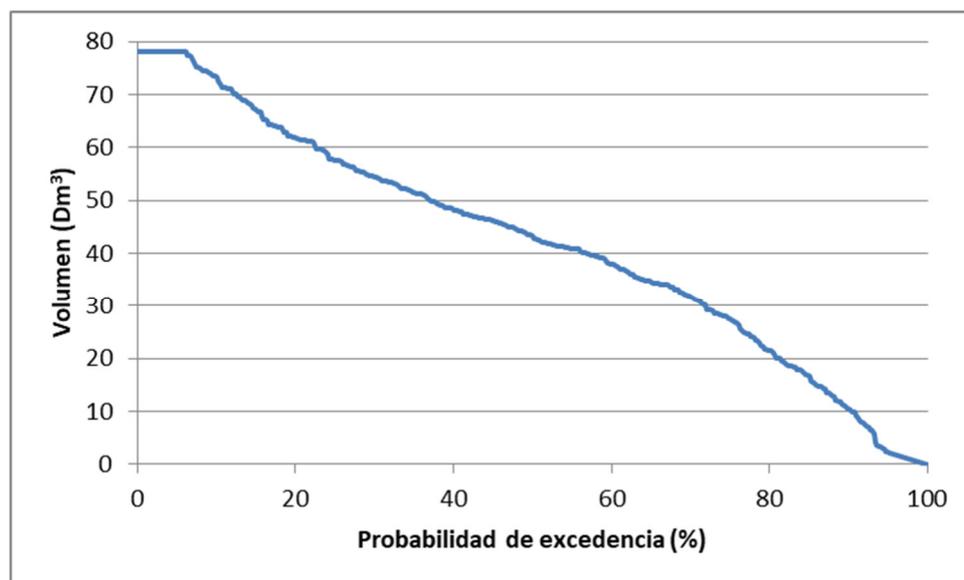


Figura nº 16. Distribución de volúmenes.

A partir de los datos obtenidos con el modelo, en los años muy secos la laguna ha llegado a secarse. El volumen mediano de la laguna es de unos 43,2 Dm³, mientras que, según el modelo, la laguna se encuentra llena, volumen estimado de 78,15 Dm³, durante el 6,14 de las ocasiones.

8.2.1.3 CARACTERIZACIÓN DE HIDROPERIODOS DE REFERENCIA

8.2.1.3.1 VARIABLE FÍSICA EMPLEADA

Según la IPH, “la caracterización de los requerimientos hídricos se realizará a partir de las variables físicas que reflejen más adecuadamente las características estructurales y funcionales de cada lago”, añadiendo que, “los criterios numéricos a partir de los cuales se formulen las propuestas de régimen hídrico, como percentiles, periodos de retorno de eventos, presencia o ausencia de taxones o éxito reproductivo, tendrán como referencia las condiciones naturales y permitirán alcanzar condiciones coherentes con la consecución de las funciones y objetivos ambientales perseguidos” .

En este estudio se ha considerado el régimen de inundación del humedal (entendido como la variación de los volúmenes o niveles de lámina de agua a lo largo del tiempo) como factor ambiental clave que determina en gran medida la presencia y distribución de las comunidades biológicas.

La IPH especifica que “los requerimientos hídricos ambientales de los humedales deberán (...) satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas (...) mediante la preservación de los procesos ecológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos” , incidiendo en la necesidad de considerar en su estudio “las variaciones estacionales e interanuales” . Los patrones naturales de inundación de un humedal (no importa cuán extremos puedan ser) 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 naturales de inundación. La caracterización de este régimen de inundación mediante aproximaciones hidrológicas (basadas en percentiles, medias móviles, etc.) permite de esta manera formular propuestas de necesidades hídricas.

8.2.1.3.2 SERIES DE DATOS HIDROLÓGICOS

La IPH recomienda que las series hidrológicas deberán “caracterizar su régimen natural” , comprendiendo un periodo temporal lo más extenso posible, que abarque al menos “los años hidrológicos 1940/41 a 2005/06 (ambos inclusive) con datos mensuales” . No obstante, en el caso del cálculo de necesidades hídricas la IPH indica que “se aplicará sobre una serie hidrológica representativa de al menos 20 años, preferentemente consecutivos, que presente una alternancia equilibrada entre años secos y húmedos” .

