

Lagunas mesetarias de La Mancha:

Funcionamiento hidrológico, cultura y medio ambiente

Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro
Miguel Mejías Moreno
Editores

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
Instituto Geológico y Minero de España

Lagunas mesetarias de La Mancha:

Funcionamiento hidrológico, cultura y medio ambiente

Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro
Miguel Mejías Moreno
Editores

Madrid, 2018

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
Instituto Geológico y Minero de España

Coordinador:
Carlos Camuñas Palencia. Instituto Geológico y Minero de España

Lagunas mesetarias de La Mancha: funcionamiento hidrológico, cultura y medio ambiente / Carlos Camuñas Palencia, Bruno J. Ballesteros Navarro, Miguel Mejías Moreno, editores. - Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2018.

432 pgs.: fig.; 31 cm.

ISBN: 978-84-9138-070-2

1. Lago 2. Limnología 3. Hidrología 4. Medio ambiente 5. Provincia Ciudad Real 6. Porvincia Toledo 7. Provincia Cuenca 8. La Mancha I. Instituto Geológico y Minero de España, ed. II. Camuñas Palencia, Carlos, ed. III. Ballesteros Navarro, Bruno J., ed. IV. Mejías Moreno, Miguel, ed.

504(460.283/.287)
551.3(460.283/.287)
556(460.283/.287)

Sobrecubierta:
Laguna Camino de Villafranca (Alcázar de San Juan, Ciudad Real).
Foto: Carlos Camuñas Palencia

Portada:
Torre de observación de la laguna de Manjavacas (Mota del Cuervo, Cuenca).
Foto: Miguel Mejías Moreno

Fotografías sin pie de foto y tratamiento de imágenes:
© *Carlos Camuñas Palencia, Bruno J. Ballesteros Navarro, Carlos Rochera Cordellat, Lourdes Albacete Carreño, David López Bellón y Miguel Mejías Moreno.*

Queda prohibido, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con la autorización de los titulares de la propiedad intelectual y de los editores. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual.

© Base ortofotográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN) empleada en los mapas de piezometría y de isoconductividades.

© INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades
c/ Ríos Rosas, 23
28003 Madrid
Tel.: + 34 913 495 700
Fax: + 34 913 495 762
web: http://www.igme.es

Catálogo y venta de publicaciones de la Administración General del Estado en:
http://publicacionesoficiales.boe.es/
ISBN: 978-84-9138-070-2
NIPO: 064-18-016-3
Depósito Legal: M-31457-2018
Publicación incluida en el programa editorial del suprimido Ministerio de Economia, Industria y Competitividad y editada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, de acuerdo con la reestructuración ministerial establecida por el Real Decreto 355/2018.

Producción: AGS Diseño y Producción Editorial, S.A.
Impresión: Lerko Print, S.A.

EDITORES

Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro
Miguel Mejías Moreno

AUTORES

Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno
Antonio Camacho González
Carlos Rochera Cordellat
David Sánchez Ramos
Lourdes Albacete Carreño

AUTORES Y COLABORADORES POR ESPECIALIDADES

Geología

Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro
Miguel Mejías Moreno

Hidrogeología e hidroquímica

Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno

Hidrología

David Sánchez Ramos
Bruno J. Ballesteros Navarro
Miguel Mejías Moreno

Modelo conceptual y balance hídrico

Bruno J. Ballesteros Navarro
David Sánchez Ramos
Gema Sánchez Emeterio

Valores ambientales

Antonio Camacho González
Carlos Rochera Cordellat

Geografía, climatología y características fisiográficas

Carlos Camuñas Palencia

Legislación y valores históricos y culturales

Lourdes Albacete Carreño

Cartografía y Sistemas de Información Geográfica

Carlos Camuñas Palencia
Natalia García Bravo
David Sánchez Ramos
Ana Castro Quiles

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS DE LOS AUTORES DE FOTOGRAFÍAS SIN PIE DE FIGURA:

Capítulo 1
Portada: Bruno J. Ballesteros Navarro
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia

Capítulo 2
Portada: Carlos Camuñas Palencia
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia

Capítulo 3
Portada: Carlos Camuñas Palencia
Contraportada: Bruno J. Ballesteros Navarro

Capítulo 4
Portada: Bruno J. Ballesteros Navarro
Contraportada: Bruno J. Ballesteros Navarro

Capítulo 5
Portada: Lourdes Albacete Carreño
Contraportada: Bruno J. Ballesteros Navarro

Capítulo 6
Portada: David López Bellón
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia

Capítulo 7
Portada: Carlos Camuñas Palencia
Contraportada: Bruno J. Ballesteros Navarro

Capítulo 8
Portada: Bruno J. Ballesteros Navarro
Contraportada: Lourdes Albacete Carreño

Capítulo 9
Portada: Carlos Camuñas Palencia
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia

Capítulo 10
Portada: Bruno J. Ballesteros Navarro
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia

Capítulo 11
Portada: Carlos Camuñas Palencia
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia

Capítulo 12
Portada: Lourdes Albacete Carreño
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia

Capítulo 13
Portada: Carlos Camuñas Palencia
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia

Capítulo 14
Portada: Carlos Camuñas Palencia
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia

Capítulo 15
Portada: Bruno J. Ballesteros Navarro
Contraportada: Miguel Mejías Moreno

Capítulo 16
Portada: Miguel Mejías Moreno
Contraportada: Miguel Mejías Moreno

Capítulo 17
Portada: Bruno J. Ballesteros Navarro
Contraportada: Miguel Mejías Moreno

Epilogo
Portada: Carlos Camuñas Palencia
Contraportada: David López Bellón

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) es un organismo público de investigación adscrito al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Entre las misiones encomendadas por la normativa vigente, cabe destacar el estudio de la constitución geológica del territorio nacional, encaminado a la mejora del conocimiento relacionado con las Ciencias de la Tierra y su aplicación, para un mejor servicio a las administraciones públicas y a los ciudadanos. Así, entre otros, aspectos relativos a la hidrogeología, el aprovechamiento de los recursos minerales, la prevención de los riesgos geológicos, la puesta en valor del patrimonio geológico o la aplicación de la geología en temas relacionados con la ordenación del territorio, suponen importantes aportaciones que redundan en el beneficio de la sociedad en general.

Si bien el presente de la institución constituye el principal haber del organismo, no resulta nada desdeñable su significativo pasado. En el momento de escribir estas líneas, el IGME cuenta con 169 años de historia. Su creación data de 1849, año en que S. M. la Reina Isabel II promulgó el Real Decreto de 12 de julio (Gaceta del 20 de julio) que dio lugar a la Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino.

En estos largos años de servicio ininterrumpido a la sociedad, el IGME ha prestado una eficaz labor en la creación de infraestructuras relacionadas con las Ciencias de la Tierra y en el desarrollo del conocimiento del territorio. Entre estas actividades, y por la especialidad de la presente publicación, cabe reseñar las referidas al agua. Ya en el preámbulo del mencionado Real Decreto de 12 de julio de 1849, se recoge *"la oportunidad y necesidad de aplicar la ciencia para abrir pozos artesianos que puedan paliar la escasez de agua, de manera que estos conocimientos aumenten la probabilidad del buen éxito"*.

A lo largo de su dilatada historia, el IGME ha desarrollado una fructífera actividad en el campo de la hidrogeología y del aprovechamiento de las aguas subterráneas. En los primeros mapas geológicos, publicados en las últimas décadas del siglo XIX, se incluía información relativa a la hidrogeología del territorio cartografiado, pero es a principio de los años 70 del pasado siglo cuando de forma planificada se aborda la elaboración de la cartografía hidrogeológica sistemática del territorio español. No obstante, la principal actividad científico-técnica que dio lugar al desarrollo de la Hidrogeología moderna en España fue el denominado Plan Nacional de Investigación de las Aguas Subterráneas (PIAS), iniciado en 1972 y promovido dentro del marco general del Plan Nacional de Investigación Minera (PNIM).

