

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.	Balace 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.

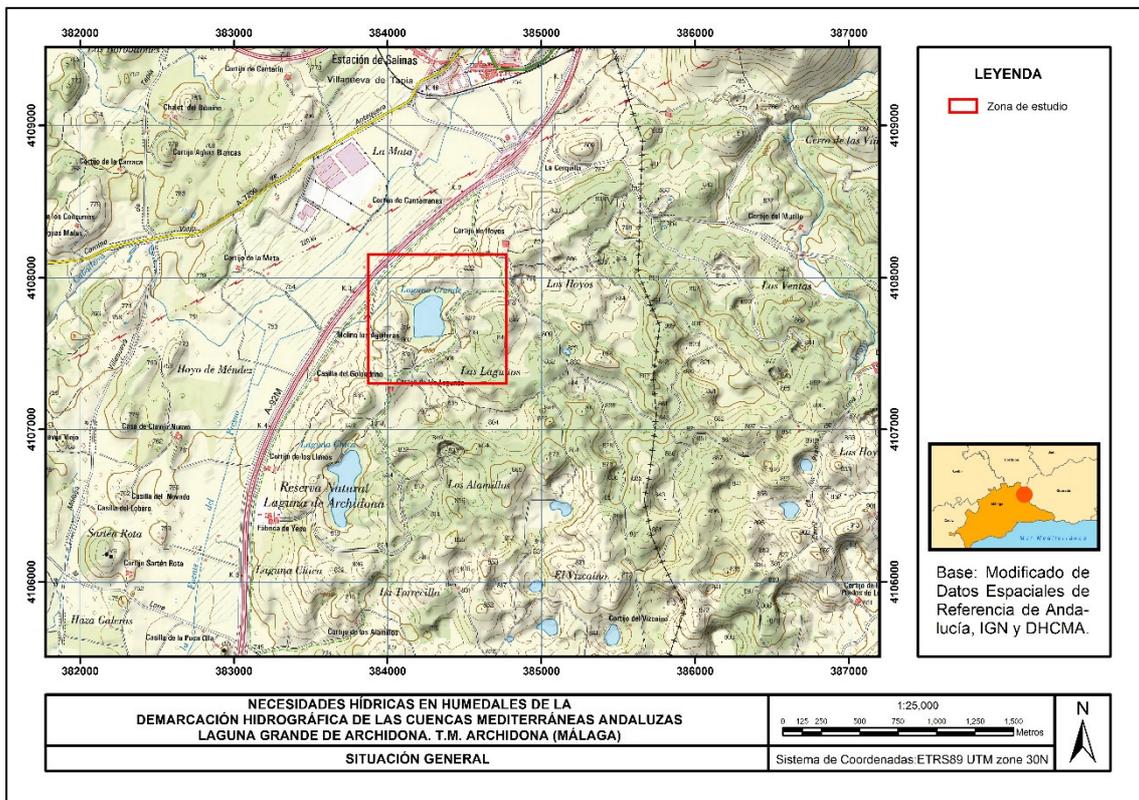


Figura nº 1. Situación general de la Laguna Grande de Archidona.

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).

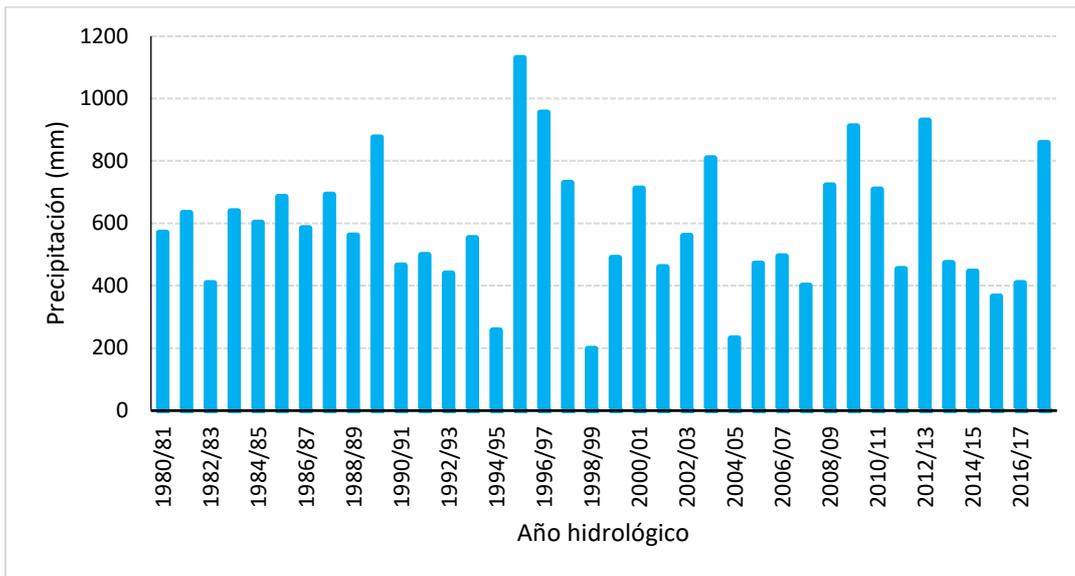


Figura nº 2. Evolución de la precipitación, periodo 1980-2018.

- 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).

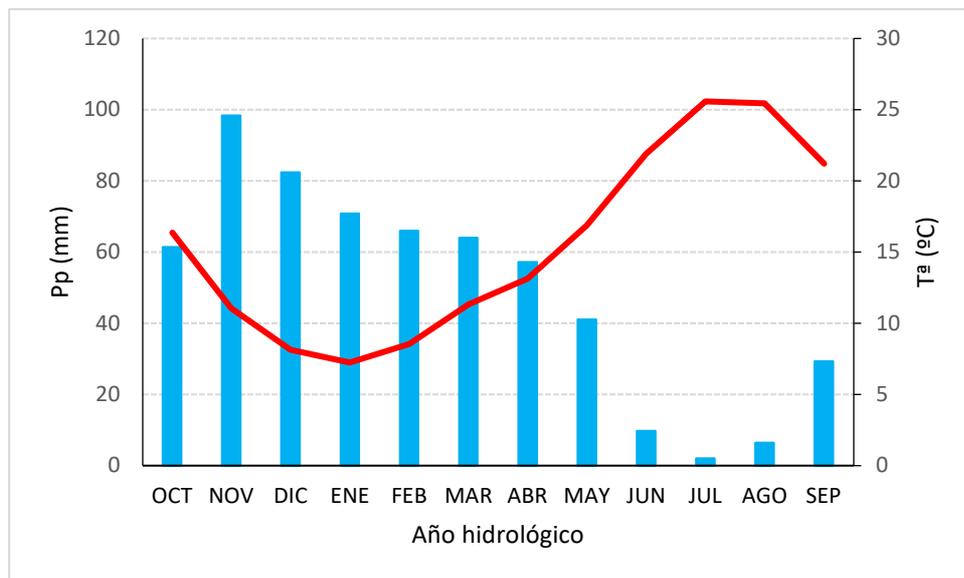


Figura nº 3. Climograma de la zona de estudio, periodo 1980-2018.

- 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).

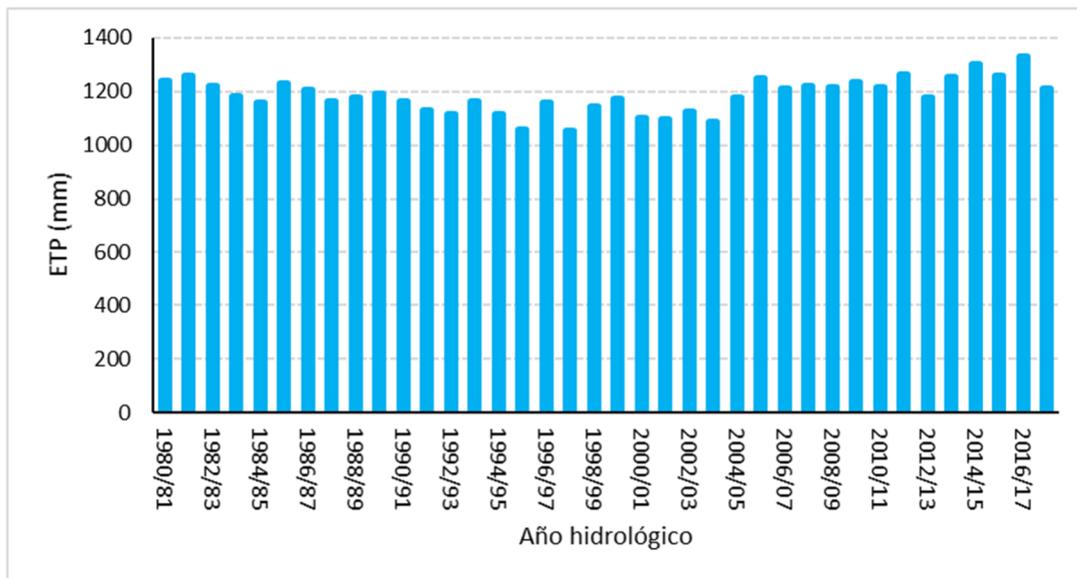


Figura nº 4. Evolución de la ETP, periodo 1980-2018.

- 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.

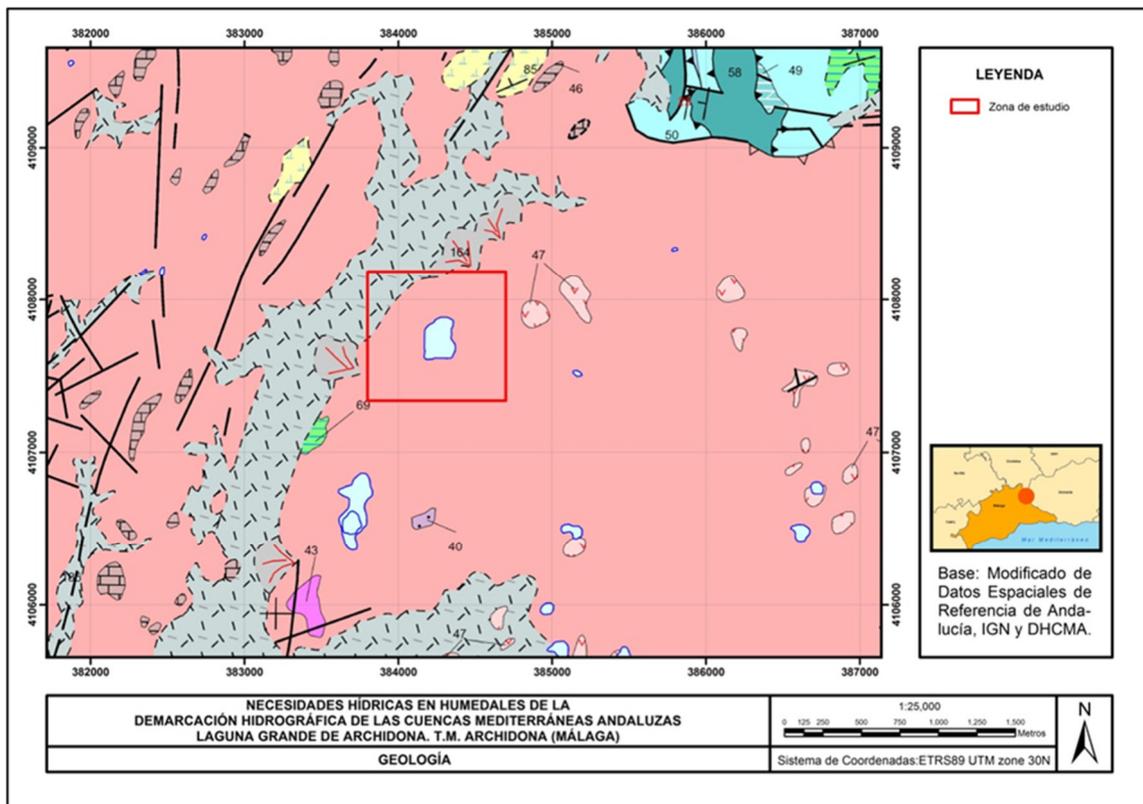


Figura nº 5. Geología de la zona de estudio.

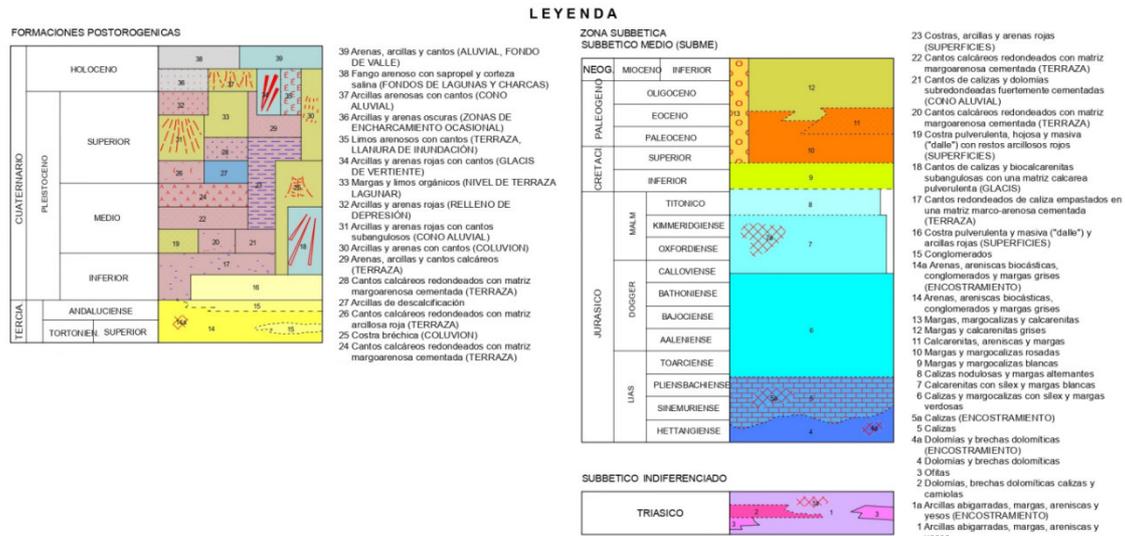


Figura nº 6. Leyenda geológica de la zona de estudio.

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.

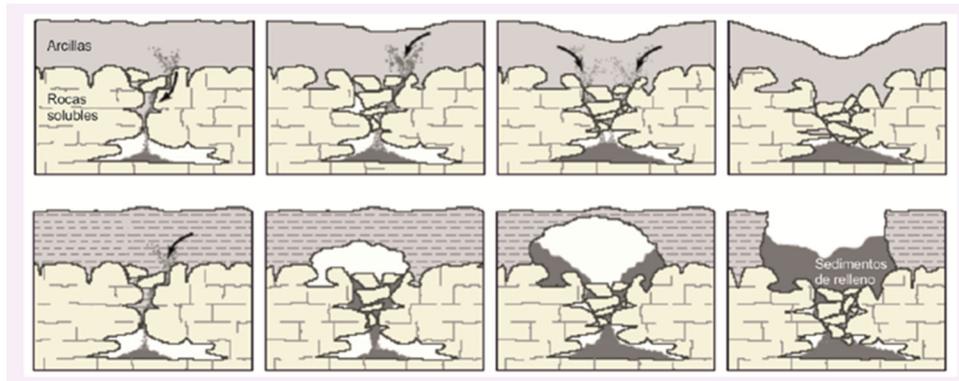


Figura nº 7. Génesis de una dolina mayoritariamente por disolución (arriba) y por colapso (abajo) de la roca suprayacente a una cavidad cercana a la superficie. Modificado del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

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.

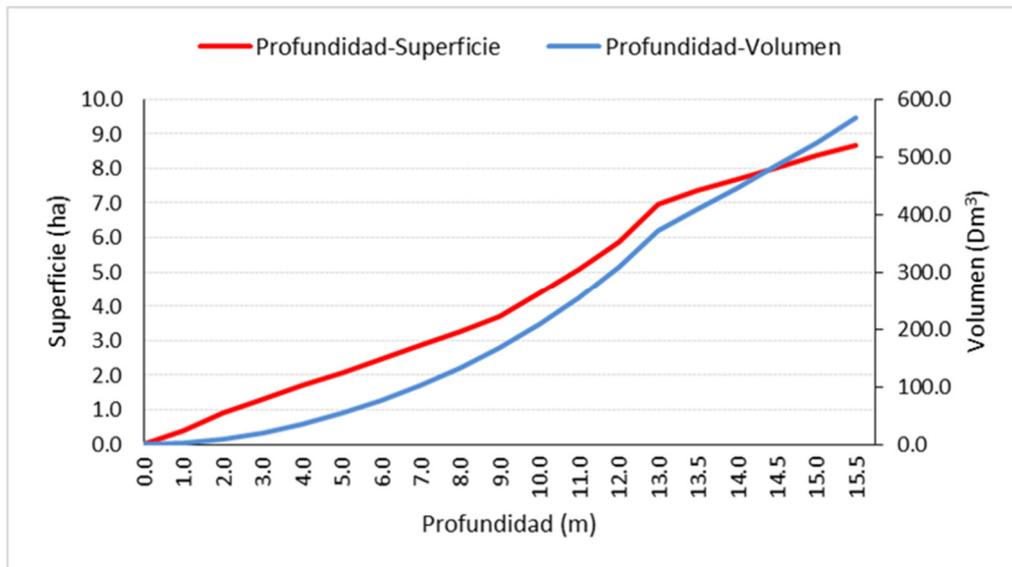


Figura nº 8. Relación superficie-volumen.

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.

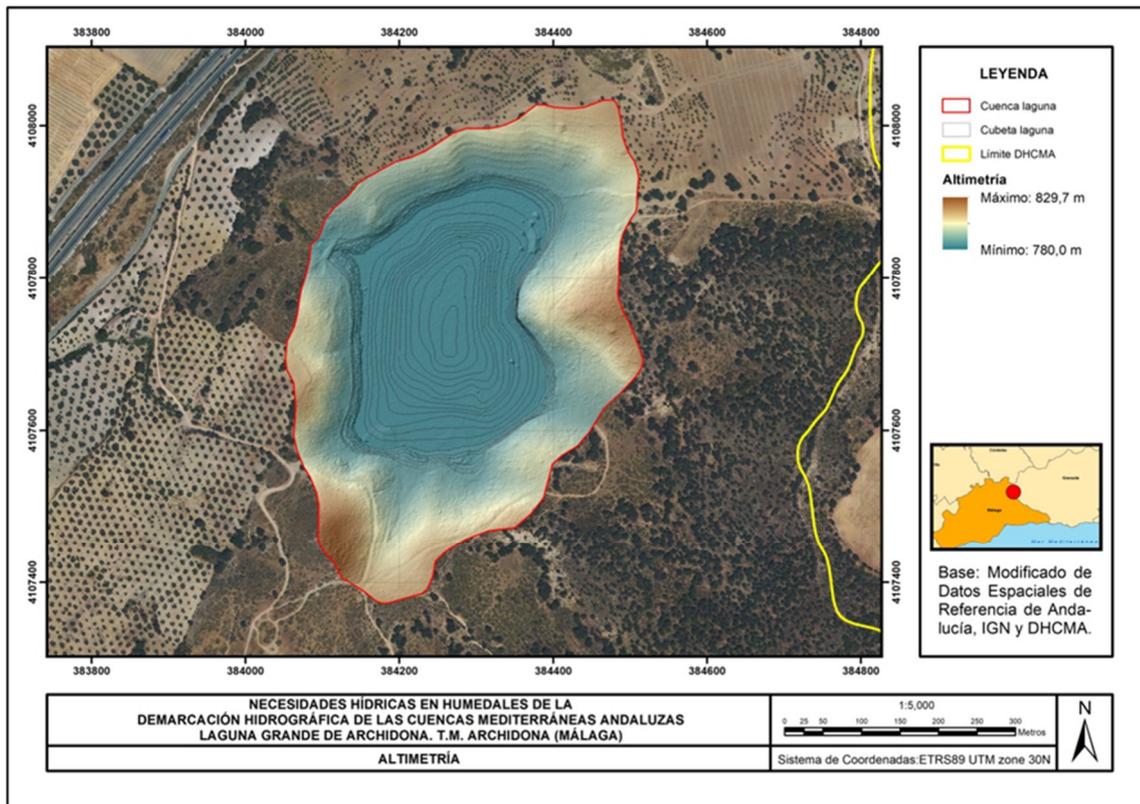


Figura nº 9. Altimetría en la cuenca de la Laguna Grande.

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.

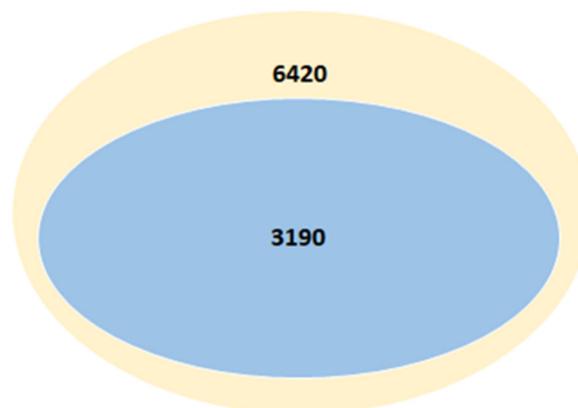


Figura nº 11. Tipos de HIC en el entorno de la laguna.