En este trabajo se ha realizado un balance agregado en condiciones hidrológicas naturales a escala mensual. En el caso de la determinación de las necesidades hídricas se ha empleado el periodo 1980-2018, haciendo énfasis en el periodo hidrológico más reciente.

Para conocer la representatividad, se han empleado sobre la serie de volúmenes medios anuales los percentiles 33 y 66, definiendo de esta forma tres grupos de años húmedos, medios y secos. Posteriormente, se han contado sobre la serie cuántos años aparecían en cada uno de los grupos, lo que permite indicar que los datos hidrológicos empleados para el cálculo de las necesidades hídricas cumplen con el requisito de representatividad de la IPH. En la Figura nº 17; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los resultados obtenidos.

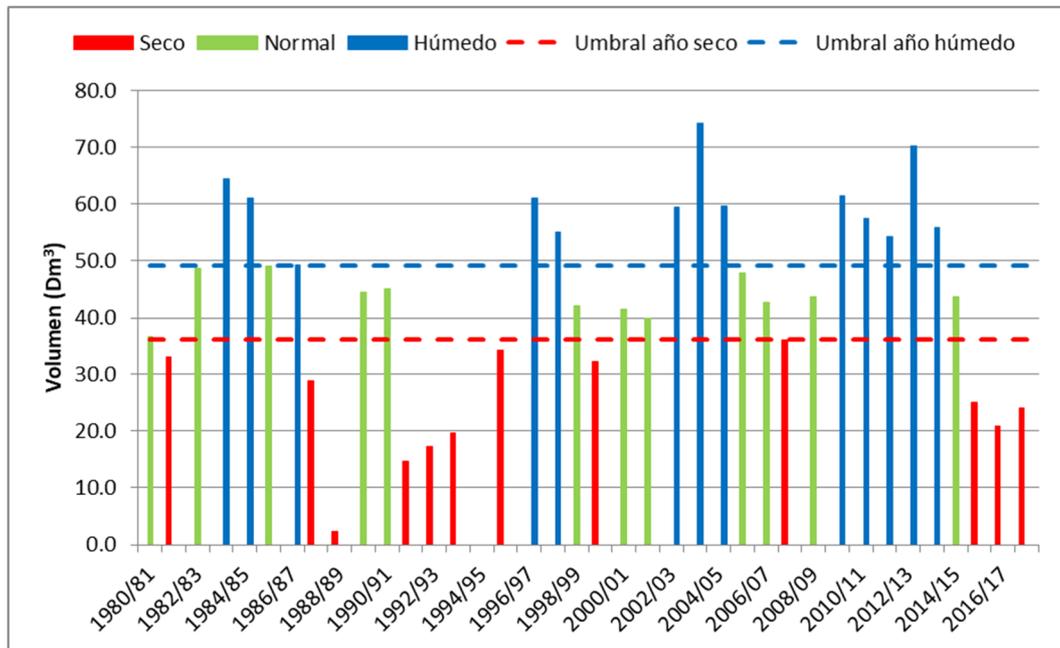


Figura nº 17. Volumen en la laguna. Periodo 1980-2018.

8.2.1.3.3 DIFERENCIACIÓN DE SITUACIONES HIDROLÓGICAS: AÑOS SECOS, MEDIOS Y HÚMEDOS

A diferencia de los sistemas lóticos (ríos), los humedales endorreicos y de cierto tamaño de cuenca presentan una inercia hidrológica muy significativa.

El fenómeno de acumulación de volúmenes y su correspondiente inercia hidrológica tiene efectos significativos sobre temporalidad de los humedales, y en consecuencia, sobre su estructura y funcionamiento. Los balances anuales negativos van reduciendo progresivamente los volúmenes, pero esta larga inercia puede hacer concatenar varios ciclos húmedos consecutivos y que el humedal no llegue a sufrir la desecación en los ciclos secos.

Otra circunstancia, no menos importante está en relación con el tamaño del humedal y su capacidad de acogida de diversidad. Como indica un patrón fundamental de la Teoría de Islas (Paracuellos, 2005), la reducción en tamaño de los humedales da lugar a una disminución en el número de especies que albergan, bien por la pérdida de área per se (de modo que cuanto más superficie se pierde menos individuos y especies caben en el humedal) o bien a que conforme merma la extensión existen muchas posibilidades de que el ambiente aún superviviente pierda tipos distintos de hábitats palustres simplificándose su complejidad estructural. De aquí se puede deducir que los elevados volúmenes

mantenidos durante varios años proporcionan una cantidad y condiciones de hábitat muy adecuadas para albergar ricas y diversas comunidades biológicas.