En el PIAS se establecieron los principales sistemas acuíferos de España y se comenzaron a poner de manifiesto las relaciones entre las aguas subterráneas y las superficiales, así como el vínculo de las primeras con los principales lagos y lagunas del territorio. Casi al mismo tiempo en el que se desarrollaba el PIAS, el interés y preocupación de la sociedad por la conservación medioambiental y, en concreto, por los humedales, impulsó la formalización de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, conocida en forma abreviada como Convenio de Ramsar, ciudad de Irán donde fue firmada el 2 de febrero de 1971, con entrada en vigor el 21 de diciembre de 1975. España ratificó el Convenio de Ramsar en 1982 con la inclusión de dos zonas húmedas: Doñana y Las Tablas de Daimiel. Desde entonces, y hasta el momento actual, se han declarado en España 75 lugares Ramsar.

En la cuenca hidrográfica del río Guadiana los trabajos y actividades del PIAS se iniciaron en 1973. Se definieron los cinco grandes sistemas acuíferos en su cuenca alta, entre ellos el ampliamente conocido Sistema Acuífero 23, y se establecieron las primeras relaciones entre sus humedales y las aguas subterráneas, con mención especial a los trabajos realizados en el entorno de Las Tablas de Daimiel. Desde entonces, la cuenca hidrográfica del río Guadiana, y en especial su cuenca alta, ha ocupado un lugar preferente en la actividad técnica e investigadora del IGME. Así, los estudios llevados a cabo a lo largo de las últimas cuatro décadas han resultado esenciales para mejorar el conocimiento de las aguas subterráneas y su relación con los humedales. Aprovechando esta sinergia, el IGME ha participado en el proyecto: "Patrones ecológicos en lagunas mesetarias: las claves para su conservación (ECOLAKE)", referencia CGL 2012-38909, subvencionado por el Plan Nacional de Investigación Científica y Técnica 2008-2012, cofinanciado por el Gobierno de España y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Los resultados del proyecto de investigación han quedado plasmados en los documentos previstos en el Subprograma de Proyectos de Investigación y en los artículos científicos propios de este tipo de actividades; pero la producción científica puede y debe complementarse con su divulgación y traslado a la sociedad en general, de manera que los logros de la investigación tengan también eco en los estamentos de la población con un menor interés por lo estrictamente científico pero, cada vez más, con un creciente interés por el medio ambiente y su conservación.

De los 17 humedales mesetarios comprendidos en este estudio se describen sus características geológicas, hidrogeológicas, hidroquímicas, sus valores ambientales, históricos, socioeconómicos y culturales. En la mayoría de ellos, se establece por primera vez su balance hídrico, calculado mediante una innovadora metodología que, sin duda, resultará de referencia para estudios similares.

Esta publicación supone un ejemplo de cómo aunar la investigación y el desarrollo técnico con la sociedad y la cultura, elaborando una obra de divulgación científica con profusión de imágenes que documentan el presente y el pasado de las 17 lagunas esteparias de la comunidad autónoma de Castilla-La Mancha. Esta divulgación de la investigación científica supone, además, un ejemplo de la contribución y vocación de servicio del IGME a la sociedad.

Como Director del IGME considero un privilegio dar a conocer esta obra que, sin duda, será libro de consulta y referencia obligada en el estudio de los principales ecosistemas acuáticos del curso alto del río Guadiana, en particular, y de Castilla-La Mancha en general. Y que, como recogen la Convención para la Salvaguarda del Patrimonio Cultural Inmaterial de la UNESCO y la Convención sobre los Humedales RAMSAR, identifica y resalta los valores científicos, medioambientales y culturales de los humedales.