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.

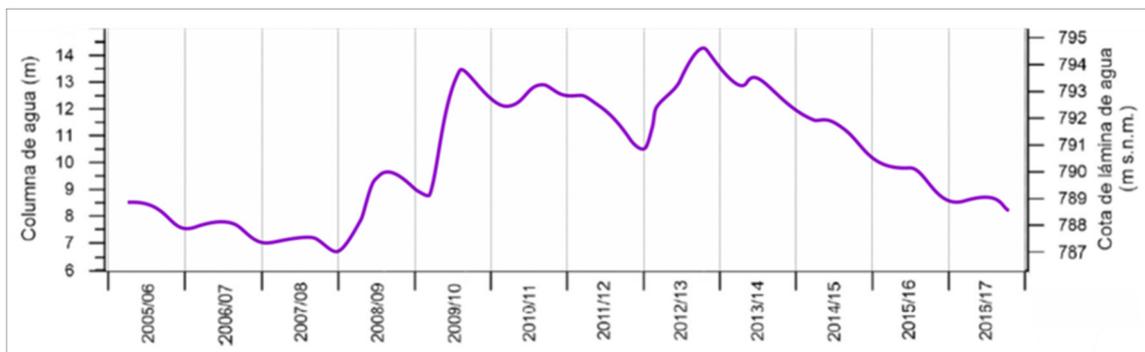


Figura nº 13. Evolución limnimétrica de la laguna Grande (modificado de Gil Márquez, 2018).

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).

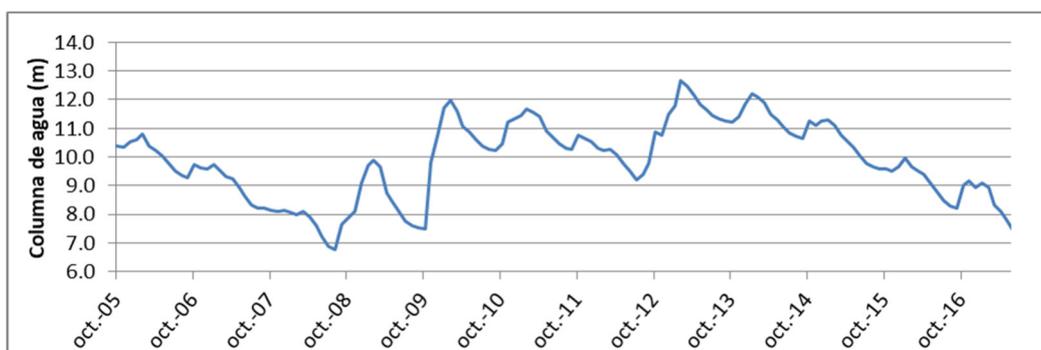


Figura nº 14. Evolución limnimétrica de la laguna Grande (modelo SIMPA elaborado).

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.

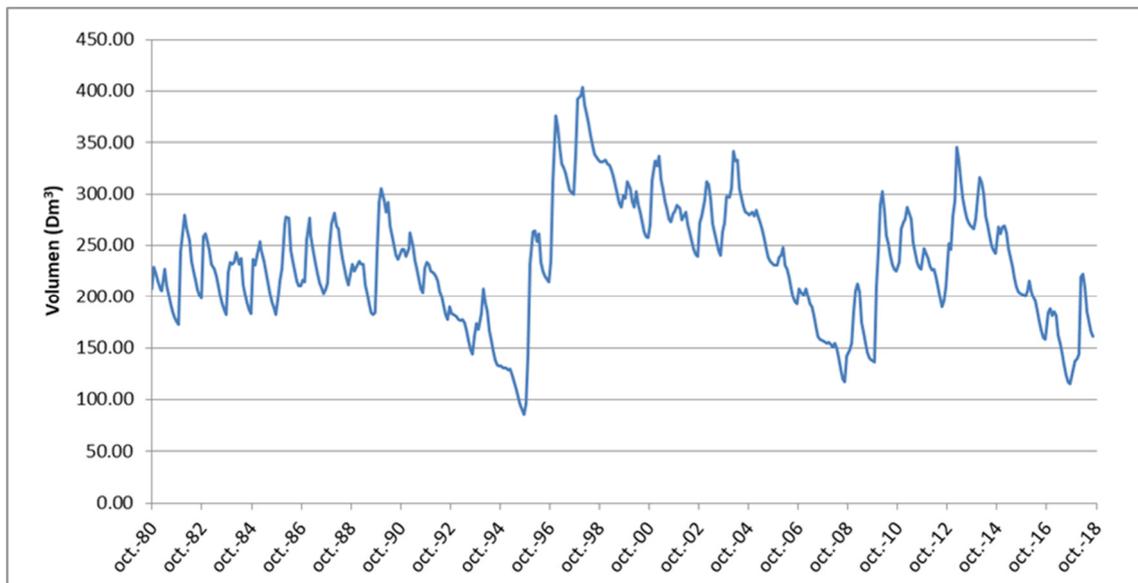


Figura nº 15. Evolución de niveles simulados para la Laguna Grande (oct1980-sep2018).

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).

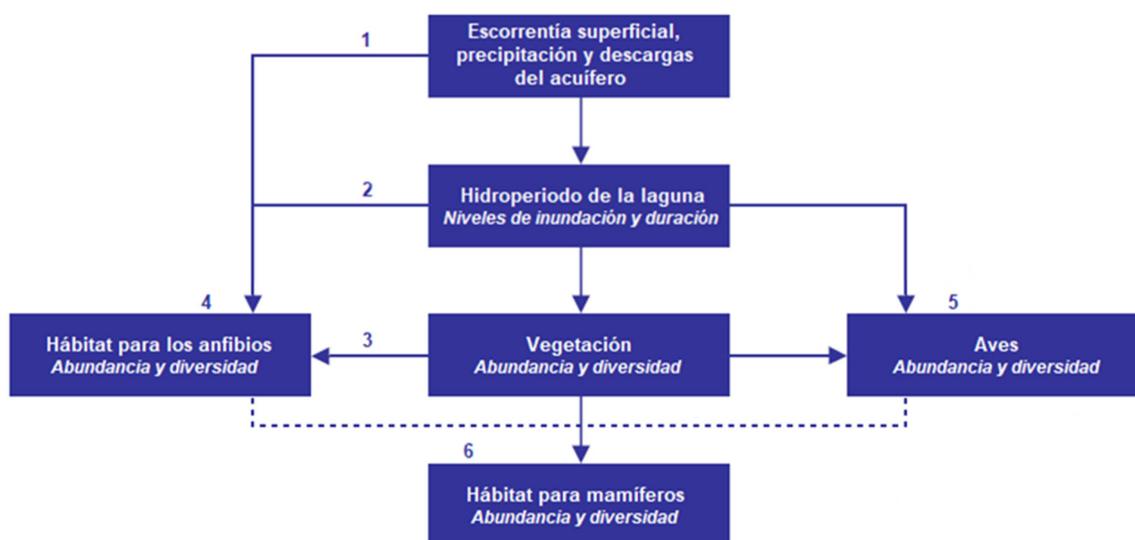


Figura nº 16. Marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y diversos componentes bióticos del ecosistema.

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.

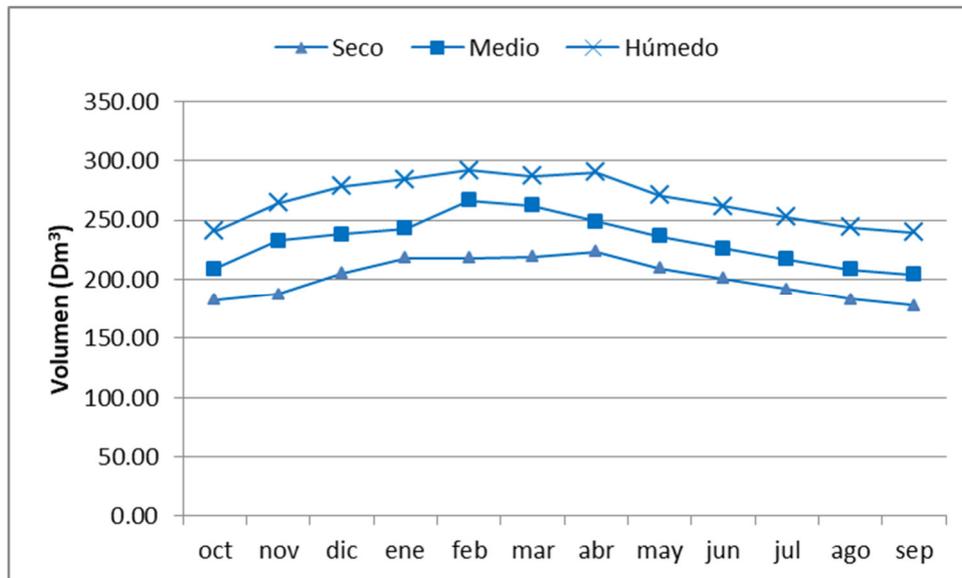


Figura nº 17. Hidroperiodo típico.

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.

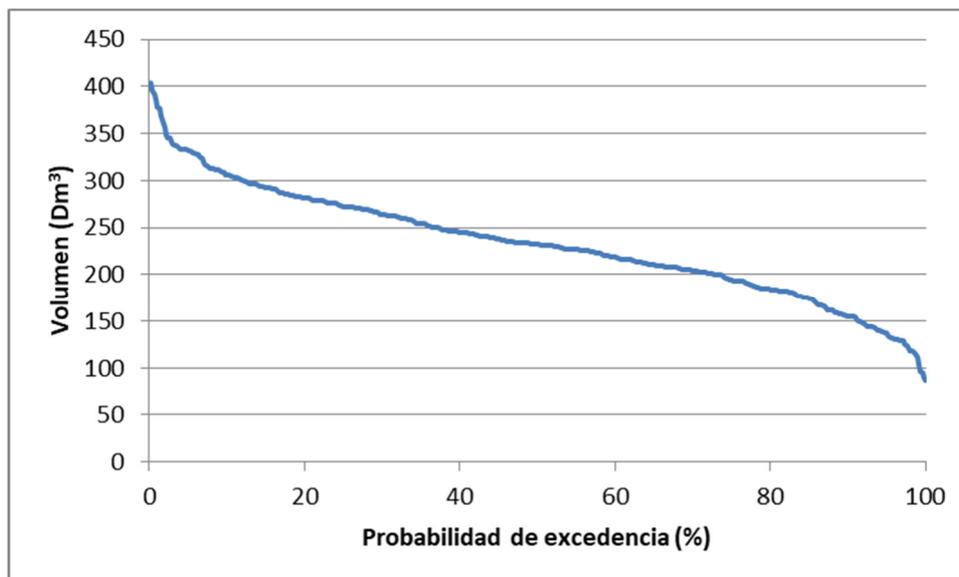


Figura nº 18. Distribución de volúmenes.

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.

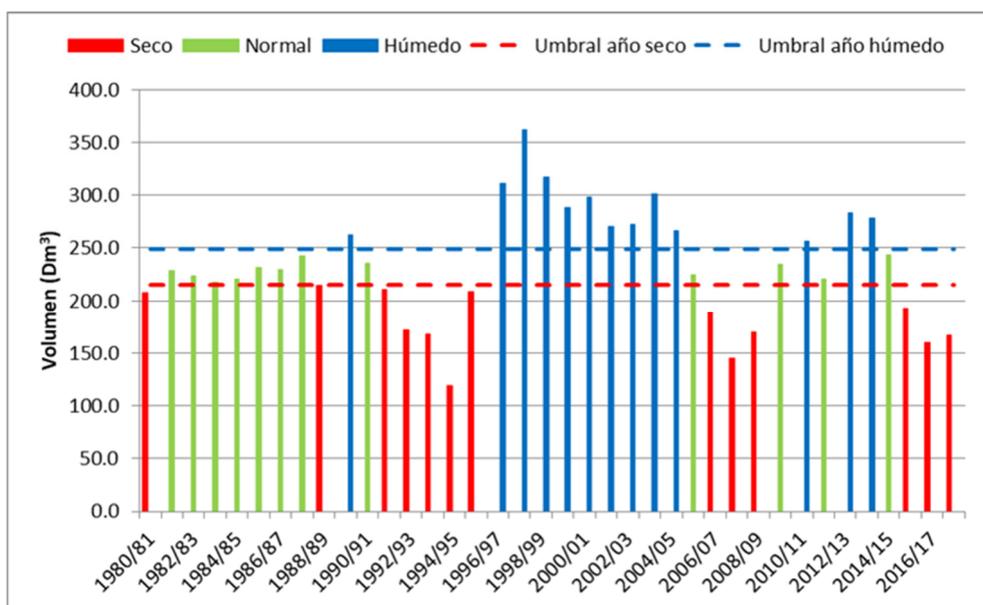


Figura nº 19. Volumen en la laguna. Periodo 1980-2018.

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.

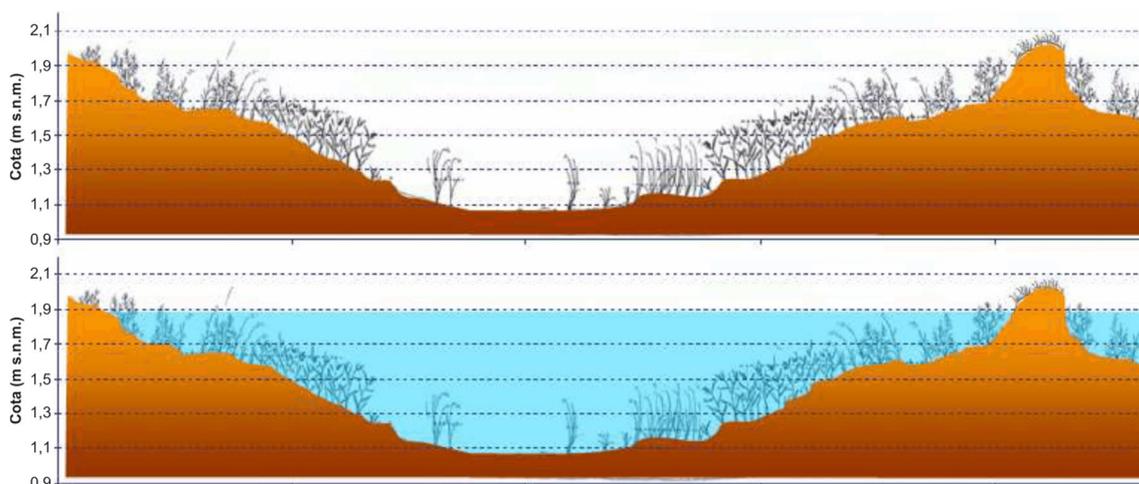


Figura nº 20. Modelo asociaciones vegetales según régimen hidráulico de inundación.

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.

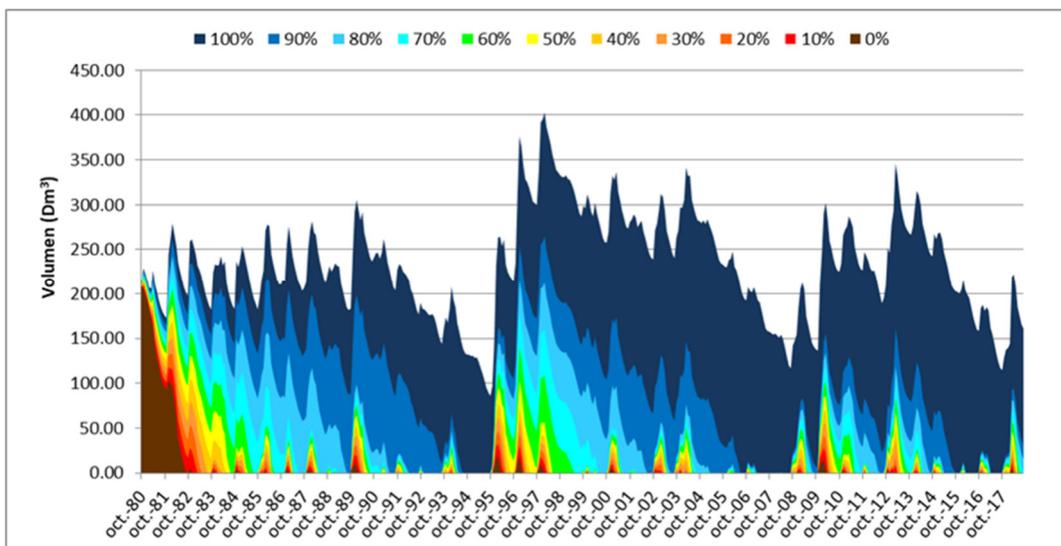


Figura nº 21. Formulación de escenarios mediante reducción progresiva del 10%.

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.

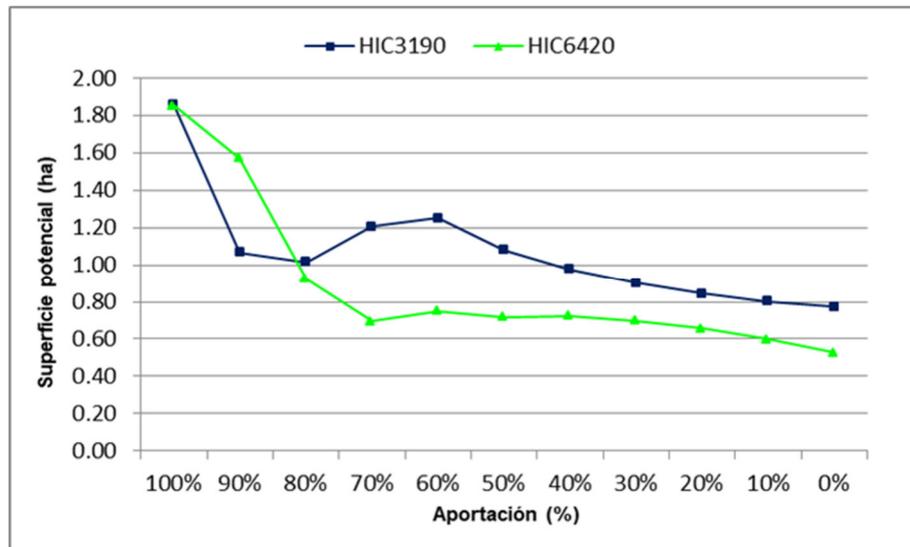


Figura nº 22. Evolución de la superficie de los HIC según aportaciones.

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.

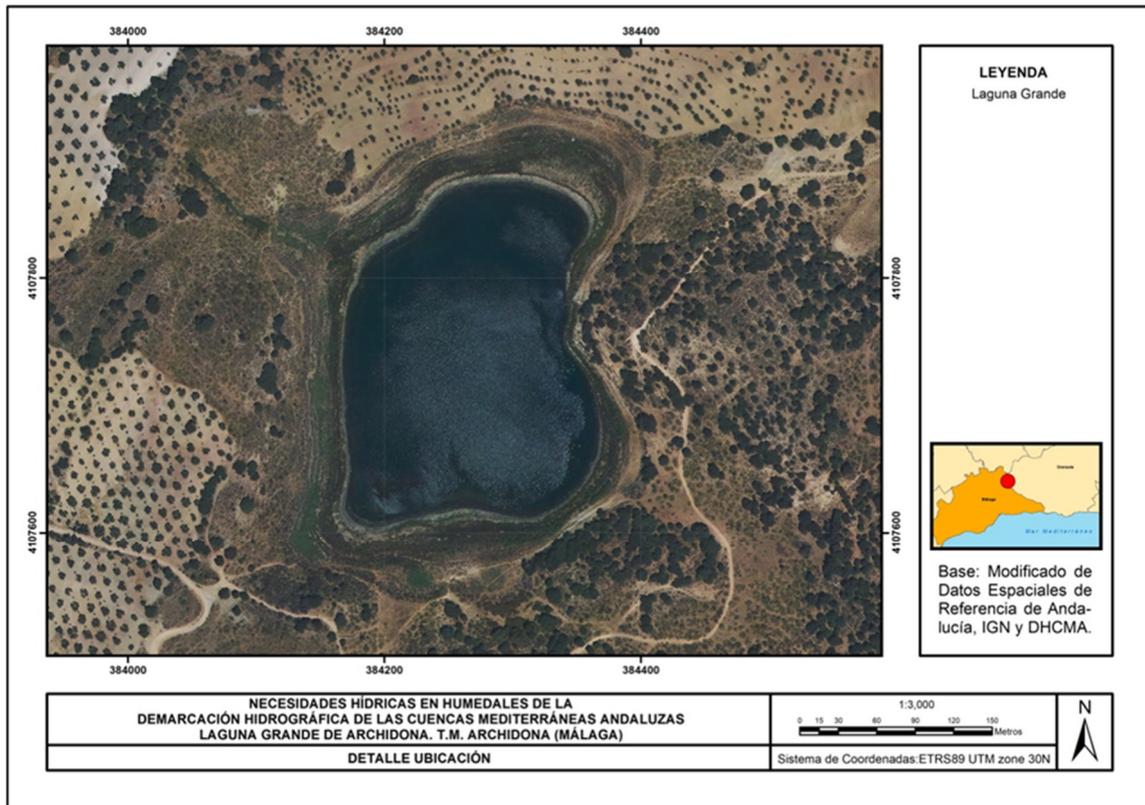
Villalobos Megía, M. (2006). Geodiversidad y Patrimonio Geológico de Andalucía. Itinerario Geológico por Andalucía. Guía didáctica de campo. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

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.