Son por estas razones por la que resulta necesario incorporar los ciclos húmedos en la formulación de propuestas de necesidades hídricas de los humedales. De no ser así, la aproximación hidrológica mediante variables de centralización móvil o los percentiles que recomienda la IPH trabajaría solamente con niveles mínimos y consecuentemente, humedales de reducido tamaño respecto a sus referentes naturales.

Para incorporar en el análisis hidrológico los ciclos húmedos, mediante el uso de los percentiles 33 y 66 de la serie corta 1980-2018 se han dividido los años hidrológicos en tres franjas (correspondientes a años húmedos, medios y secos) en función del volumen medio anual del humedal. Los resultados se muestran en la Tabla nº 7.

Valores característicos		Volumen medio (Dm ³)
Umbral año seco (percentil 33)		36,2
Umbral año húmedo (percentil 66)		49,2
Secos	Medios	Húmedos
1981/82	1980/81	1983/84
1987/88	1982/83	1984/85
1988/89	1985/86	1986/87
1991/92	1989/90	1996/97
1992/93	1990/91	1997/98
1993/94	1998/99	2002/03
1994/95	2000/01	2003/04
1995/96	2001/02	2004/05
1999/00	2005/06	2009/10
2007/08	2006/07	2010/11
2015/16	2008/09	2011/12
2016/17	2014/15	2012/13
2017/18		2013/14

Tabla nº 7. Distribución de años secos, medios y húmedos en la Laguna de la Caldera.

8.2.1.3.4 FORMULACIÓN DE NECESIDADES HÍDRICAS A PARTIR DE LOS HIDROPERIODOS DE REFERENCIA

Según la IPH, para obtener la distribución temporal de los volúmenes mínimos (caso de los humedales), los métodos hidrológicos aplicarán variables de centralización móviles o bien percentiles

entre el 5 y el 15%. En el caso de la Laguna de la Caldera se ha optado por aplicar percentiles sobre la curva de volúmenes clasificados para cada mes. De esta forma se define también automáticamente el hidroperiodo del humedal, puesto que la caracterización de los percentiles se ha realizado a escala mensual.

Tal como se ha justificado en el apartado anterior, los hidroperiodos de referencia se han calculado para cada una de las tres condiciones hidrológicas en las que previamente se han dividido los años (secos, medios y húmedos). Atendiendo a las condiciones naturales del medio, para el horizonte de planificación del Plan, la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna de la Caldera se basará en la aplicación del percentil 15. La Tabla nº 8, Tabla nº 9 y Tabla nº 10 muestran los resultados obtenidos para cada condición hidrológica.

Para dar una mayor consistencia hidrológica en los resultados, se ha considerado que las propuestas para cada mes deberían ser mayores o iguales al valor correspondiente de la propuesta menos húmeda.

Mes	Años secos (Dm ³)													P15
	81/82	87/88	88/89	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	99/00	07/08	15/16	16/17	17/18	
Oct	13,3	25,7	3,5	24,1	4,0	23,3	0,0	0,0	39,1	34,8	35,9	6,3	11,8	2,82
Nov	12,8	30,2	2,2	21,8	19,9	22,3	0,0	3,2	36,4	37,5	31,9	8,8	9,8	3,01
Dic	53,3	48,9	0,0	19,6	18,8	19,0	0,0	6,9	34,1	34,7	28,4	9,9	8,0	5,53
Ene	51,0	46,6	0,0	17,7	15,5	18,6	0,0	15,1	32,7	32,4	27,1	10,0	7,1	5,70
Feb	46,5	41,2	2,4	17,6	13,5	20,5	0,0	17,0	35,0	33,5	28,4	11,1	8,2	7,00
Mar	49,2	45,9	3,1	18,5	14,1	40,1	0,0	17,7	28,0	37,2	28,3	12,0	14,8	10,21
Abr	48,0	39,3	10,3	28,6	14,7	33,9	0,0	70,6	28,1	55,4	23,9	53,6	37,0	13,85
May	35,3	27,3	6,4	17,7	34,8	21,8	0,0	78,2	45,8	46,7	33,9	39,5	55,6	15,47
Jun	28,1	16,9	0,0	7,3	22,1	14,8	0,0	61,5	33,1	36,1	21,4	32,0	41,4	5,85
Jul	23,3	12,1	0,0	2,1	18,2	10,5	0,0	55,6	29,1	32,0	16,7	27,5	37,1	1,64
Ago	18,2	9,2	0,0	0,0	15,8	7,8	0,0	45,2	26,2	29,1	13,5	20,1	33,6	0,00
Sep	16,8	3,3	0,0	0,0	14,6	2,7	0,0	38,0	19,3	22,9	11,3	18,4	24,9	0,00
Volumen medio	33,0	28,9	2,3	14,6	17,2	19,6	0,0	34,1	32,3	36,0	25,1	20,8	24,1	