Francisco González Lodeiro
Director del Instituto Geológico y Minero de España

Cuando se afronta el estudio de las zonas húmedas es un hecho común que los trabajos se aborden preferentemente, y casi de forma exclusiva, desde la perspectiva del medio biótico. Como resultado, al repasar la bibliografía científica sobre este tipo de medios naturales se suele encontrar un gran número de publicaciones dedicadas al estudio de sus hábitats y ecosistemas. Sin embargo, y por el contrario, son muy escasos los dedicados al estudio del medio físico que los alberga y que, en definitiva, constituye el elemento básico que posibilita su creación. Entre otros factores, es esencial conocer cuáles son las circunstancias que permiten la presencia de agua en un punto específico, dando lugar a la formación de una zona inundada capaz de configurar un medio idóneo que permita el desarrollo de un determinado tipo de vegetación y de fauna.

En el sentido aludido, la formación de un humedal exige la confluencia de unos determinados condicionantes de tipo climático, geológico e hidrológico, sin el concurso de los cuales no podría existir. En consecuencia, para su adecuada comprensión es necesario identificar y conocer con el mayor grado de detalle posible dichas singularidades, así como las consecuencias que de ellas se derivan. Uno de los factores que necesariamente debe ser definido en este tipo de medios, y sometido a estudio de forma obligada, es el de los recursos hídricos y su modelo conceptual de funcionamiento hidrológico, ya que, en definitiva, un entorno natural puede constituir cualquier tipo de ecosistema de mayor o menor valor ambiental, pero sin el concurso del agua jamás podrá ser una zona húmeda.

El agua, por propia definición, constituye el principal elemento físico de cualquier humedal y su presencia responde a la existencia de uno o varios sistemas hídricos de origen superficial, subterráneo o de la combinación de ambos, cuyo resultado será un balance hídrico característico que condicionará su comportamiento y determinará el medio biótico a él asociado. En consecuencia, para la adecuada conservación y gestión de estos ecosistemas es necesario identificar los distintos procesos que intervienen y los diferentes elementos que integran las entradas y salidas de agua al ecosistema.

En otro orden de cosas, los aspectos culturales y los relacionados con el entorno social que rodea a los humedales y lagunas, aunque tratados de forma más frecuente, y por tanto con información más abundante, suelen ser abordados en otros ámbitos divulgativos por autores de distinta formación y procedencia, por lo que, en cierta forma, quedan desligados de los trabajos científico-técnicos referentes tanto al medio biótico como a los escasos que tratan sobre el medio físico.

Conscientes de estas limitaciones, esta publicación se ha abordado desde una visión integradora, con la inclusión en un mismo documento de todos los aspectos y condicionantes a los cuales se encuentran sometidos los humedales. En concreto, se han analizado y descrito los relativos al medio físico, con especial incidencia en el funcionamiento hidrodinámico y en el balance hídrico, y al medio biológico, así como a sus connotaciones culturales, históricas, económicas y sociales que, de una u otra forma, están relacionados con ellos. La conjunción de toda esta información en un solo documento aporta una visión de amplio espectro de lo que suponen las zonas húmedas y de la riqueza de todo tipo que generan para el territorio en el que se incardinan. Revelan y potencian, en definitiva, de una manera global y al mismo tiempo detallada, sus auténticos valores.

Es obligado resaltar que el germen de esta publicación la constituye el proyecto: *Patrones ecológicos en lagunas mesetarias: las claves para su conservación (ECOLAKE)* del Plan Nacional de Investigación Científica y Técnica 2008-2012, en el que, en coherencia con todo lo expuesto, y centrado en el estudio del medio hídrico, el IGME consideró de gran interés participar. Dicho proyecto de investigación se basó en la selección de 17 humedales mesetarios de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, distribuidos entre las provincias de Cuenca, Toledo y Ciudad Real en los que, además de los minuciosos trabajos de orden medioambiental, se llevó a cabo un detallado análisis climático, geológico, hidrológico e hidrogeológico con el fin último de establecer su comportamiento hidrodinámico. También es necesario reseñar que los humedales que comprende esta publicación no responden a su mayor o menor importancia por la extensión de su área inundada, sino que fueron seleccionados por su tipología y por las características de su biota, según los objetivos planteados en el proyecto ECOLAKE.