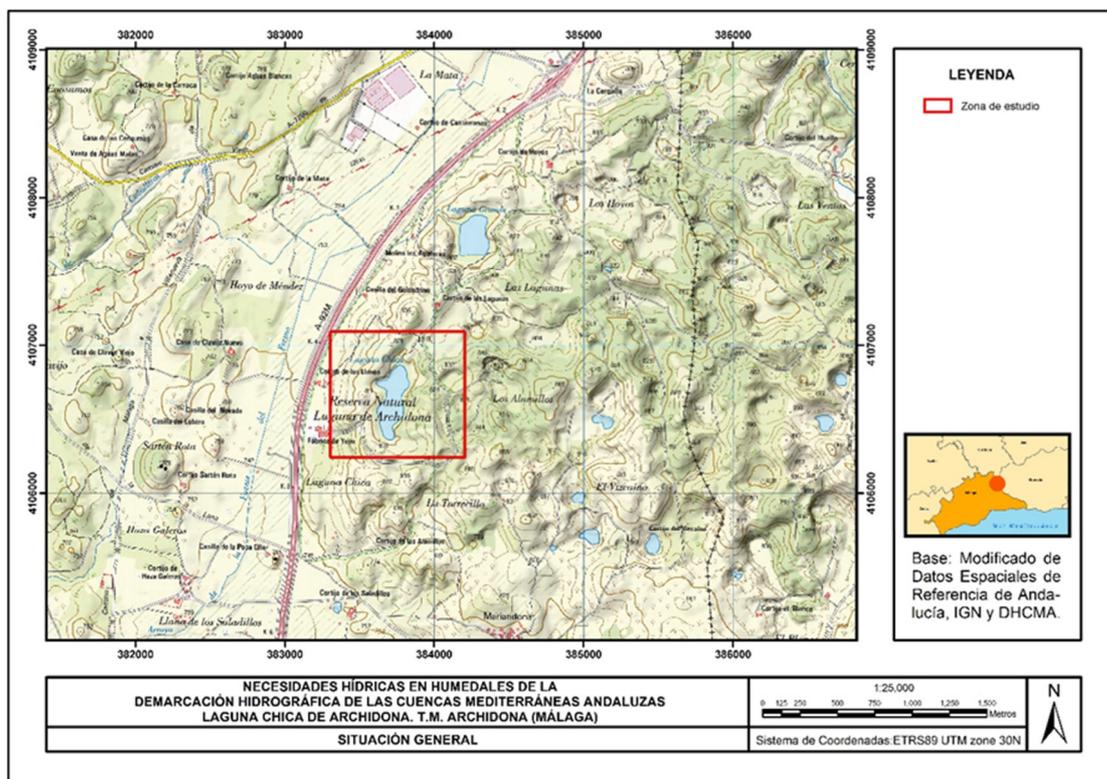


Figura nº 1. Situación general de la Laguna Chica de Archidona.

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 hidropериодо 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).

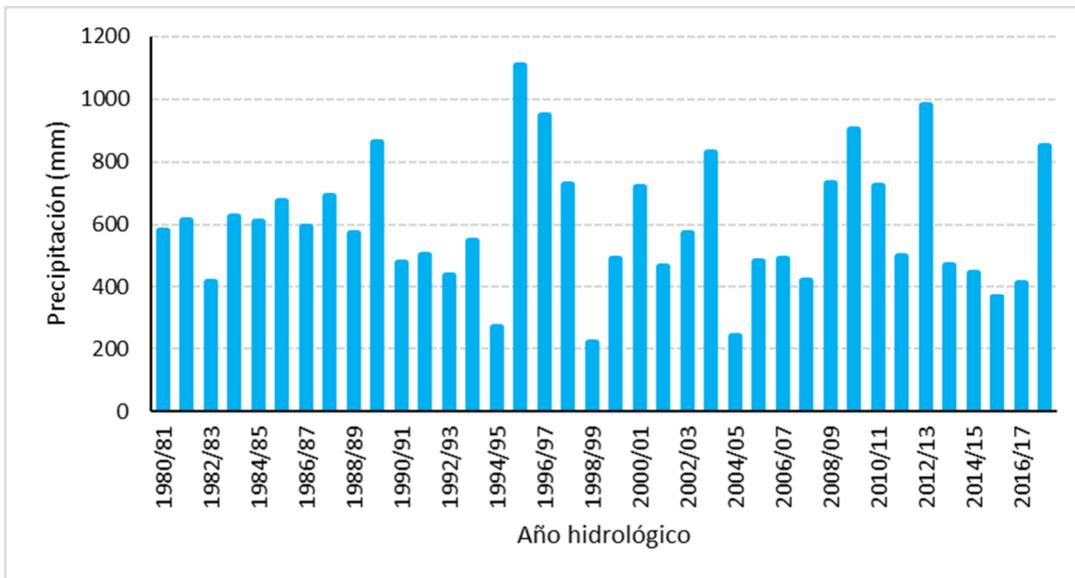


Figura nº 2. Evolución de la precipitación, periodo 1980-2018.

- 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).

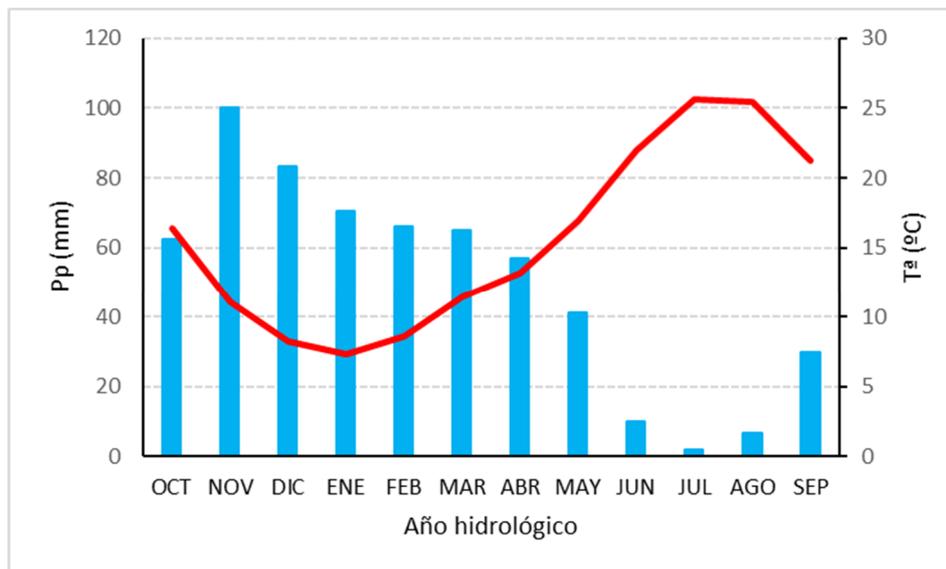


Figura nº 3. Climograma de la zona de estudio, periodo 1980-2018.

- 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).

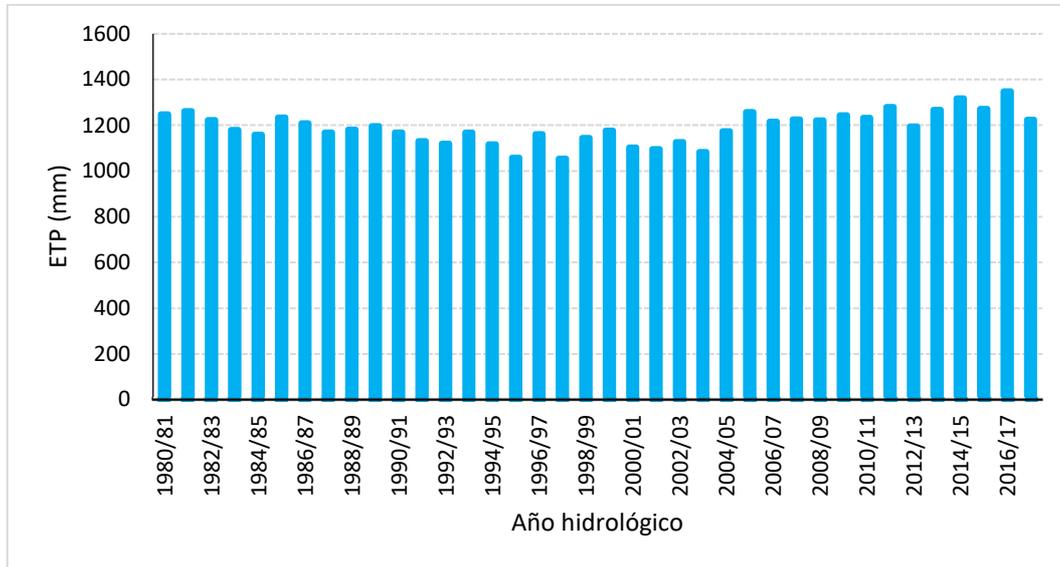


Figura nº 4. Evolución de la ETP, periodo 1980-2018.

- 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.

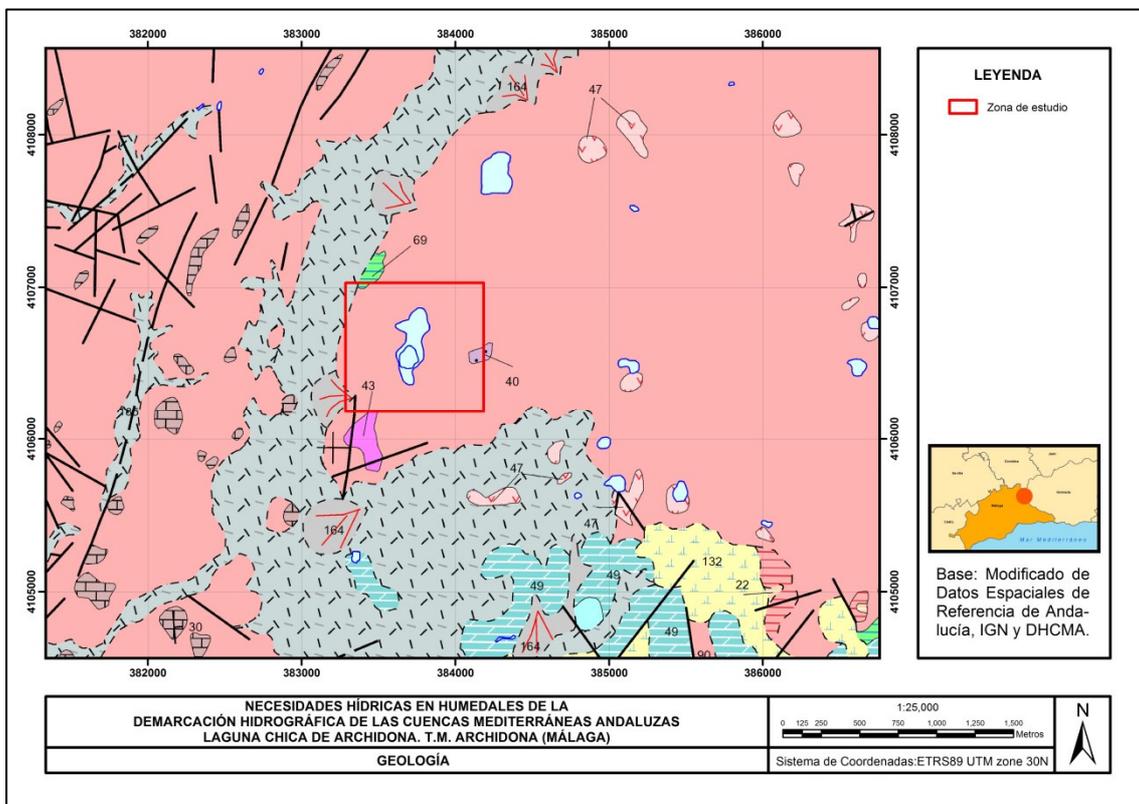


Figura nº 5. Geología de la zona de estudio.

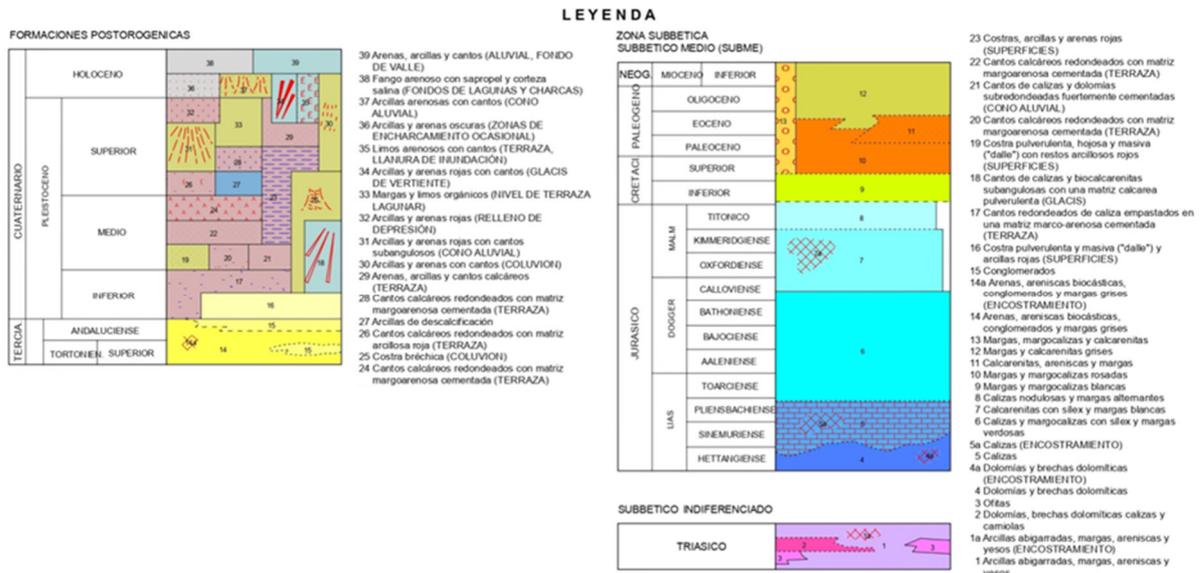


Figura nº 6. Leyenda geológica de la zona de estudio.

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.

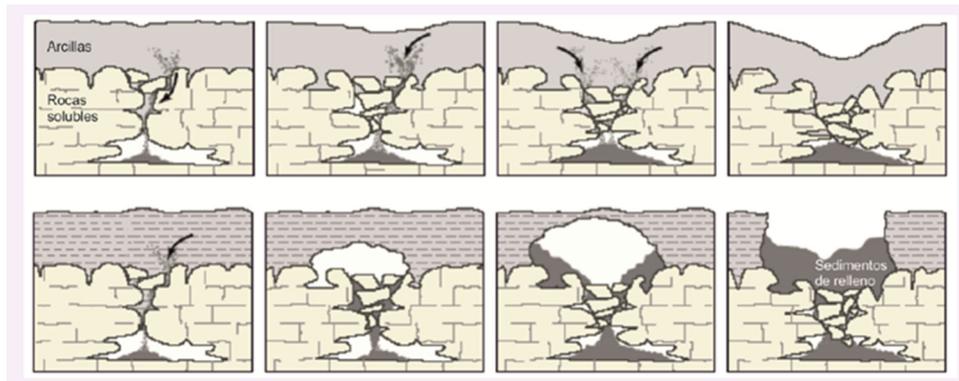


Figura nº 7. Génesis de una dolina mayoritariamente por disolución (arriba) y por colapso (abajo) de la roca suprayacente a una cavidad cercana a la superficie. Modificado del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

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.

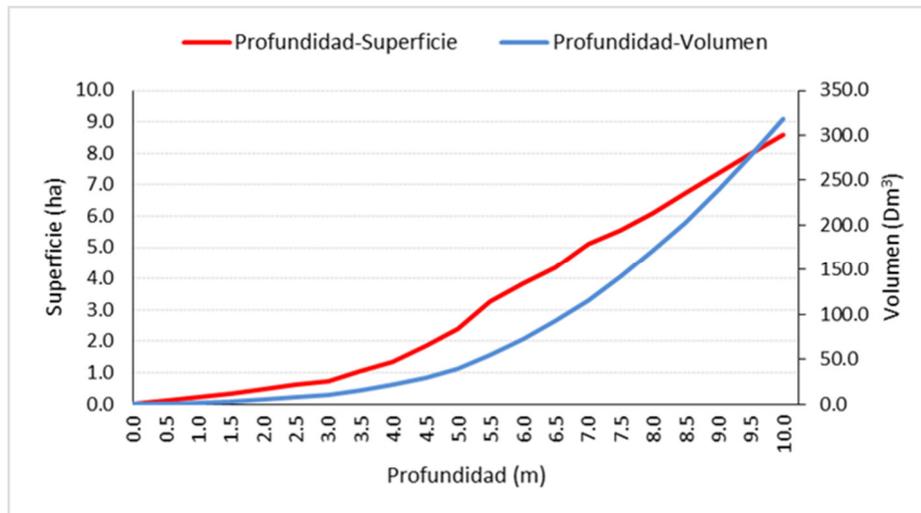


Figura nº 8. Relación superficie-volumen.

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.

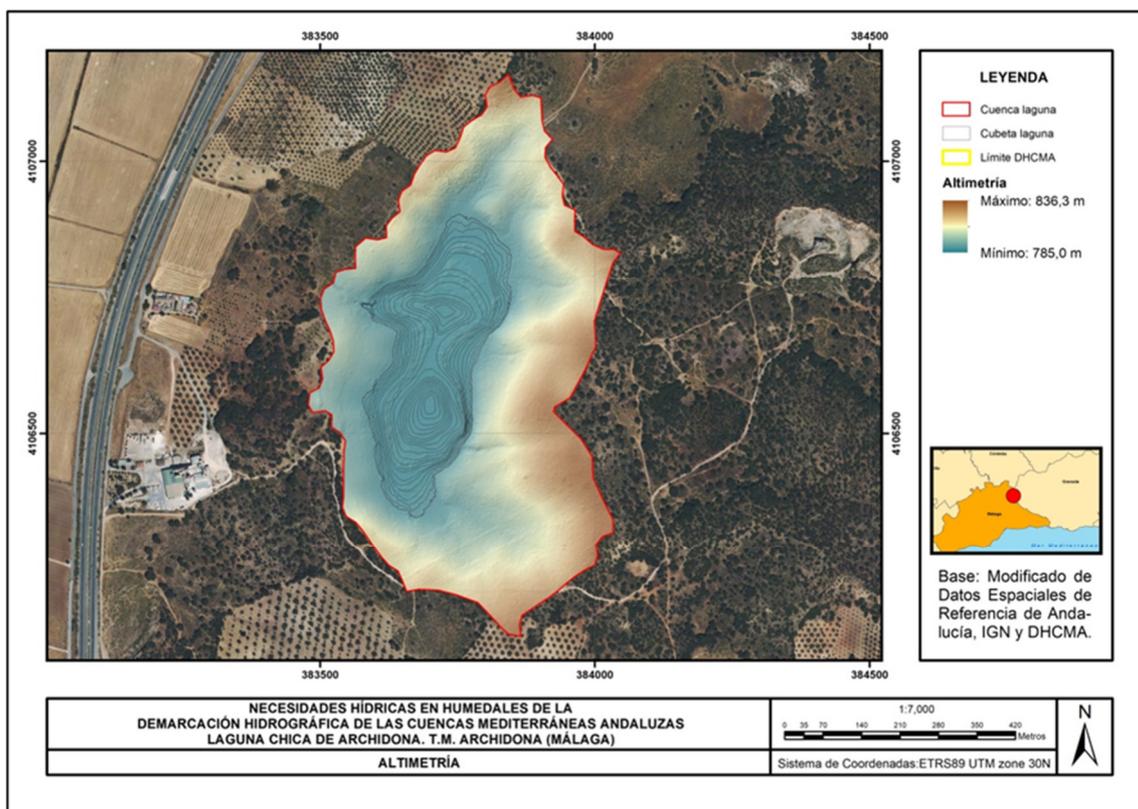


Figura nº 9. Altimetría en la cuenca de la Laguna Chica.

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).