Tabla nº 8. Percentil 15 para años secos en la Laguna de la Caldera.

Años medios (Dm ³)													
Mes	80/81	82/83	85/86	90/91	98/99	00/01	01/02	05/06	06/07	08/09	14/15	16/17	P15
Oct	39,0	13,0	38,1	0,0	48,6	46,7	24,9	44,6	41,7	31,8	31,0	38,0	20,73
Nov	42,0	71,0	40,7	5,8	48,4	46,3	21,4	41,8	39,9	33,8	30,2	40,9	27,12
Dic	42,1	68,2	41,1	10,9	47,3	47,2	25,4	40,1	40,1	34,4	29,3	41,1	27,92
Ene	41,8	64,3	42,8	11,9	44,4	48,0	26,7	39,3	42,7	34,6	28,9	42,2	28,16
Feb	41,4	61,7	46,1	78,2	43,4	48,5	26,9	39,0	44,1	35,5	33,1	43,5	34,65
Mar	53,6	61,3	46,8	73,4	67,1	61,1	78,2	40,9	45,0	35,6	34,2	40,8	38,97
Abr	48,4	56,7	46,9	69,6	59,7	50,9	66,8	48,4	74,8	36,8	34,1	67,9	43,34
May	40,4	47,5	78,2	71,8	50,2	42,6	57,8	54,2	61,3	71,0	78,2	53,6	45,76
Jun	31,2	40,9	61,3	61,4	40,0	34,9	49,9	39,1	53,7	57,6	63,9	45,7	37,61
Jul	24,2	36,1	53,4	54,5	35,2	30,8	44,9	34,7	49,2	53,3	59,7	41,3	33,34
Ago	21,0	33,0	50,5	51,8	32,6	27,9	42,0	31,5	45,0	47,9	55,3	37,7	30,24
Sep	14,3	31,3	44,0	44,3	24,6	19,9	33,9	24,6	36,9	39,6	47,3	31,1	22,97
Volumen medio	36,6	48,8	49,2	44,5	45,1	42,1	41,6	39,8	47,9	42,7	43,8	43,7	

Tabla nº 9. Percentil 15 para años medios en la Laguna de la Caldera.

Años húmedos (Dm ³)														
Mes	83/84	84/85	86/87	96/97	97/98	02/03	03/04	04/05	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	P15
Oct	30,3	52,0	50,0	34,2	38,1	21,4	78,2	59,8	41,6	44,2	46,3	68,7	52,6	33,43
Nov	78,2	78,2	45,4	78,2	38,0	65,2	77,1	59,6	41,2	44,8	51,4	72,6	52,3	44,11
Dic	78,2	75,2	41,4	78,2	42,5	64,2	76,6	61,4	57,4	53,2	51,1	69,7	54,1	49,43
Ene	73,7	73,9	46,4	78,2	43,2	62,0	73,2	61,1	61,0	54,4	51,3	70,1	55,0	50,30
Feb	68,8	78,2	47,8	78,2	46,8	61,0	75,6	63,9	68,5	55,6	51,3	71,2	56,2	50,58
Mar	69,1	73,4	78,2	78,2	78,2	61,9	77,3	65,2	71,3	57,5	51,4	74,6	56,4	57,29
Abr	74,1	67,1	65,1	71,2	70,0	66,6	78,2	78,2	78,2	78,2	52,2	74,5	77,3	66,33
May	75,0	56,7	59,1	58,8	78,2	78,2	78,2	64,3	78,2	74,6	75,1	78,2	64,1	59,03
Jun	62,1	49,9	51,3	49,8	63,3	63,9	78,2	56,5	71,4	61,9	62,1	78,2	56,2	51,03
Jul	57,5	46,0	45,3	46,2	59,4	59,8	68,8	52,2	62,7	57,8	57,8	67,5	52,0	46,15
Ago	54,3	43,4	34,3	40,9	55,4	56,7	65,8	48,0	57,5	54,8	54,6	62,8	49,0	42,86
Sep	52,8	39,6	27,5	41,3	47,4	52,2	64,3	46,7	49,0	53,5	47,2	54,7	44,2	40,95
Volumen medio	64,5	61,1	49,3	61,1	55,0	59,4	74,3	59,7	61,5	57,5	54,3	70,2	55,8	