Con este cometido se abordó, en primer lugar, el diseño de una metodología específica para la determinación del balance hídrico de este tipo de sistemas, en cuya calibración y ajuste se contó con las medidas periódicas del nivel de agua en cada una de las lagunas tomadas durante los dos años de duración del referido proyecto (2012/2013 y 2013/2014). Validada la metodología, así como los parámetros de las variables utilizadas, se reprodujo la evolución temporal del nivel de inundación en cada humedal para los últimos 15 años disponibles en ese momento (2001/2016) y, en consecuencia, pudo definirse su hidroperiodo.

La necesidad de contar con la referida metodología radica en el hecho de que la génesis de un humedal es la resultante de la interacción entre los agentes climáticos y los agentes geológicos, condicionantes a su vez de los factores hidrológicos. Dentro de este contexto, los aportes superficiales dependerán básicamente de las características de la cuenca vertiente y de la extensión del vaso, mientras que la relación con las aguas subterráneas dependerá de la existencia o ausencia de formaciones geológicas permeables, pudiendo darse en uno u otro sentido o, simplemente, no existir. En consecuencia, dicha relación es de difícil cuantificación, aspecto que constituye el objetivo final de la metodología planteada. El resultado de estas interacciones será un balance hídrico que determinará el nivel de inundación de la cubeta y las características físico-químicas de sus aguas. En definitiva, y como ya ha sido comentado, la confluencia de los factores mencionados condicionará el desarrollo de distintos tipos de hábitats, que la intervención humana podrá modificar en mayor o menor medida, en algunos casos extremos hasta su total desaparición.

El libro se estructura en 17 capítulos. En el primero de ellos se exponen los motivos y las circunstancias que dan lugar a la publicación, con la justificación de su interés científico-divulgativo y social, especialmente para las poblaciones ribereñas. También se aporta una visión general sobre la evolución histórica de la percepción que el ser humano ha tenido sobre estos ecosistemas a lo largo del tiempo y de su creciente interés por ellos. En el segundo capítulo se ofrece una visión general de la legislación básica actualmente vigente sobre los humedales y sus principales figuras de protección. En los siguientes dos capítulos se describen los aspectos generales del territorio, tanto de orden climático como geográfico, así como geológico e hidrogeológico. En el quinto se expone la metodología desarrollada de forma específica para la determinación del balance hídrico de los humedales analizados, tema que, como se ha referido, constituye uno de los ejes centrales de esta publicación.

Los restantes capítulos están dedicados a cada una de las lagunas seleccionadas, con la descripción pormenorizada en sus apartados iniciales de su marco fisiográfico y climático, la normativa de protección a la que se encuentran sometidas, y los aspectos económicos y sociales del municipio donde se ubican. Los siguientes apartados tratan sobre los valores ambientales, culturales e históricos, a los que se ha querido prestar especial relevancia. Se continúa con los aspectos científicos del medio físico, como son los referentes a la hidrología, a la geología y a la hidrogeología, así como al funcionamiento hidrodinámico del humedal, con especial desarrollo del apartado en el que se aborda la determinación del balance hídrico. También la calidad de las aguas subterráneas y la de los propios humedales ha sido objeto de análisis detallado. El capítulo de cada una de las lagunas concluye con un apartado de gran contenido gráfico que ilustra sobre la evolución sufrida por su entorno a lo largo de los últimos 50 años.

Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro
Miguel Mejías Moreno
Editores

Agradecimientos

Esta publicación ha sido posible gracias al apoyo técnico y logístico del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), organismo que ha financiado íntegramente su edición.