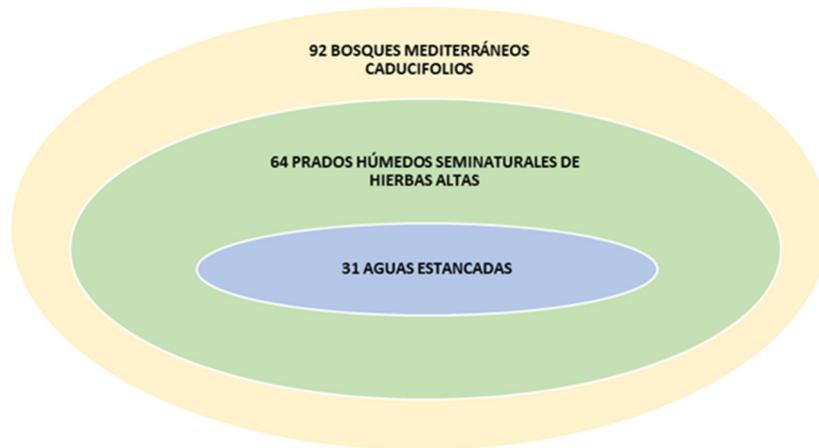


Figura nº 10. Tipo de grupo de HIC en el entorno de la laguna.

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.

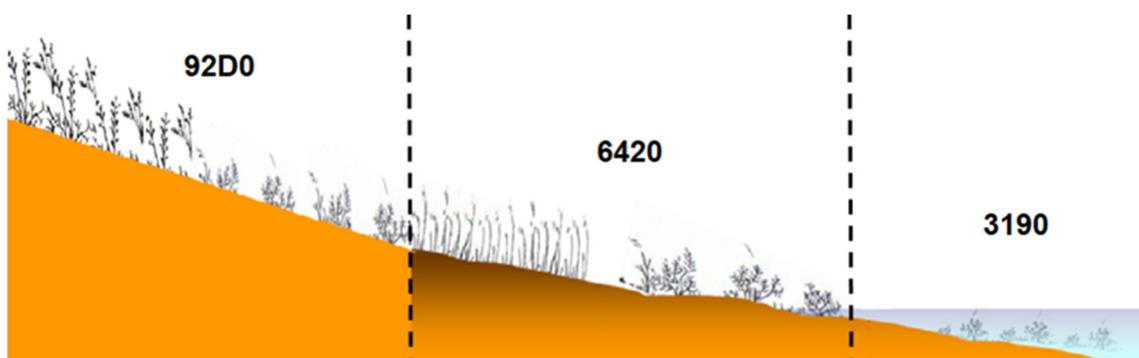


Figura nº 12. Perfil teórico de HIC en el entorno de la laguna.

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.

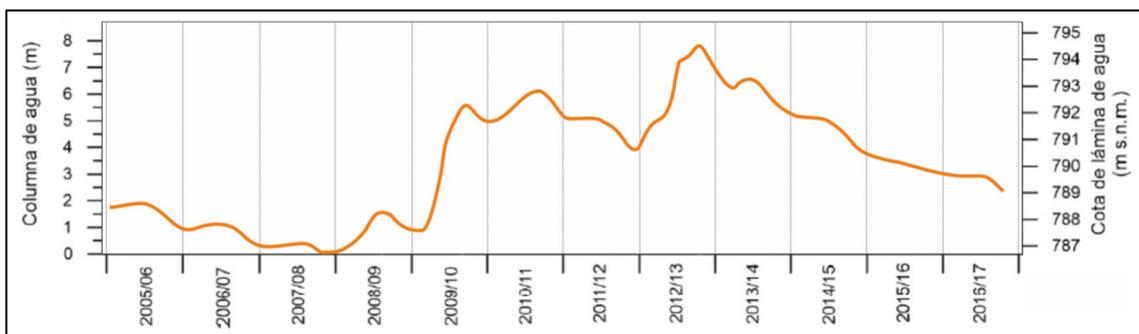


Figura nº 13. Evolución limnimétrica de la laguna Chica (modificado de Gil Márquez, 2018).

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).

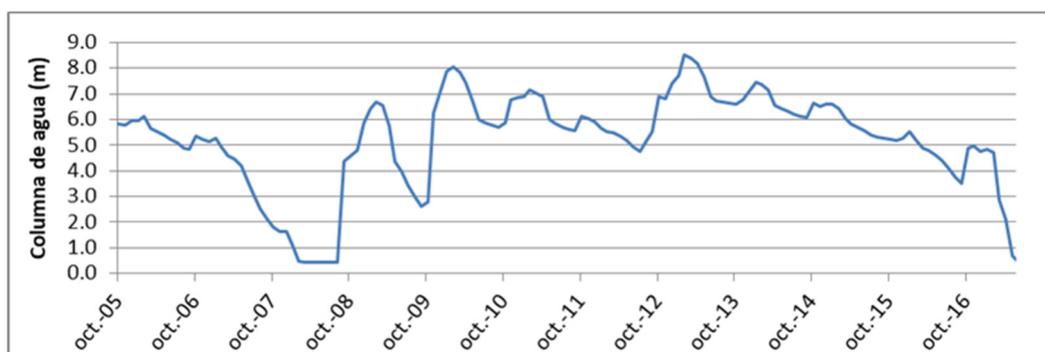


Figura nº 14. Evolución limnimétrica de la laguna Chica (modelo SIMPA elaborado).

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.

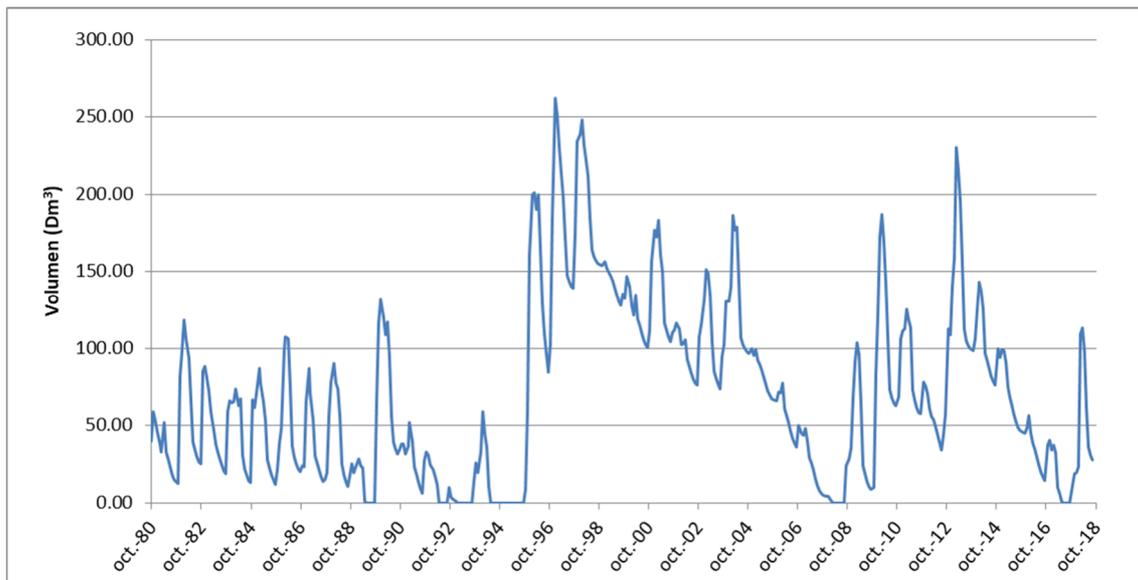


Figura nº 15. Evolución de niveles simulados para la Laguna Chica (oct1980-sep2018).

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).

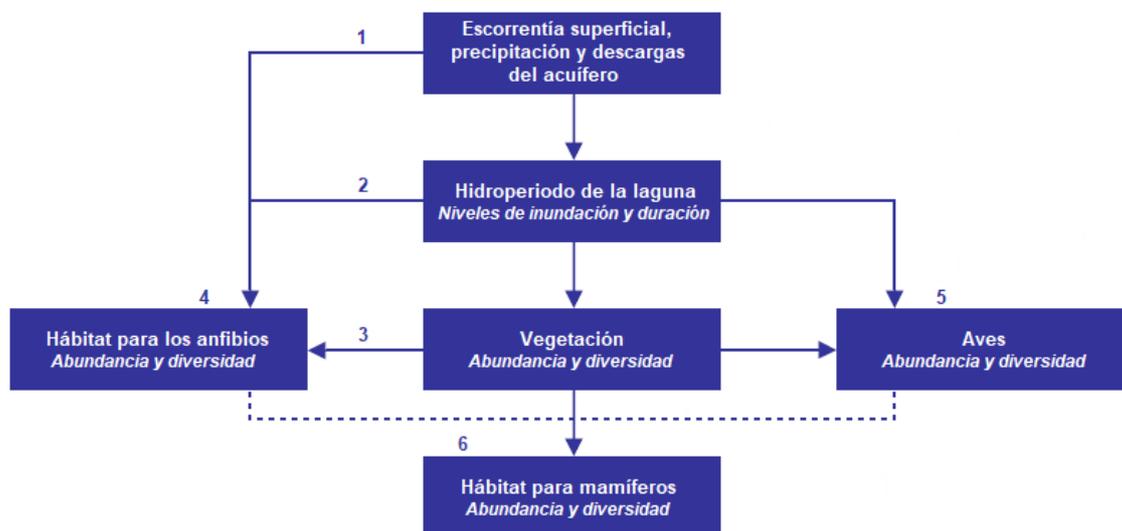


Figura nº 16. Marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y diversos componentes bióticos del ecosistema.

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.

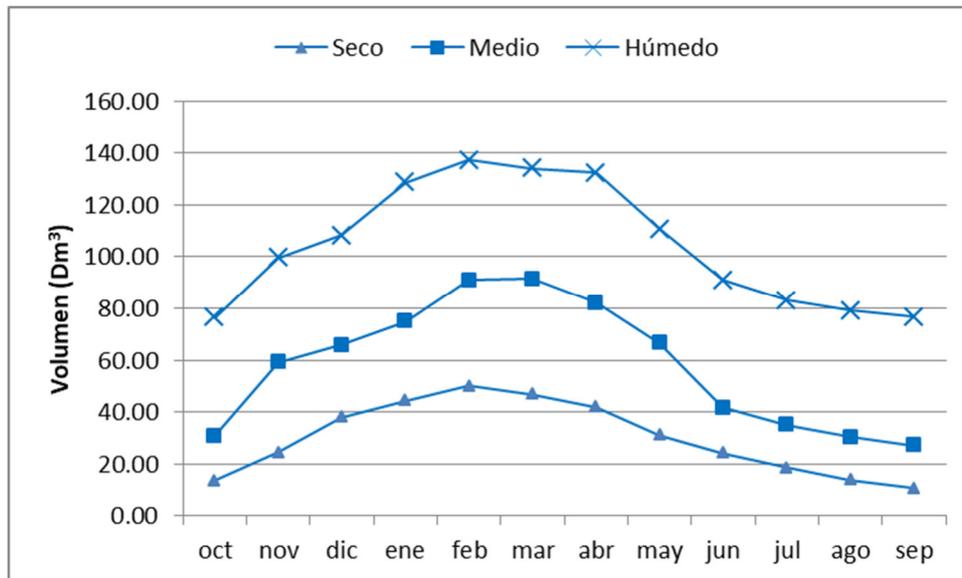


Figura nº 17. Hidroperiodo típico.

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.

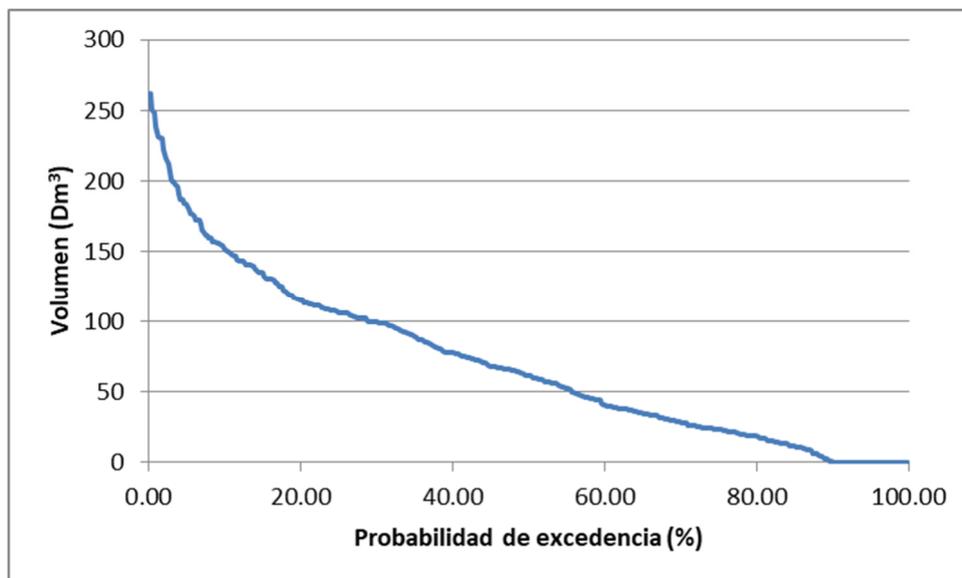


Figura nº 18. Distribución de volúmenes.

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.

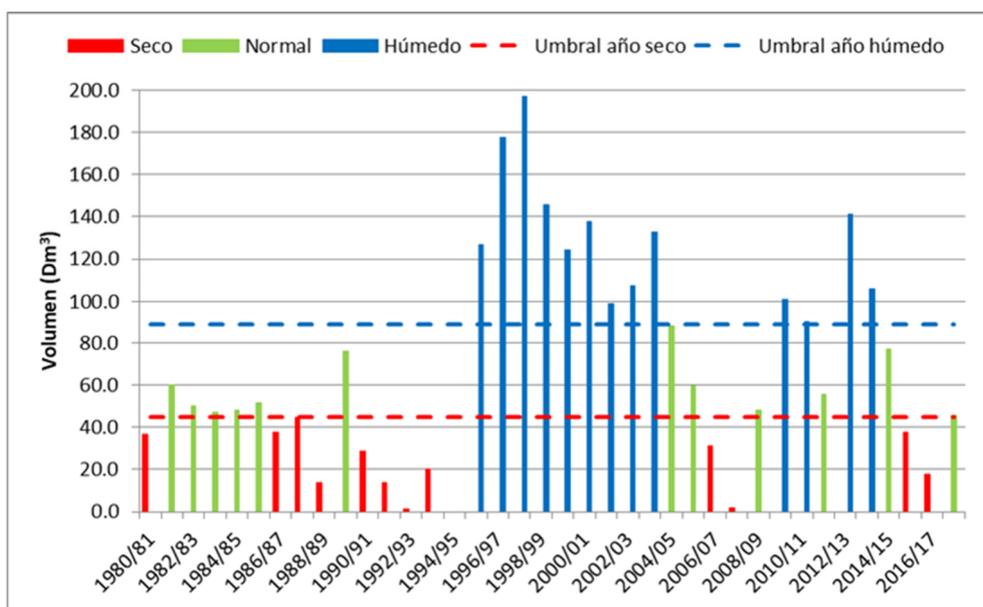


Figura nº 19. Volumen en la laguna. Periodo 1980-2018.

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.

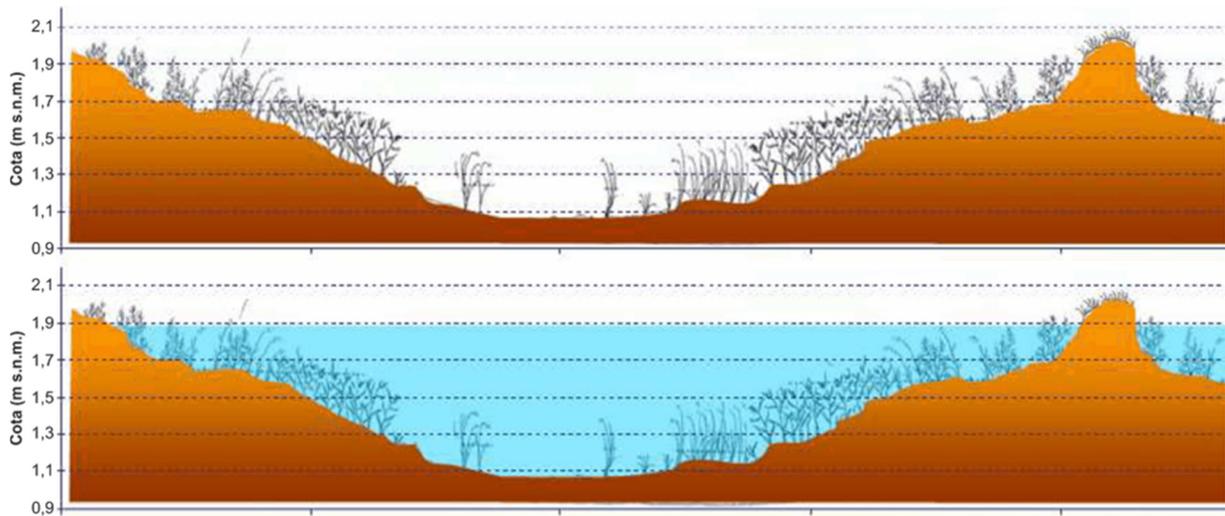


Figura nº 20. Modelo asociaciones vegetales según régimen hidráulico de inundación.

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.

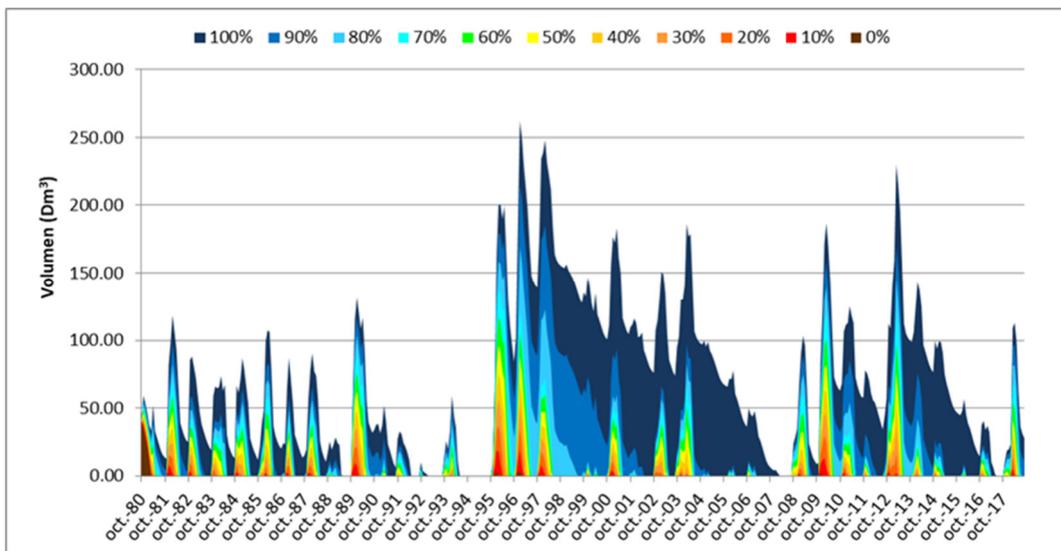


Figura nº 21. Formulación de escenarios mediante reducción progresiva del 10%.

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.

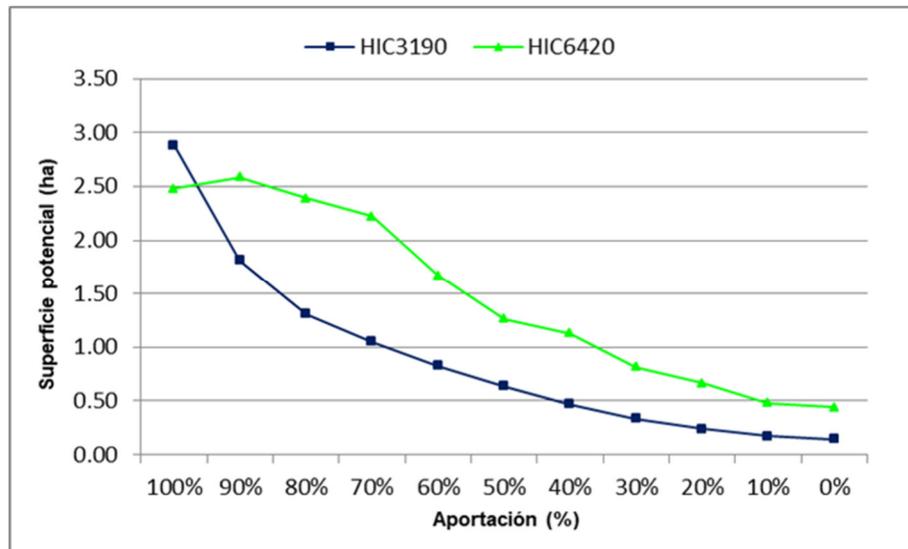


Figura nº 22. Evolución de la superficie de los HIC según aportaciones.

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.