Tabla nº 10. Percentil 15 para años húmedos en la Laguna de la Caldera.

Con los datos hidrológicos disponibles y los criterios de cálculo justificados anteriormente, la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna de la Caldera mediante una aproximación hidrológica se recoge en la Tabla nº 11.

Mes	Año (Dm ³)		
	Secos	Medios	Húmedos
Oct	2,82	20,73	33,43
Nov	3,01	27,12	44,11
Dic	5,53	27,92	49,43
Ene	5,70	28,16	50,30
Feb	7,00	34,65	50,58
Mar	10,21	38,97	57,29
Abr	13,85	43,34	66,33
May	15,47	45,76	59,03
Jun	5,85	37,61	51,03
Jul	1,64	33,34	46,15
Ago	0,00	30,24	42,86
Sep	0,00	22,97	40,95

Tabla nº 11. Propuesta de necesidades hídricas para la Laguna de la Caldera.

8.3 DISCUSIÓN Y SELECCIÓN DE PROPUESTA DE NECESIDADES HÍDRICAS

En la aproximación hidrológica abordada en este estudio se ha considerado el régimen de inundación como elemento clave que refleja adecuadamente los aspectos funcionales y estructurales del ecosistema, se han caracterizado los mismos mediante percentiles y a partir de una serie hidrológica en régimen natural. La serie hidrológica ha sido obtenida con el modelo SIMPA (CEDEX, 2019) para el periodo 1980-2018, en el que se recoge una alternancia entre años secos y años húmedos.

No se ha llevado a cabo una aproximación desde modelos hidrobiológicos debido a que la Laguna de la Caldera funciona en régimen natural y no se identifican especies de vegetación que permitan llevar a cabo la aproximación requerida. Existen hábitats de interés comunitario, pero principalmente se encuentran definidos por cuestiones fisiográficas y fisionómicas, determinados por las características del medio físico, en los que las comunidades y especies vegetales dan idea únicamente del estado de conservación del mismo.

La aproximación hidrológica llevada a cabo supone unos valores medios para los años húmedos, secos y medios que se muestran en la Tabla nº 12.

Año	Variable	Mes											
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Secos	Volumen (Dm ³)	2,82	3,01	5,53	5,70	7,00	10,21	13,85	15,47	5,85	1,64	0,00	0,00
	Superficie (ha)	0,41	0,42	0,51	0,51	0,55	0,66	0,77	0,82	0,52	0,37	0,32	0,32
	Profundidad (m)	0,54	0,57	0,94	0,97	1,15	1,60	2,09	2,30	0,99	0,36	0,10	0,10
Medios	Volumen (Dm ³)	20,73	27,12	27,92	28,16	34,65	38,97	43,34	45,76	37,61	33,34	30,24	22,97
	Superficie (ha)	0,97	1,13	1,15	1,16	1,31	1,40	1,48	1,52	1,37	1,28	1,21	1,03
	Profundidad (m)	2,94	3,65	3,73	3,76	4,39	4,77	5,12	5,30	4,66	4,27	3,97	3,20
Húmedos	Volumen (Dm ³)	33,43	44,11	49,43	50,30	50,58	57,29	66,33	59,03	51,03	46,15	42,86	40,95
	Superficie (ha)	1,28	1,49	1,58	1,60	1,60	1,69	1,79	1,71	1,61	1,53	1,47	1,43
	Profundidad (m)	4,28	5,18	5,56	5,61	5,63	6,02	6,43	6,11	5,66	5,33	5,09	4,94

Tabla nº 12. Valores medios para la propuesta de necesidades hídricas para la Laguna de la Caldera.



9 RECOMENDACIONES DE CARA A LA GESTIÓN

La Laguna de la Caldera constituye un humedal que se encuentra en muy buen estado de conservación, sobre el cual no se ha identificado ningún tipo de presión o impacto significativo que afecte al mismo. Dada su ubicación, la laguna ha venido funcionando en régimen natural.

Es por ello por lo que se debería mantener esta situación de régimen natural en el tiempo, donde las recomendaciones más destacadas son entre otras:

- a) Mantener un control sobre la calidad de las aguas de la laguna.
- b) Dada su ubicación y sus características, se debería controlar la evolución de los niveles de la laguna, lo cual serviría para seguir con la mejora del modelo SIMPA, principalmente en lo que se refiere a las aportaciones de precipitación en forma de nieve.



10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bartolomé, C. et al. (2005). Los tipos de hábitat de interés comunitario de España: guía básica. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General para la Biodiversidad.

Blanca, G., B. Cabezudo, J. E. Hernández-Bermejo, C. M. Herrera, J. Muñoz y B. Valdés. (2000). Libro Rojo de la Flora Silvestre Amenazada de Andalucía. TOMO II: Especies Vulnerables. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Casado, S. y Montes, C. (1995). Guía de los Lagos y Humedales Españoles. J.M. Reyero eds.; Madrid.

Carrillo, P., Medina-Sánchez, J.M., Villar-Argaiz, M., Delgado-Molina, J.A. and Bullejos, F.J. (2006). Complex interactions in microbial food webs: Stoichiometric and functional approaches *Limnetica*, 25(1-2): 189-204.

CEDEX. (2019). Aplicación en las cuencas hidrográficas españolas del modelo SIMPA para la obtención de series en régimen hidrológico natural para el periodo 1940-2018. Datos disponibles en web.

Comisión Europea. (2003). Interpretation manual of European Union habitats. EUR25. 128 pp. D.G. Environment, Nature and Biodiversity.

Estrela, T. y L. Quintas. (1996). El sistema integrado de modelización precipitación-aportación SIMPA. *Revista de Ingeniería Civil*, nº 104. CEDEX-Ministerio de Fomento.

García Viñas, J. I., J. A. Mintegui y J. C. Robredo. (2005). La vegetación en la marisma del Parque Nacional de Doñana en relación a su régimen hidráulico. *Naturaleza y Parques Nacionales. Serie Técnica*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente.

Gómez Ortiz, A., Palacios, D., Palade, B., Vázquez Selem, L., Franch, F., Tanarro García, L. y Oliva Franganillo, M. (2013). La evolución glaciaria de Sierra Nevada y la formación de glaciares rocosos. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. Nº 61, pp. 139-162. I.S.S.N.: 0212-9426.

IGN. (2014). LiDAR (1ª Cobertura realizada por el IGN, PNOA-2014).

Junta de Andalucía. (2005a). Definición del Contexto Hidrogeológico de Humedales Andaluces. Tomo II: Humedales de Málaga.

Junta de Andalucía. (2005b). Caracterización Ambiental de Humedales en Andalucía. Consejería de Medio Ambiente.

Junta de Andalucía. (2020). Caracterización Ambiental de Humedales en Andalucía.

Junta de Andalucía. (2012). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas 2009-2015.

Junta de Andalucía. (2016). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas 2015-2021.

Keddy, P. (2002). Wetland Ecology: Principles and Conservation. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, xiv 1614 p.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010). Ficha Informativa Humedal Ramsar.

MMA. (2000). Libro blanco del agua en España. Secretaría de Estado de Aguas y Costas, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid: 1-637.

Moreira, J.M. y Montes, C. (2005). Caracterización Ambiental de Humedales en Andalucía. Junta de Andalucía. 511 pp. Madrid.

Observatorio Cambio Global Sierra Nevada. Lagunas de Sierra Nevada. Página web. <https://lagunasdesierranevada.es/>

Paracuellos, M. (2005). Los humedales como islas de agua en un mar de tierra: La biogeografía y ecología insulares, una vez al servicio de la conservación. En: Contrastes naturales en la región bioclimática del Mediterráneo. (Eds. Ballesteros GA. & R. Pérez), pp. 175-189.

Pardo, L. (1948). Catálogo de los Lagos de España. Biología de las Aguas Continentales. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 522 pp. Madrid.