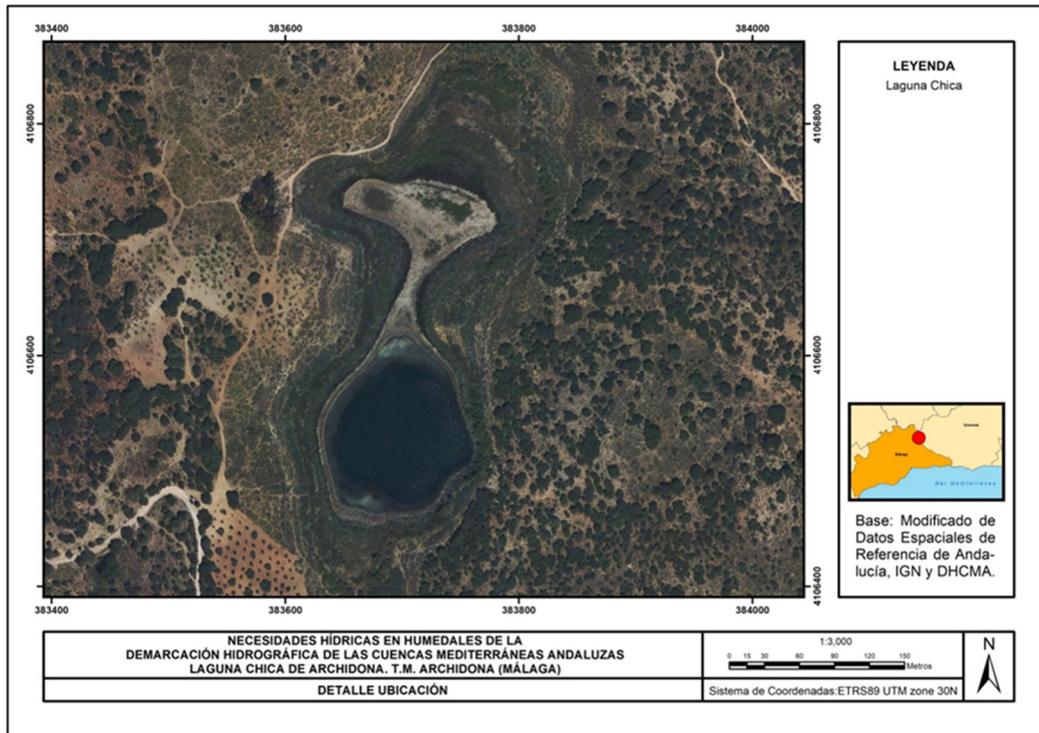
VV.AA. (2009). Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

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.

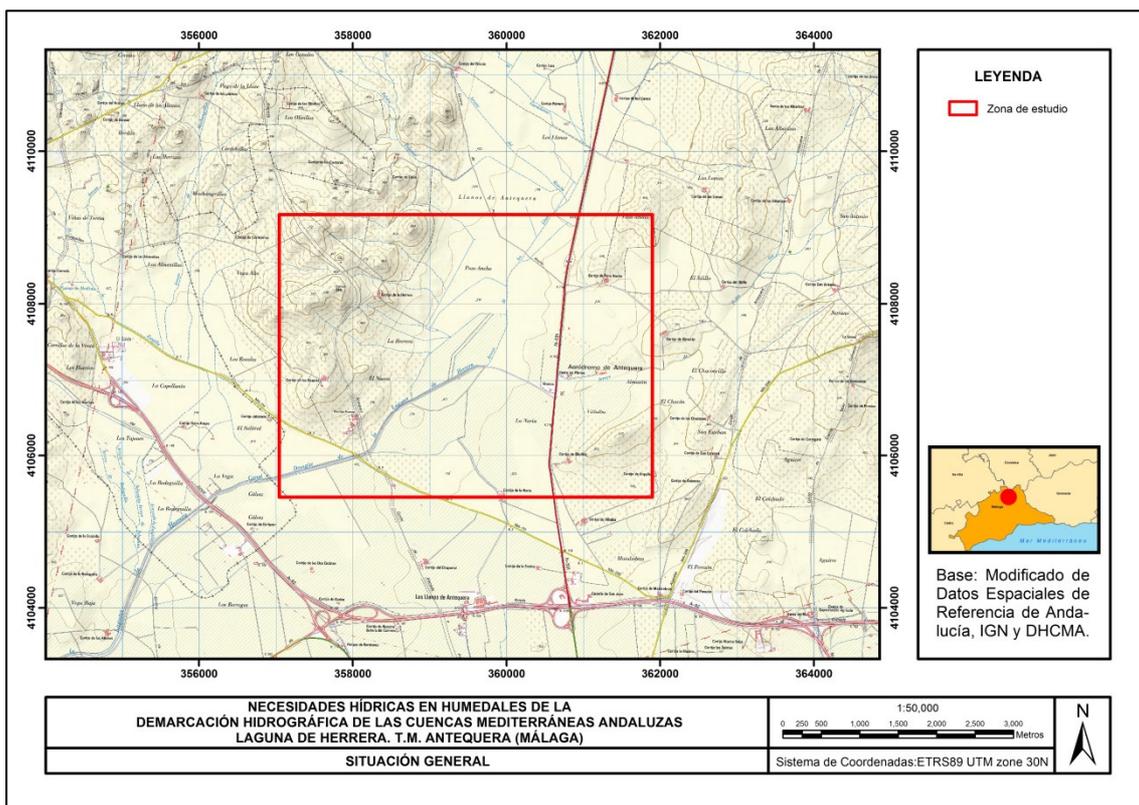


Figura nº 1. Situación general de la Laguna de Herrera.

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).

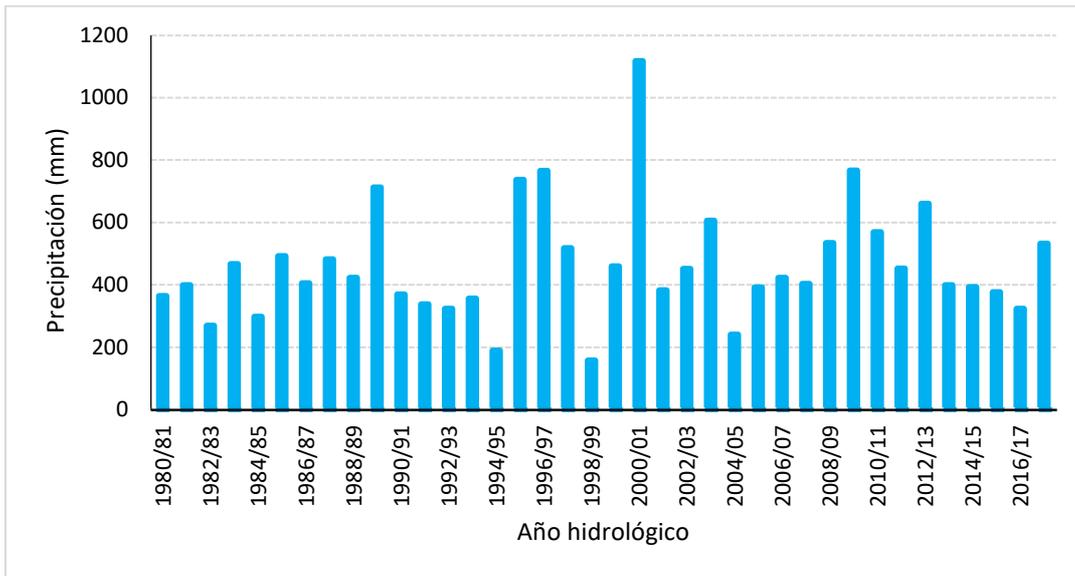


Figura nº 2. Evolución de la precipitación, periodo 1980-2018.

- 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).

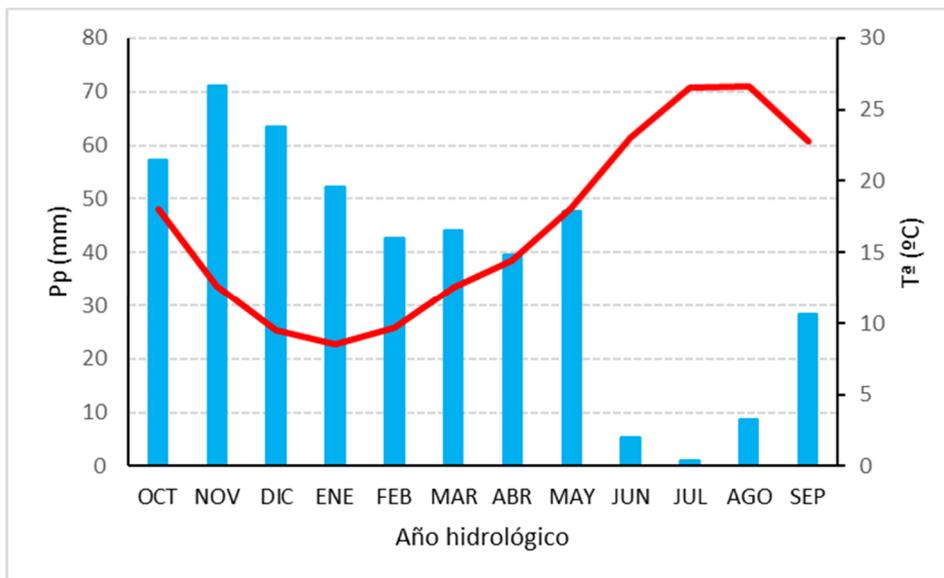


Figura nº 3. Climograma de la zona de estudio, periodo 1980-2018.

- 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).

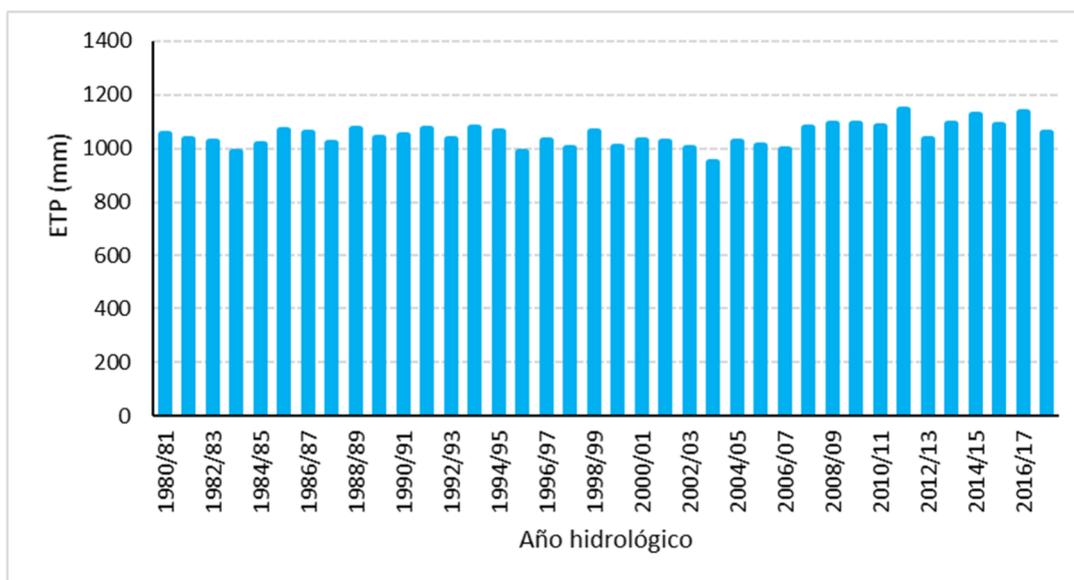


Figura nº 4. Evolución de la ETP, periodo 1980-2018.

- 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.

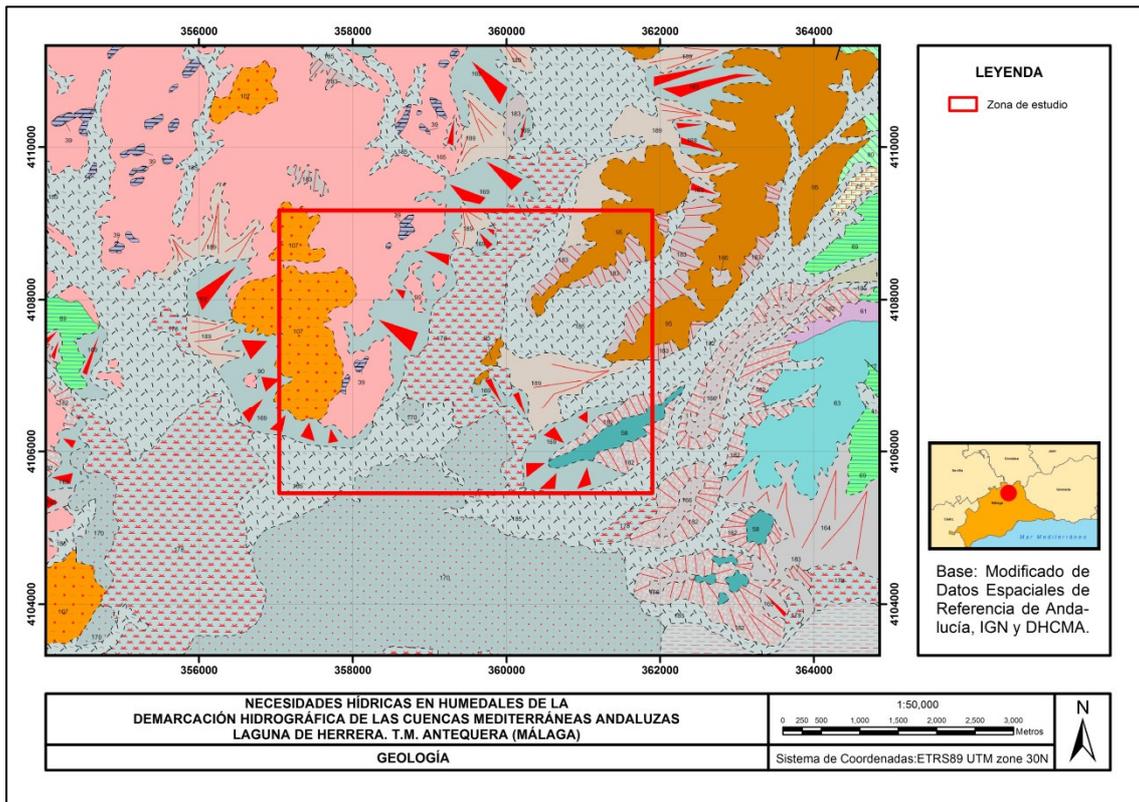


Figura nº 5. Geología de la zona de estudio.

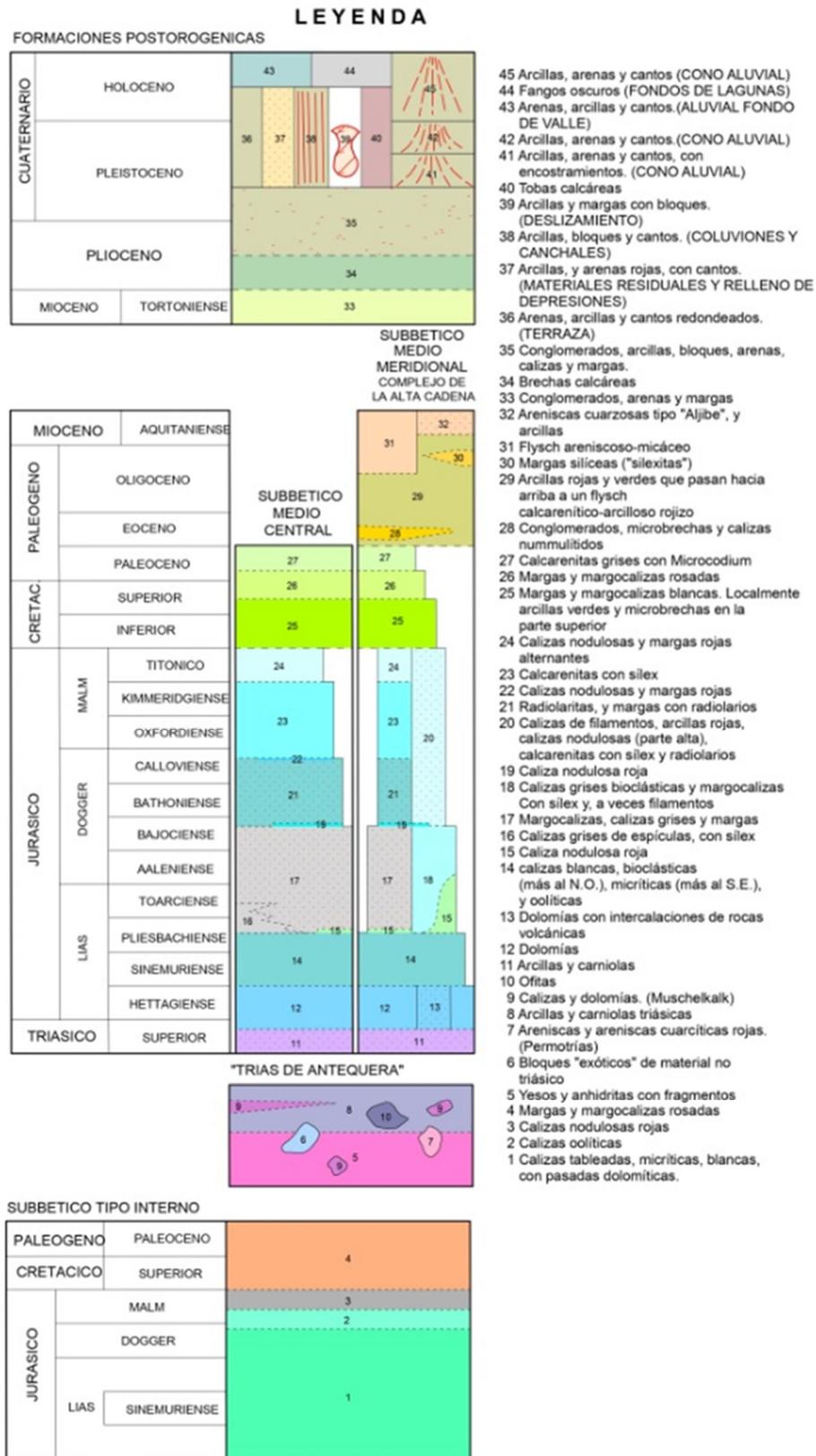


Figura nº 6. Leyenda geológica de la zona de estudio.



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.

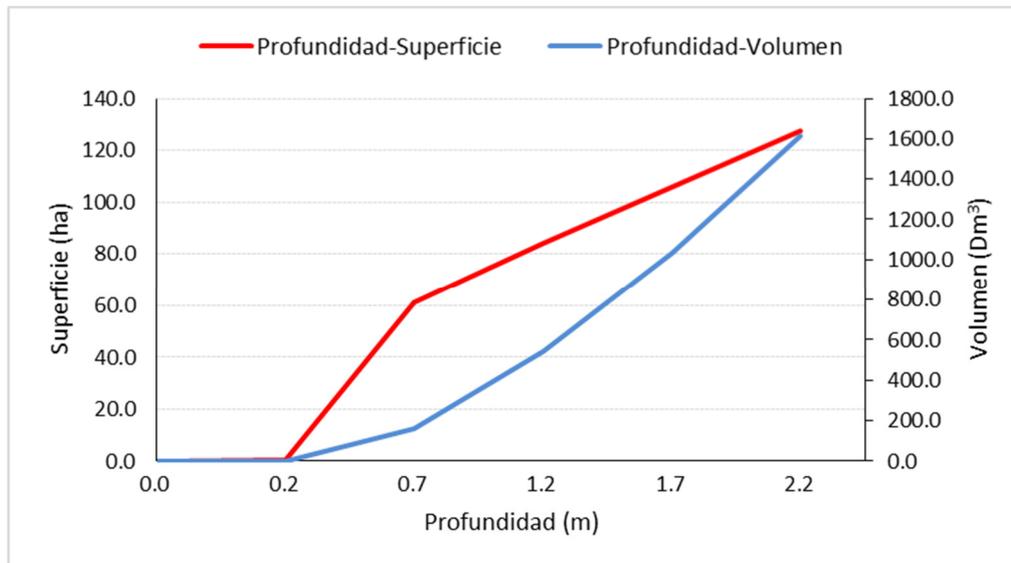


Figura nº 7. Relación superficie-volumen.

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.