Reques Rodríguez, R. (2003). Conservación de la Biodiversidad en los Humedales de Andalucía. Junta de Andalucía. 323 pp. Sevilla.

Ruiz, J.M. (1998). Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual-distribuido de simulación continua integrado en un sistema de información geográfica. Tesis Doctoral presentada en la Universidad Politécnica de Valencia.

Sánchez, R. y Viñals, M.J. (2012). Manual para la determinación de las necesidades hídricas de los humedales. El contexto español. MAGRAMA.

Témez, J. R. (1977). Modelo matemático de transformación precipitación-aportación. ASINEL, 1977.

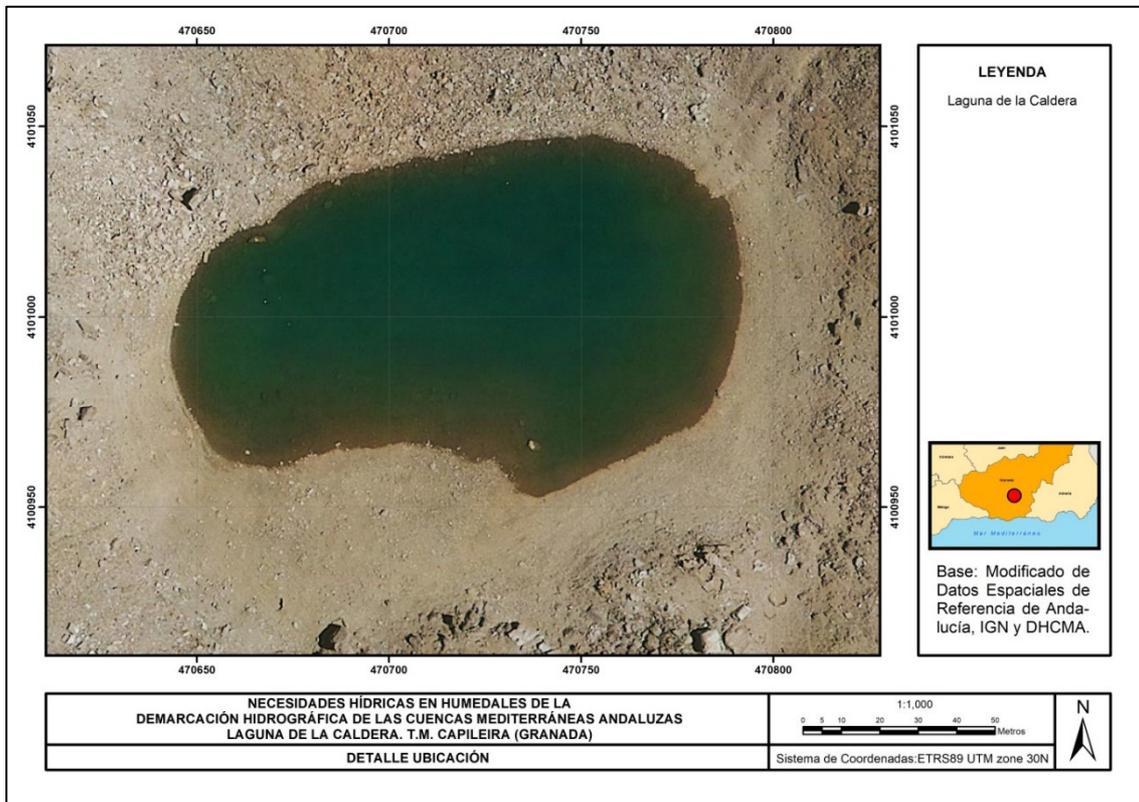
Villalobos Megía, M. (2006). Geodiversidad y Patrimonio Geológico de Andalucía. Itinerario Geológico por Andalucía. Guía didáctica de campo. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

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

WWF España. (2009). Caudales ecológicos de la marisma del Parque Nacional de Doñana y su área de influencia. 69 pp. Informe técnico.

11 ANEJO FOTOGRÁFICO



Detalle de ubicación de la Laguna de la Caldera.

Para más información se puede visitar el Observatorio de Cambio Global Sierra Nevada. Lagunas de Sierra Nevada, en el que se recoge una recopilación fotográfica de la Laguna de la Caldera en diferentes épocas. <https://lagunasdesierranevada.es/laguna-de-la-caldera/>