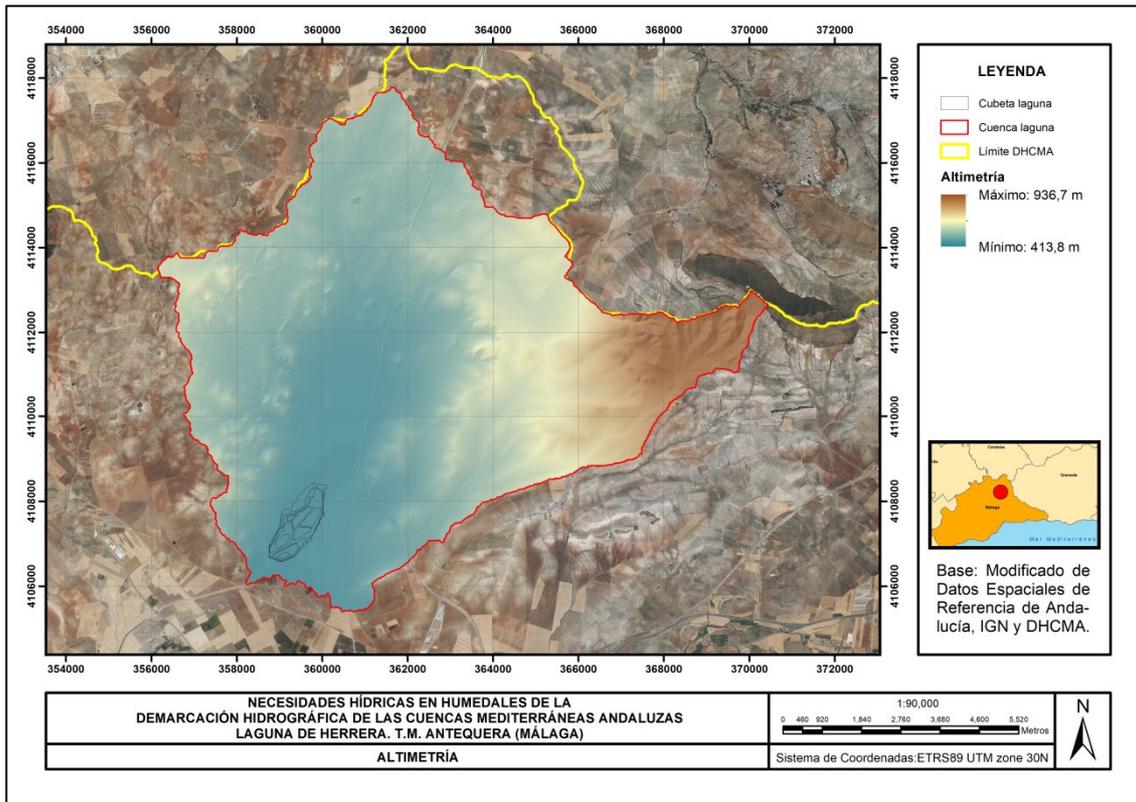


Figura nº 8. Altimetría en la cuenca de la Laguna de Herrera.

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.

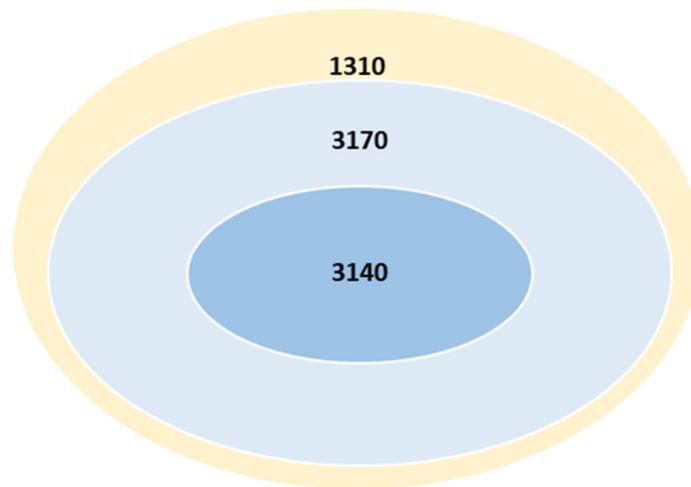


Figura nº 10. Tipos de HIC en el entorno de la laguna.

En la Figura nº 11 se presenta un perfil teórico de vegetación con los tipos de hábitats directamente influenciados por el régimen de inundación.

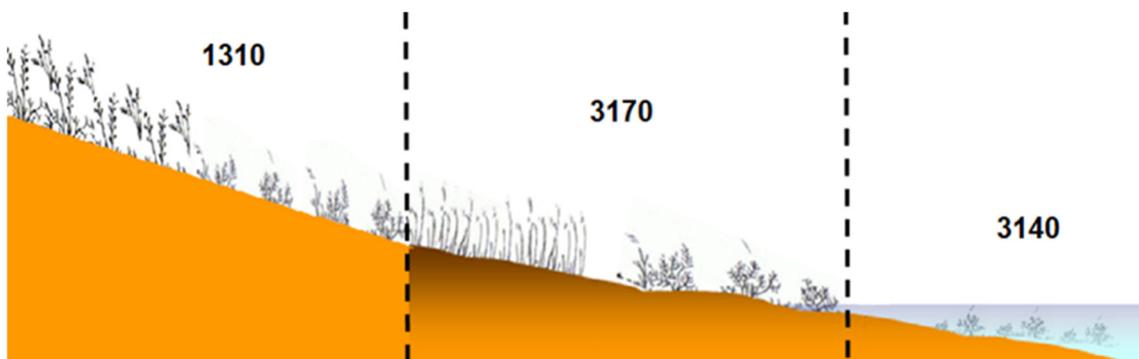


Figura nº 11. Perfil teórico de HIC en el entorno de la laguna.

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.

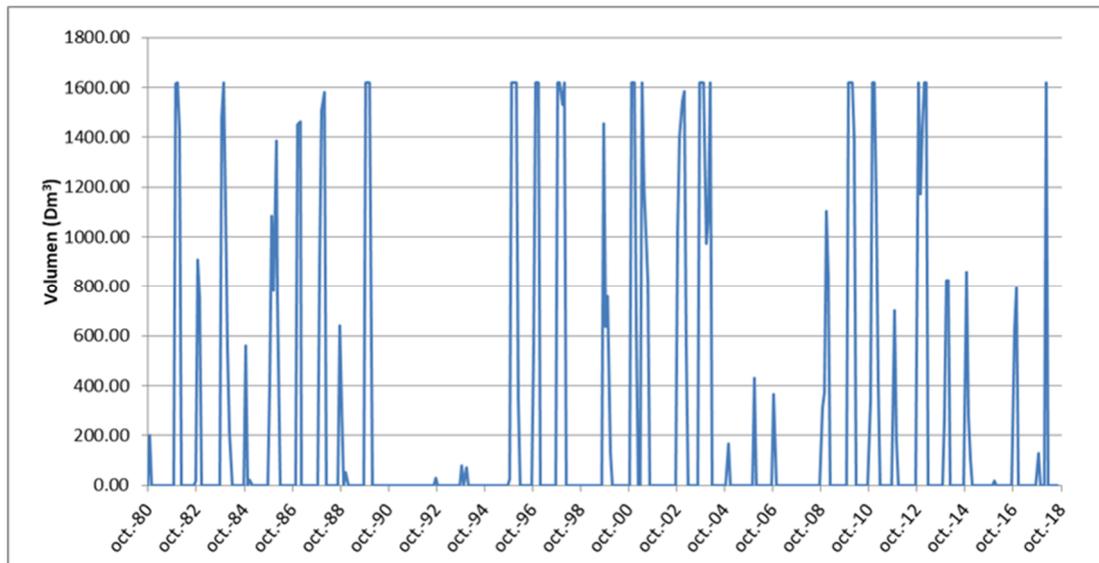


Figura nº 12. Evolución de niveles simulados para la Laguna de Herrera (oct1980-sep2018).

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.

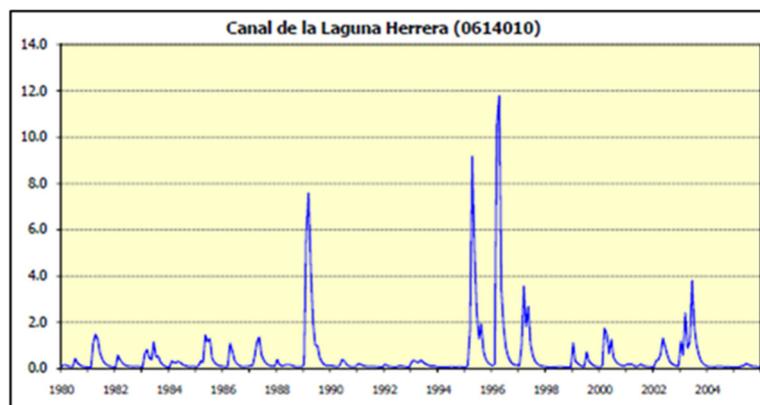


Figura nº 13. Aportaciones (hm³) a la salida del Canal de la Laguna de Herrera (Fuente: Rediam).

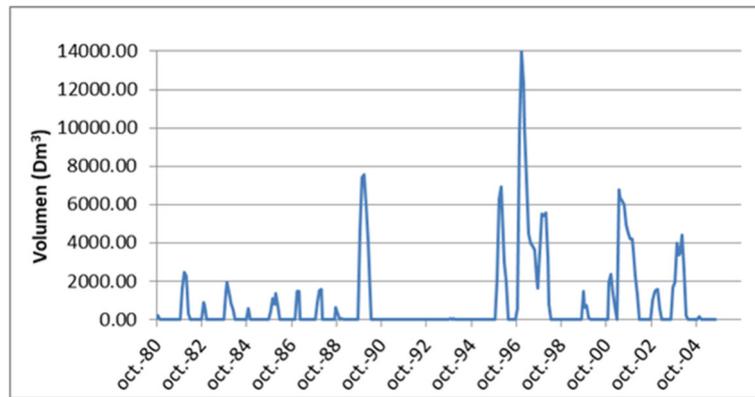


Figura nº 14. Evolución de niveles simulados para la Laguna de Herrera (oct1980-sep2005).

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).

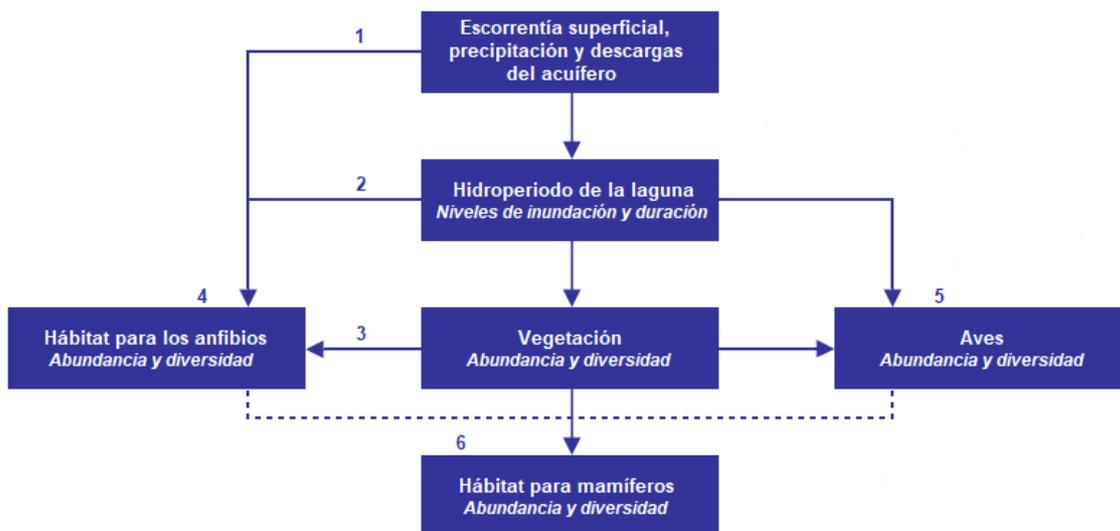


Figura nº 15. Marco conceptual para integrar las necesidades hídricas de la laguna y diversos componentes bióticos del ecosistema.



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.

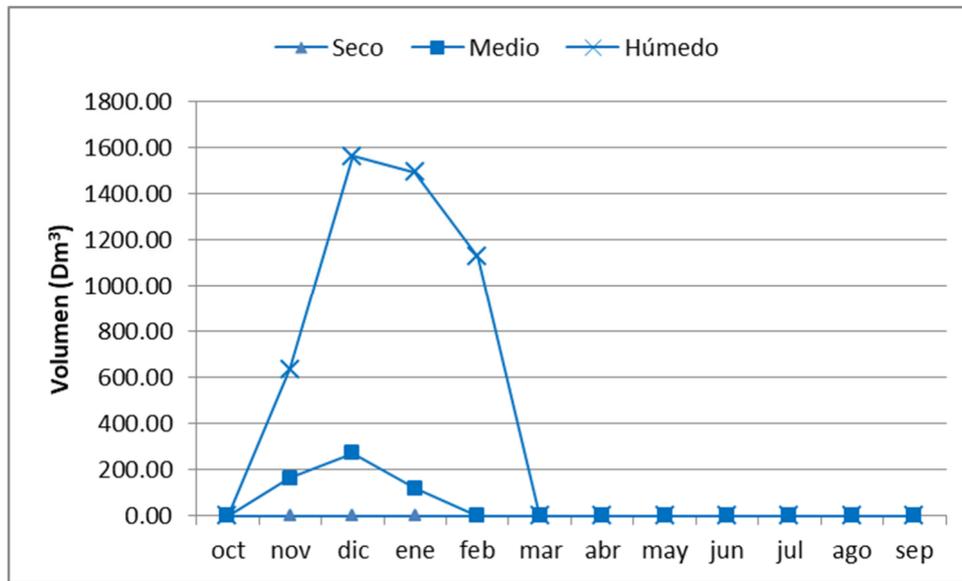


Figura nº 16. Hidroperiodo típico.

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.

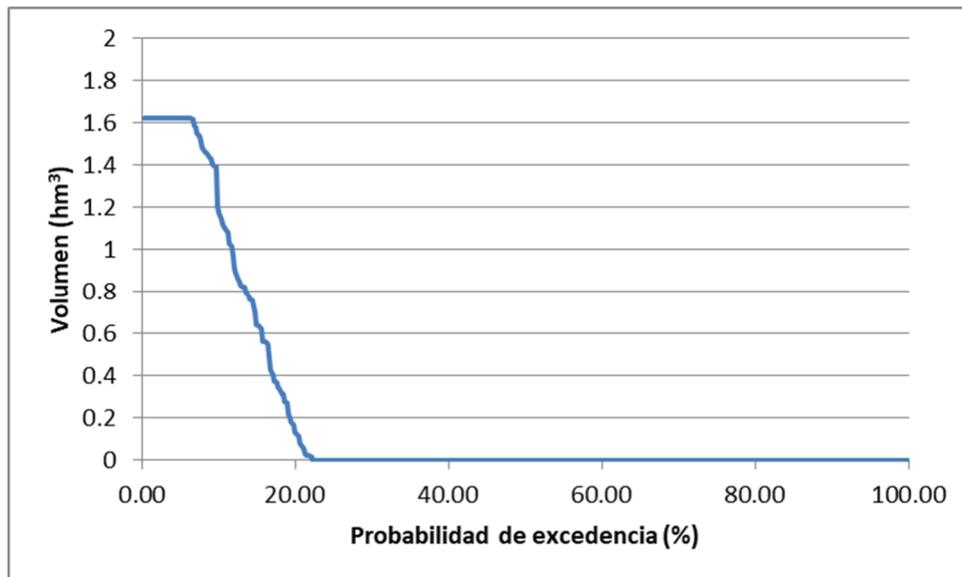


Figura nº 17. Distribución de volúmenes.

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.

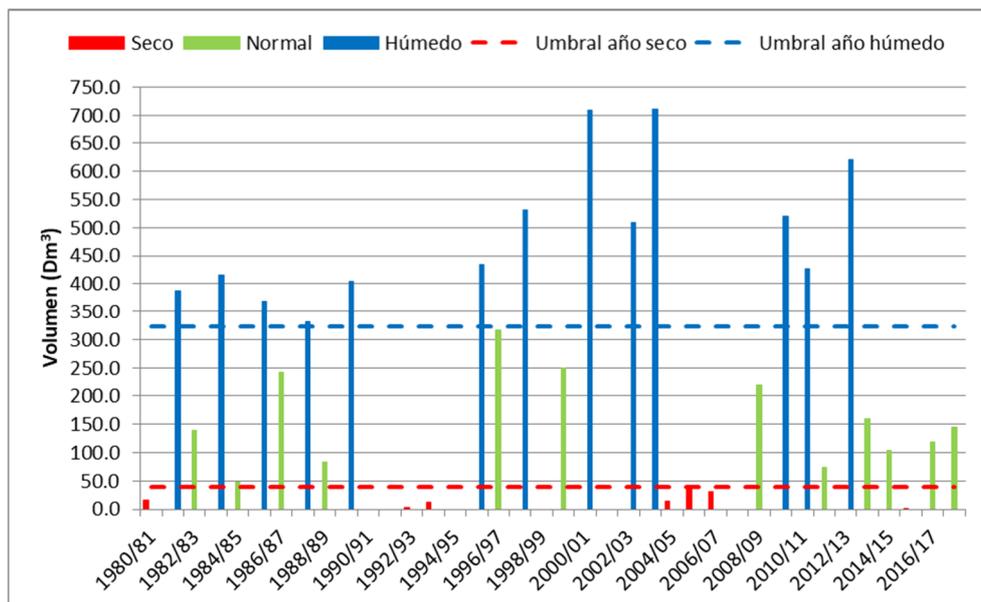


Figura nº 18. Volumen en la laguna. Periodo 1980-2018.

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.

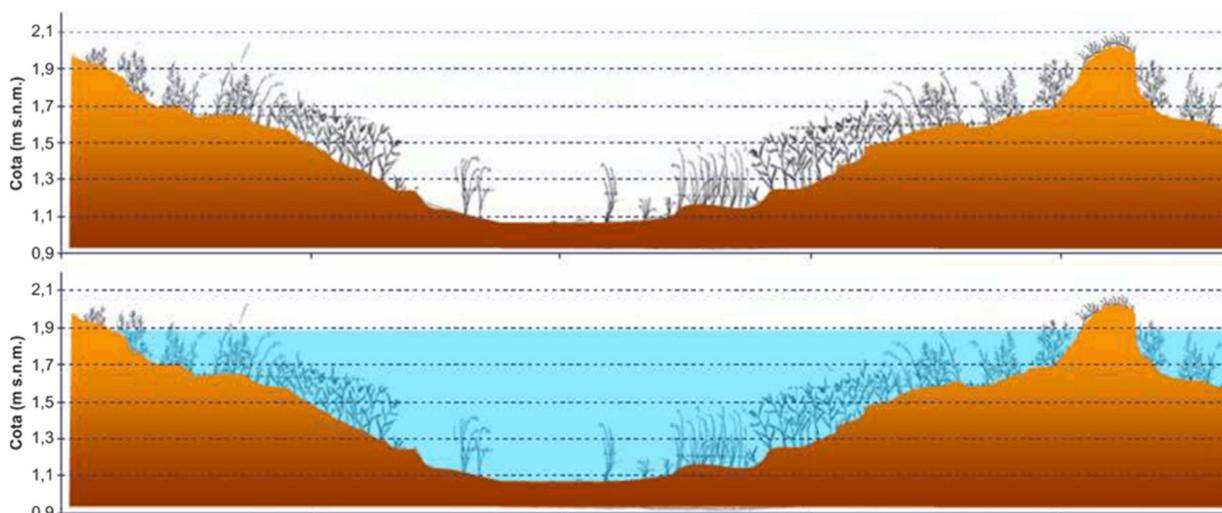


Figura nº 19. Modelo asociaciones vegetales según régimen hidráulico de inundación.

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.

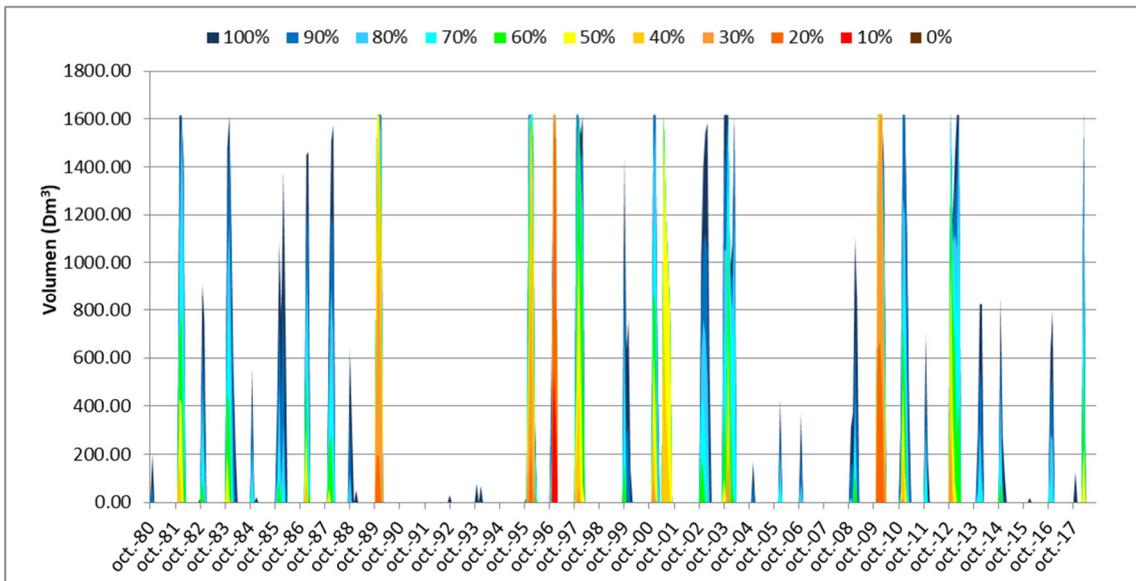


Figura nº 20. Formulación de escenarios mediante reducción progresiva del 10%.

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.

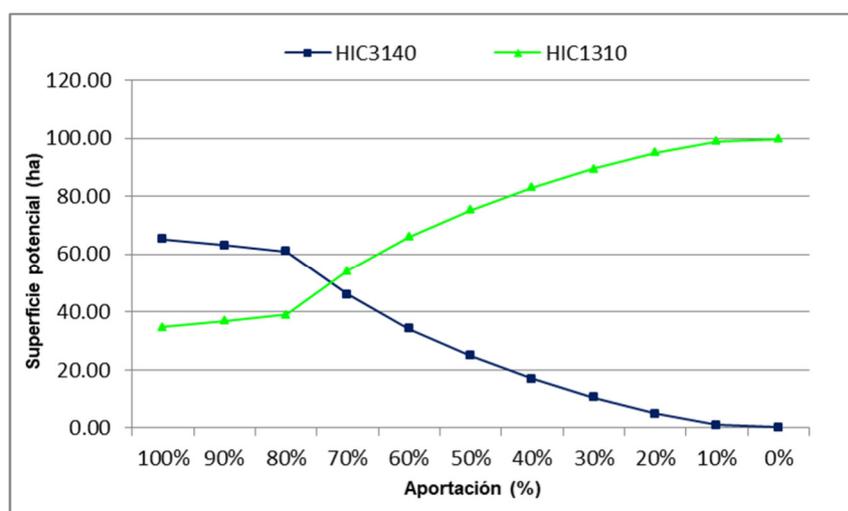


Figura nº 21. Evolución de la superficie de los HIC según aportaciones.

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.

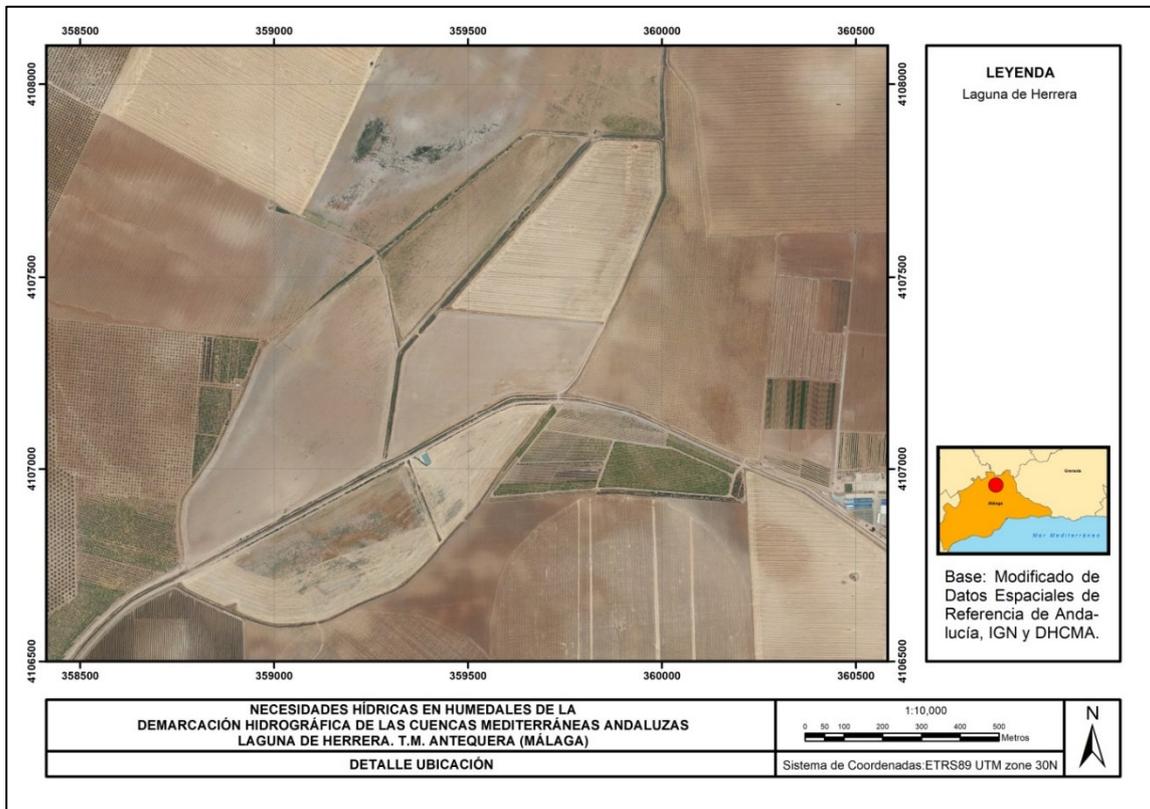
Wasserberg, G., B. P. Kotler, D. W. Morris y Z. Abramskyd. (2006). *A Spectre of Coexistence: Is Centrifugal Community Organization Haunted by the Ghost of Competition?*. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, Vol. 52, 2006, pp. 123-140.



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.

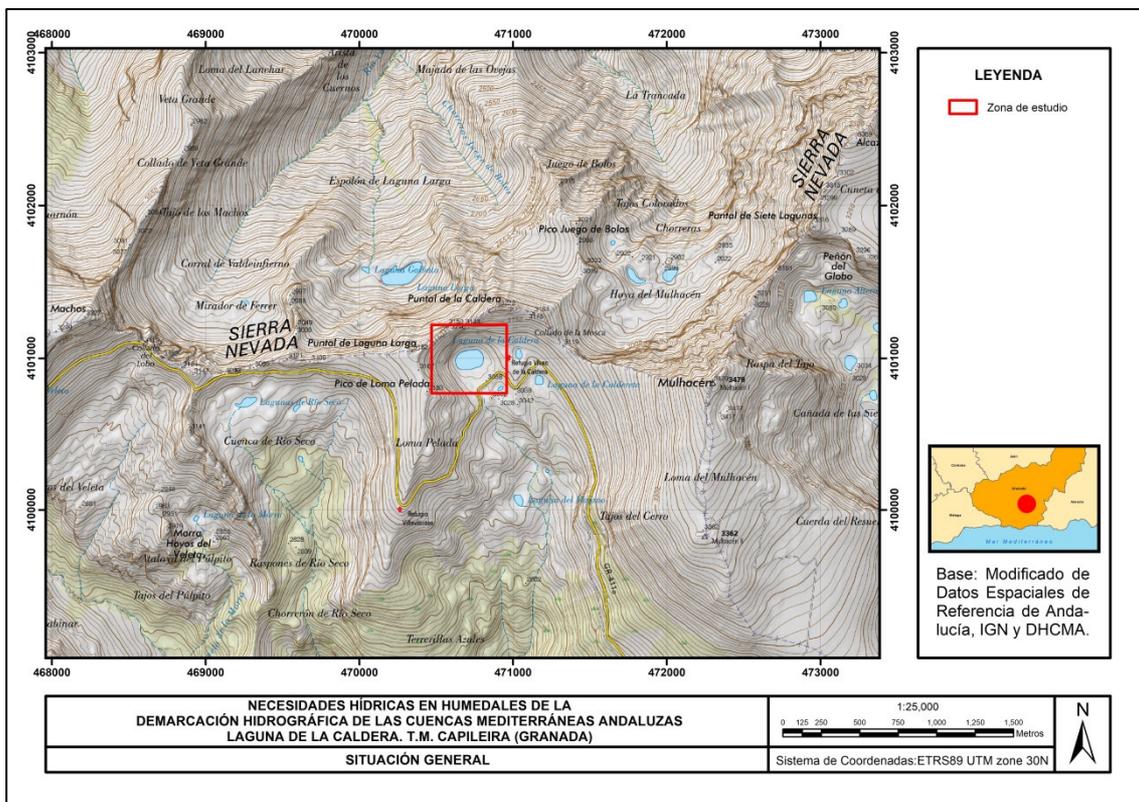


Figura nº 1. Situación general de la Laguna de la Caldera.

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).

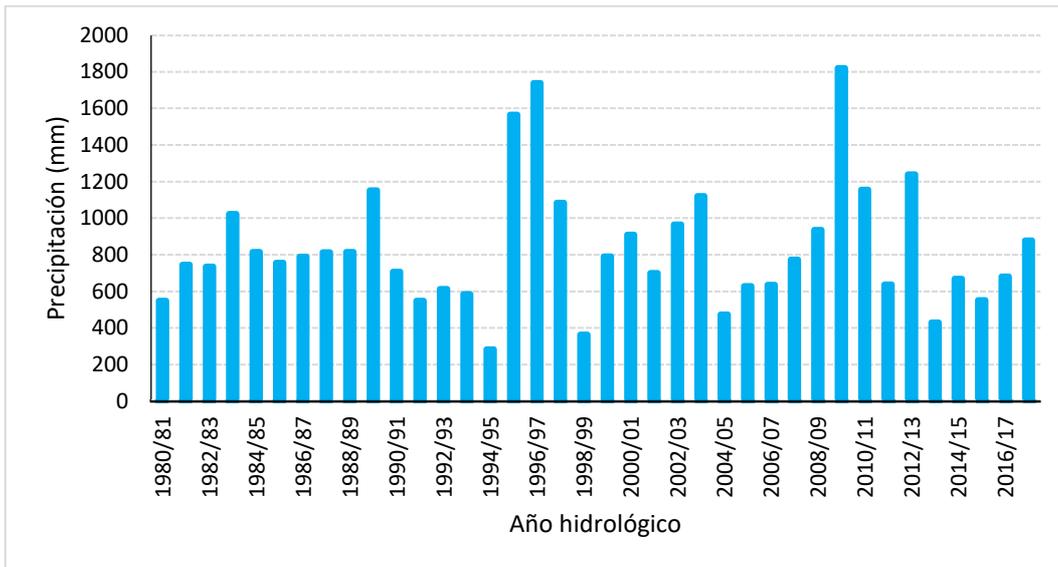


Figura nº 2. Evolución de la precipitación, periodo 1980-2018.

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

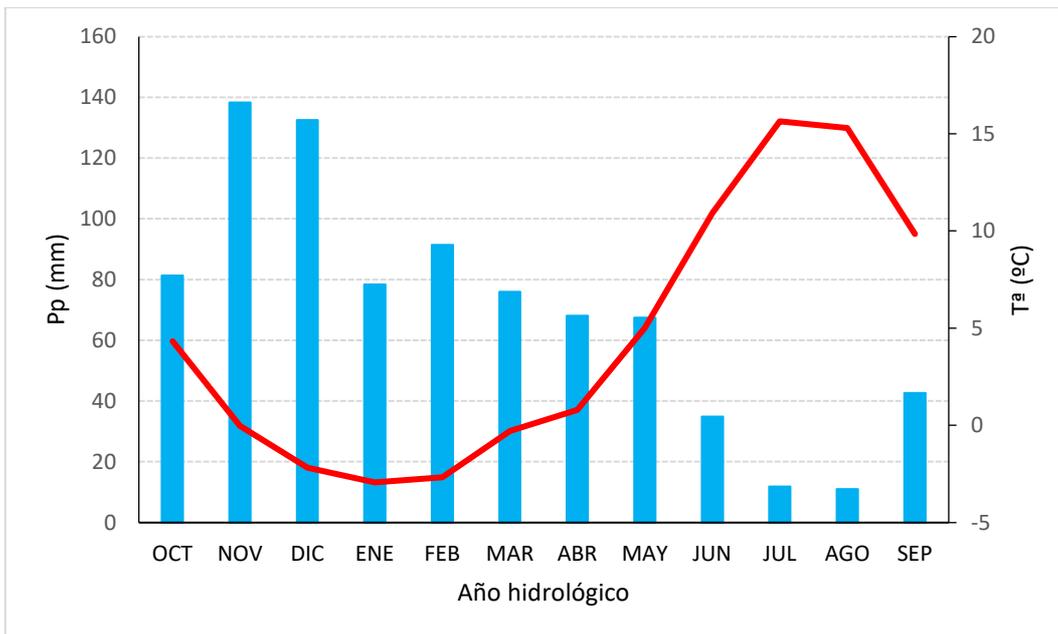


Figura nº 3. Climograma de la zona de estudio, periodo 1980-2018.

- 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).

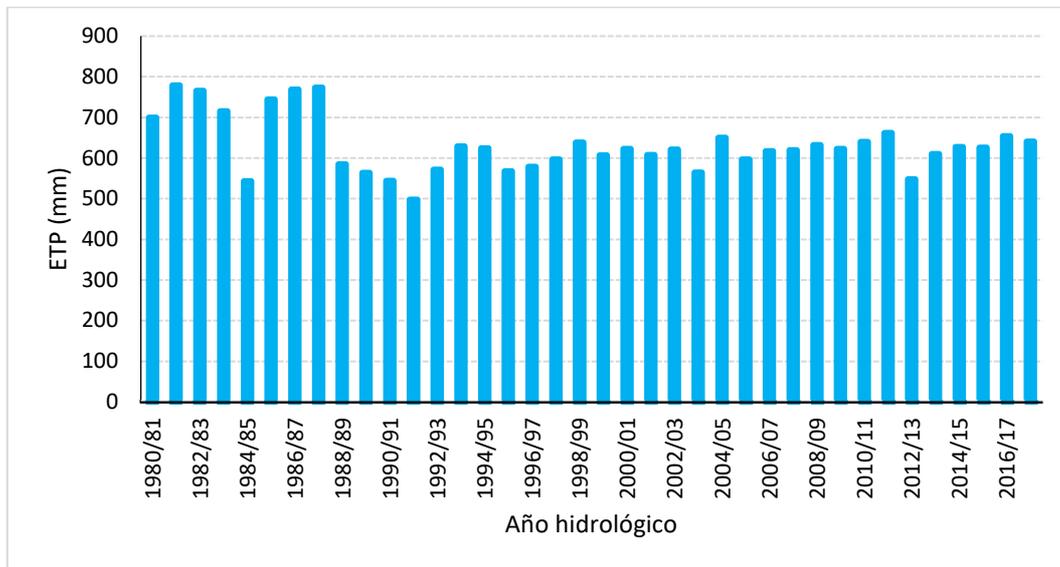


Figura nº 4. Evolución de la ETP, periodo 1980-2018.

- 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 (micaesquistos, cuarcitas, mármoles, gneises, serpentinas y anfibolitas), mientras que alrededor del anterior aparece el conjunto Alpujárride (micaesquistos 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.

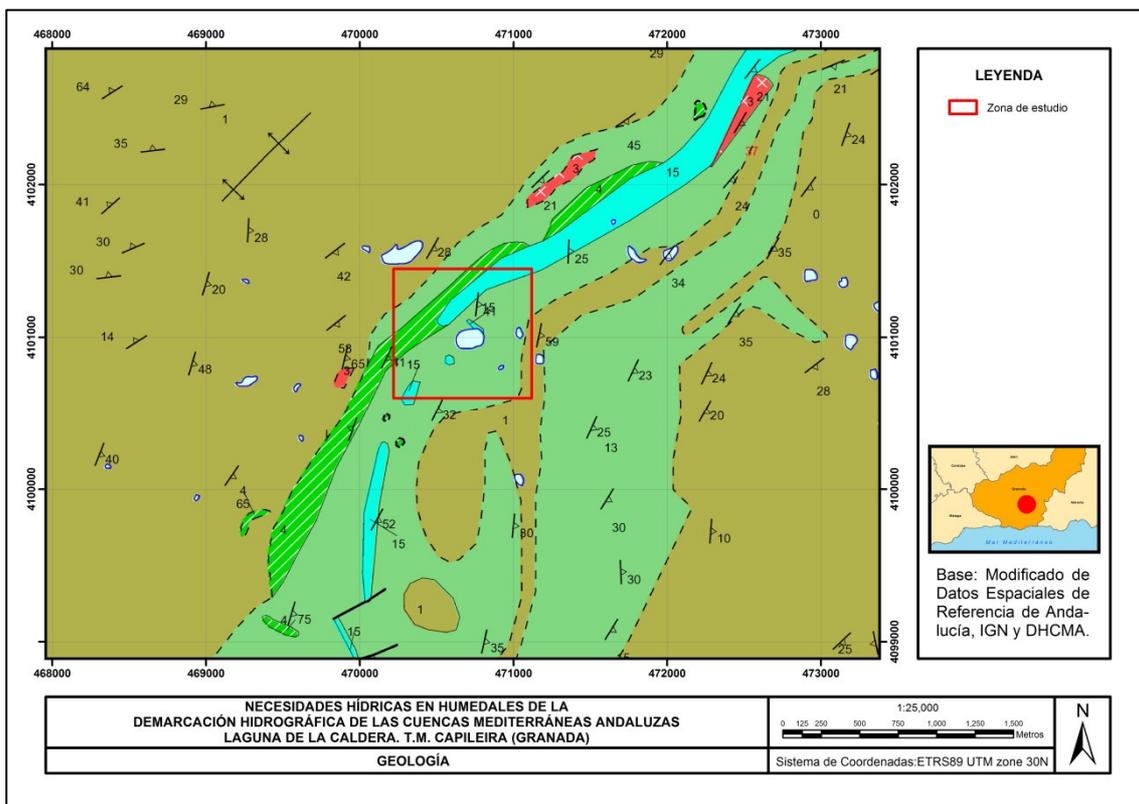


Figura nº 5. Geología de la zona de estudio.

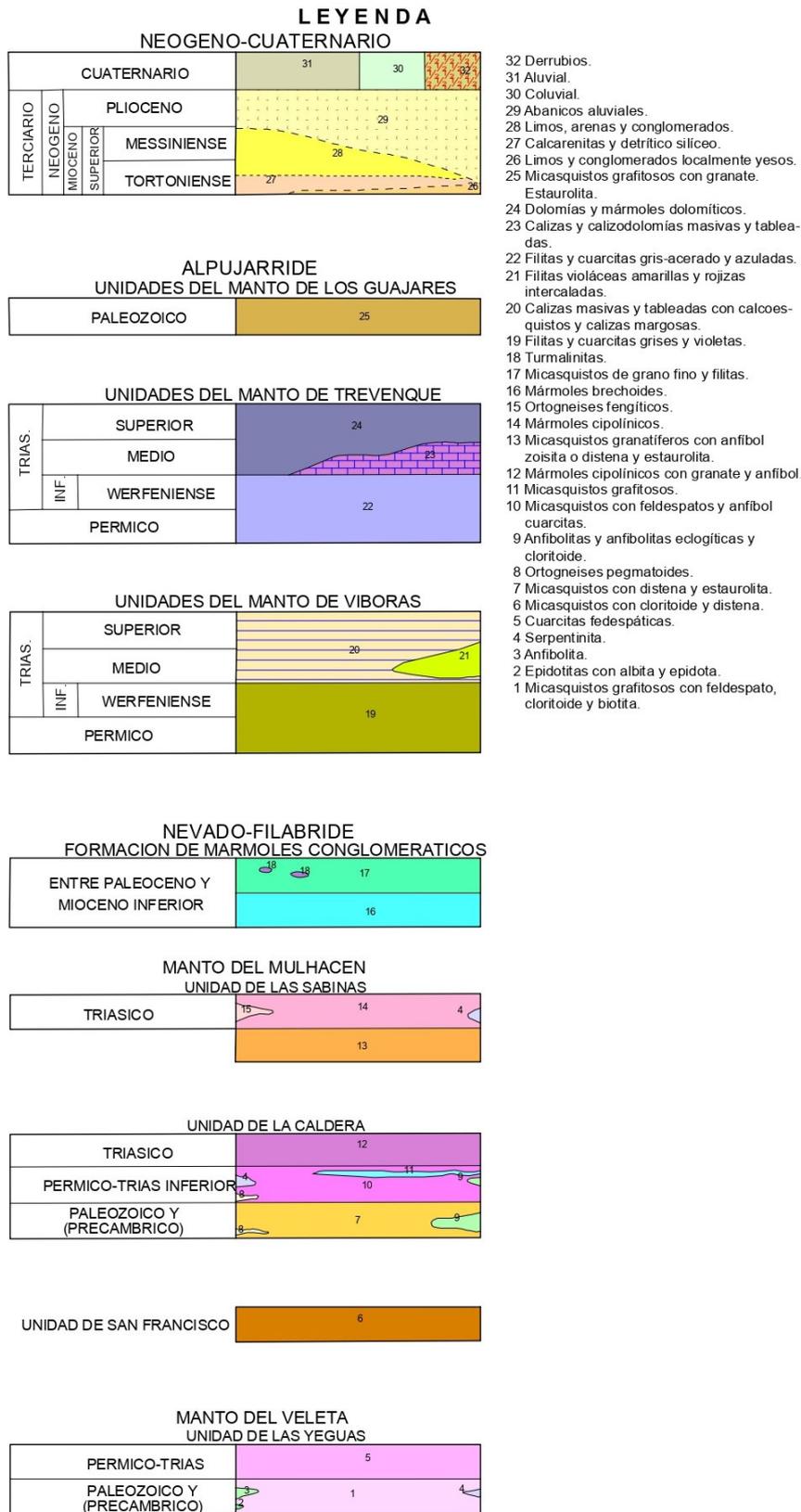


Figura nº 6. Leyenda geológica de la zona de estudio





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.



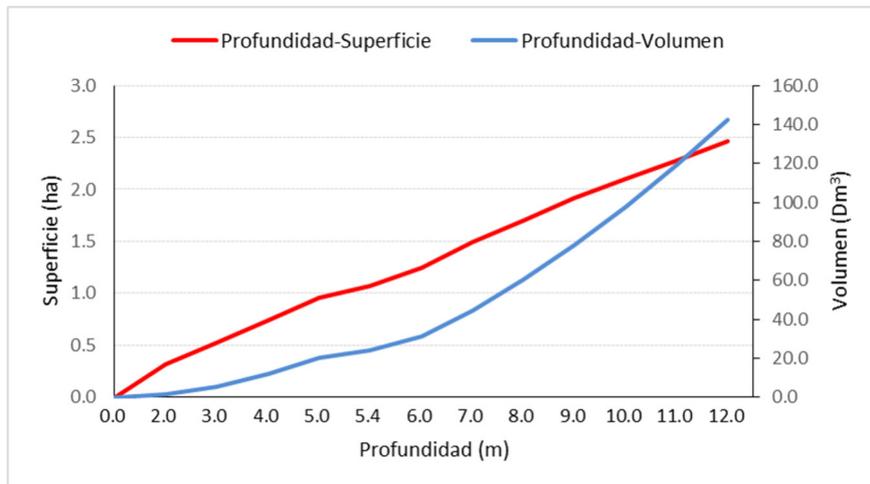


Figura nº 7. Relación superficie-volumen.

En la Figura nº 8 se muestra la altimetría en la cuenca de la Laguna de la Caldera.

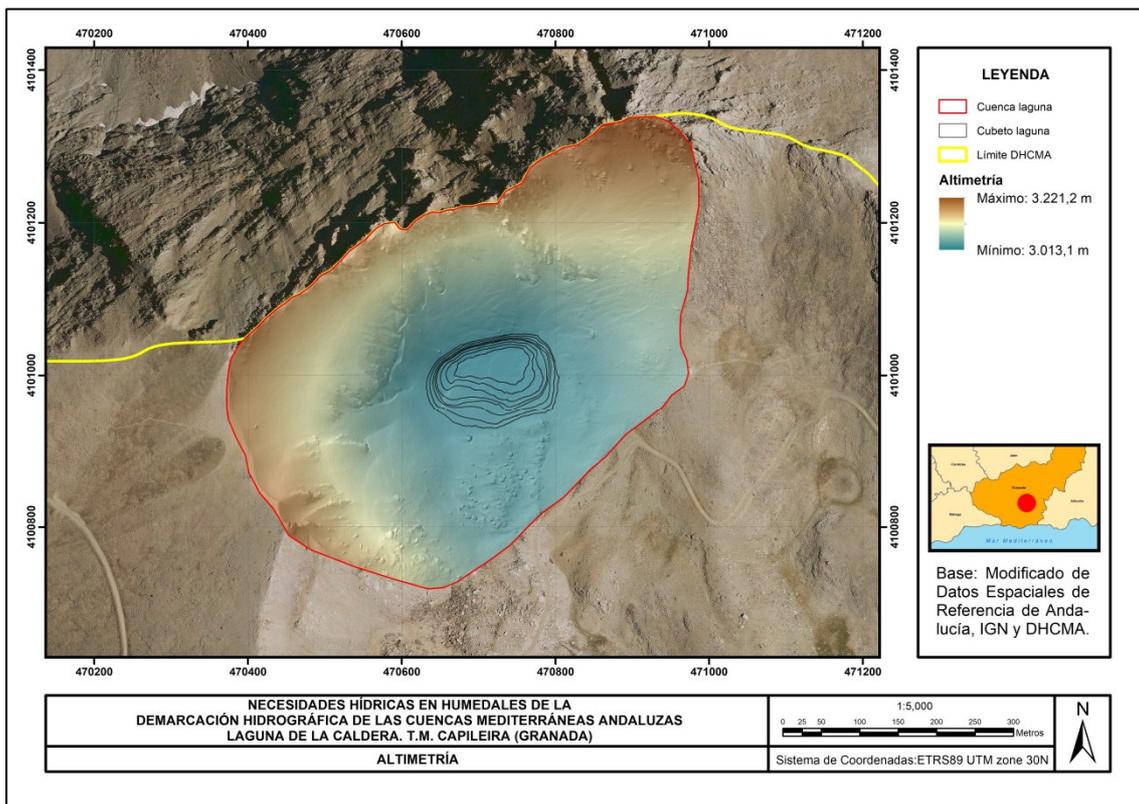


Figura nº 8. Altimetría en la cuenca de la Laguna de la Caldera.

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 autótrofo (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).

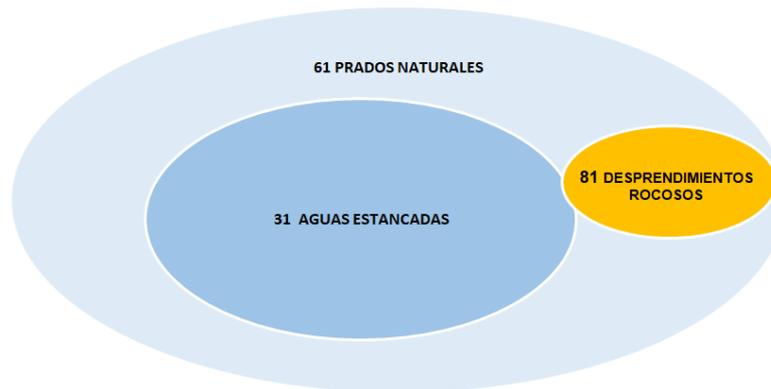


Figura nº 9. Tipos de HIC en el entorno de la laguna.

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.

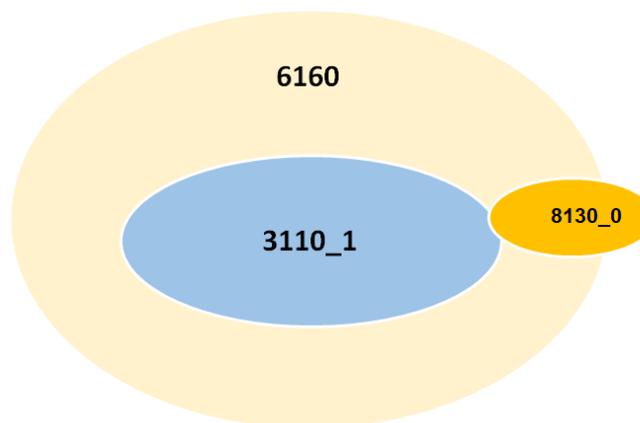


Figura nº 10. HIC en el entorno de la laguna.

En la Figura nº 11 se presenta un perfil teórico de vegetación con los tipos de hábitats directamente influenciados por el régimen de inundación.

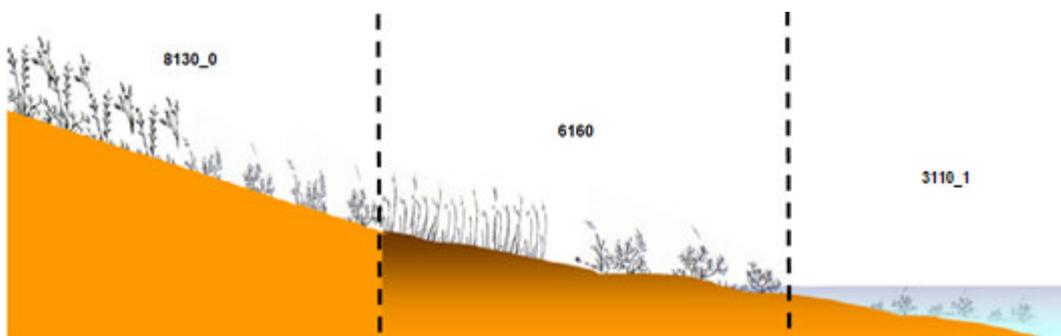


Figura nº 11. Perfil teórico de HIC en el entorno de la laguna.



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.

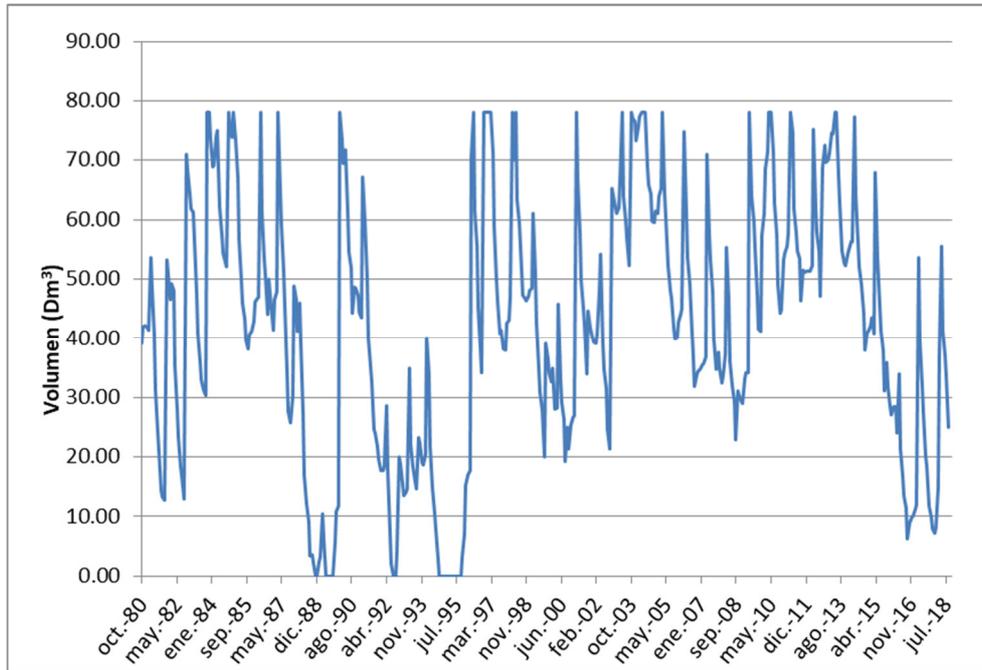


Figura nº 12. Evolución de niveles simulados para la Laguna de la Caldera (oct1980-sep2018).

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.

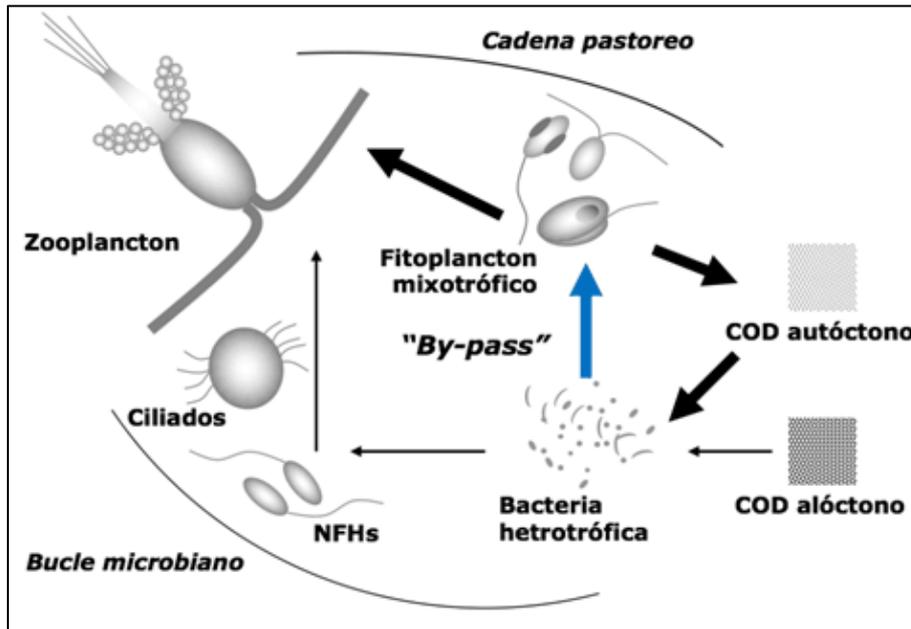


Figura nº 14. Esquema representativo de la red trófica de la laguna. En flechas se representa el flujo de carbono orgánico. COD, Carbono Orgánico Disuelto; NFHs, Nanoflagelados Heterotróficos (Carrillo et al. 2006).

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.

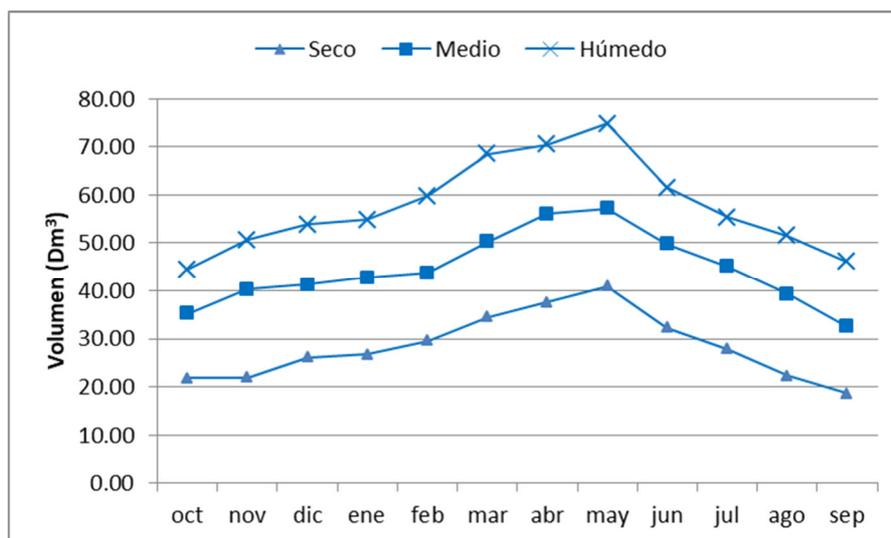


Figura nº 15. Hidroperiodo típico.

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.

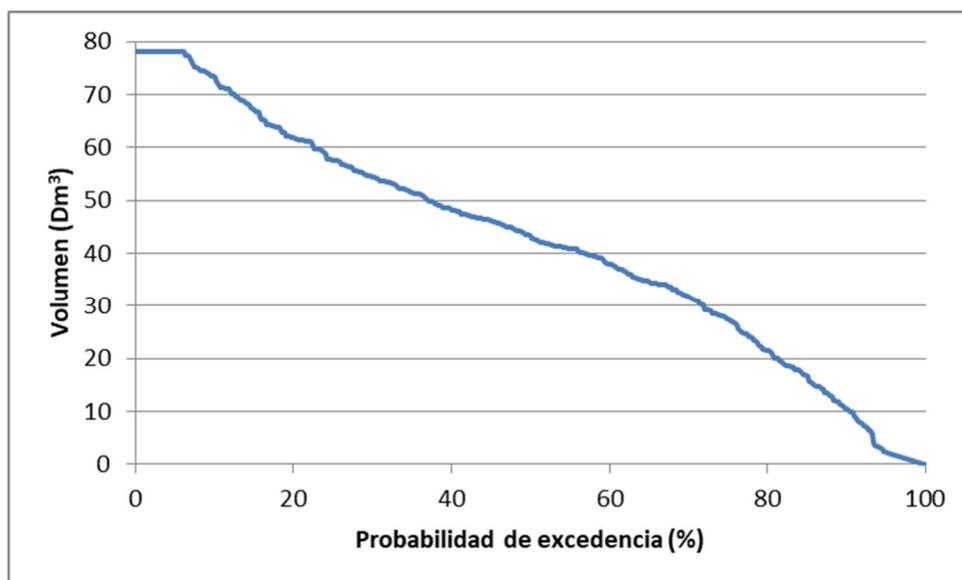


Figura nº 16. Distribución de volúmenes.

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.

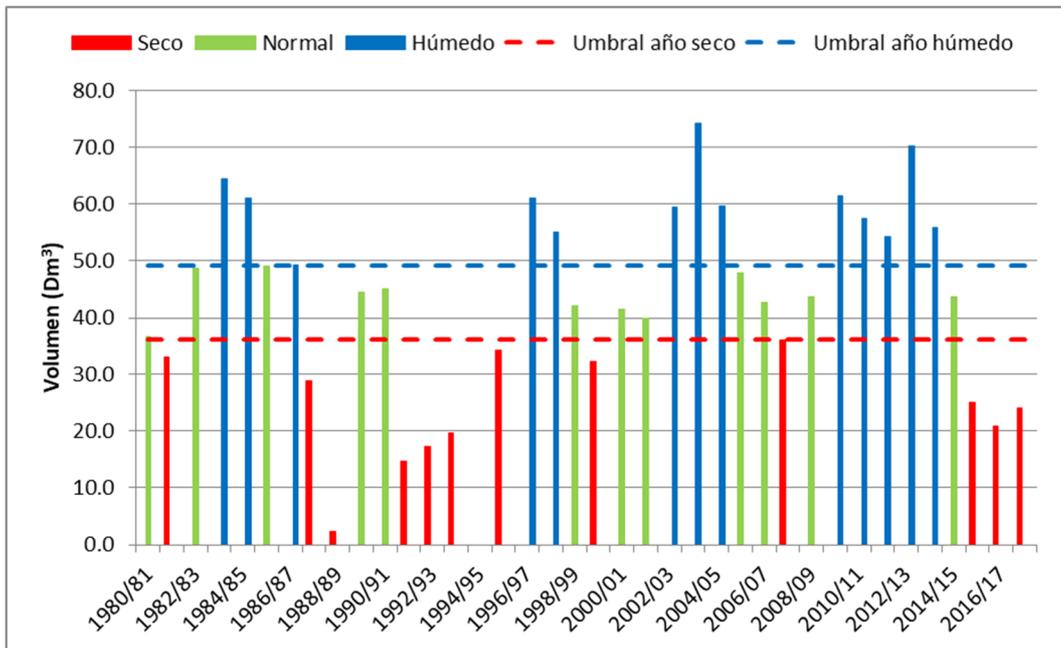


Figura nº 17. Volumen en la laguna. Periodo 1980-2018.

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.

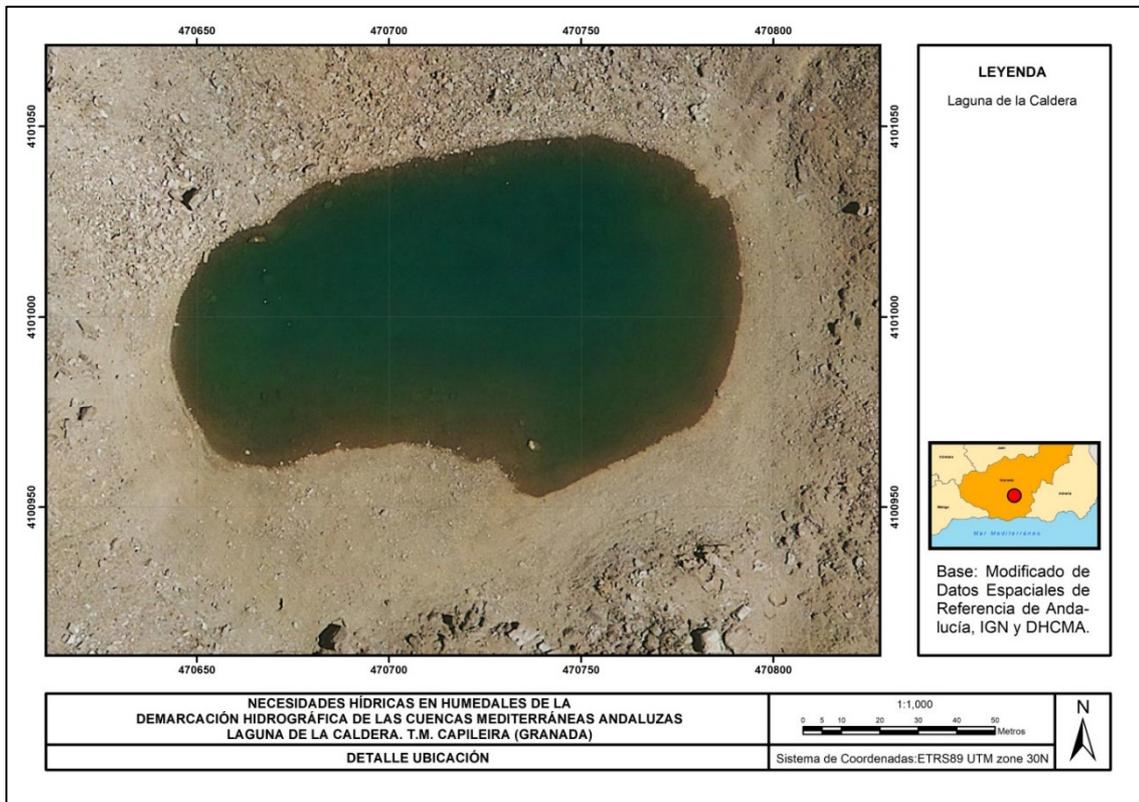
Villalobos Megía, M. (2006). Geodiversidad y Patrimonio Geológico de Andalucía. Itinerario Geológico por Andalucía. Guía didáctica de campo. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

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/>