Sin embargo, no podemos olvidar que su contenido ha sido completado y mejorado por la colaboración desinteresada de gran número de personas que han brindado su ayuda y sus conocimientos. Los editores queremos mostrar nuestro reconocimiento a los que, de un modo u otro y en mayor o menor medida, han contribuido a la elaboración de este libro, tanto personas a título particular, como a organismos e instituciones de carácter público o privado. Especial mención cabe hacer a todos los consistorios que nos han facilitado imágenes e información que lo han enriquecido de manera sustancial. A todos los que nos han transmitido sus vivencias, han aportado documentación o información, nos han aconsejado sobre su búsqueda, o bien nos han acompañado a la toma de datos en campo, trabajo fundamental y a veces poco reconocido, nuestro más sincero agradecimiento. Su respeto y admiración por las lagunas, en ocasiones abandonadas e incluso olvidadas, ha sido para nosotros un ejemplo para ponerlas en valor.

También queremos resaltar la contribución del Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España y de la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional-FEDER "*Una manera de hacer Europa*", financiadores del proyecto ECOLAKE, *Patrones ecológicos en lagunas mesetarias: las claves para su conservación, CGL2012-38909*, que tuvo como investigador principal a Antonio Camacho González, de la Universidad de Valencia. Dicho proyecto, que permitió la caracterización de los valores ambientales de las lagunas, así como de los aspectos relacionados con el medio físico, constituye el germen de esta publicación, la cual recoge de manera sintetizada parte de la información generada a lo largo de los tres años de duración del mencionado proyecto. La documentación también se ha complementado y enriquecido con datos del proyecto CLIMAWET (*CGL2015-69557-R*), actualmente en ejecución, dirigido y financiado por el mismo investigador y las mismas entidades.

Además de los que ya constan en este libro como autores y colaboradores, queremos hacer expresa mención a los investigadores del proyecto ECOLAKE, que contribuyeron a la generación de la información contenida en él: Antonio Picazo, José Antonio Gil-Delgado, Francesc Mesquita, Javier Armengol, Anna C. Santamans, Andreu Castillo-Escrivà, Luis Valls, María Belenguer, Maykoll Corrales, Carolina Doña, Cristina Camps, Daniel Morant, Javier Miralles-Lorenzo, Francisco Ruíz, Sara M. Morata, Maycon Gonçalves, Vanessa Brito, Eduardo Vicente y María Rosa Miracle (Universidad de Valencia); Máximo Florín, Rafael U. Gosalvez y Gema Sánchez (Universidad de Castilla-La Mancha); Germán López (Universidad de Alicante); Eugenio Rico (Universidad Autónoma de Madrid) y Adrián Ponz (Universidad de Zaragoza).

Por último, queremos manifestar expresamente nuestra gratitud a todos los que han ayudado a que este libro haya podido ser una realidad:

- Dña. Rosa Melchor Quiralte, alcaldesa de Alcázar de San Juan y a Dña. Rosa Idalia Cruz Campo, segunda teniente de alcalde de Alcázar de San Juan, *por el apoyo logístico y las facilidades que nos han ofrecido para la presentación de esta publicación en la localidad de Alcázar de San Juan*
- Dña. Araceli Olmedo Serrano, Presidenta y a D. Antonio Alcaide Valero, Director Gerente de la Comunidad de Usuarios de la Masa de Agua Subterránea Mancha Occidental II, *por el apoyo logístico prestado para la presentación de este libro*
- Ayuntamiento de Alcázar de San Juan
- Ayuntamiento de Pedro Muñoz
- Ayuntamiento de Mota el Cuervo
- Ayuntamiento de Miguel Esteban
- Ayuntamiento de Campo de Criptana
- Ayuntamiento de Quero
- Ayuntamiento de Lillo
- Ayuntamiento de Villacañas
- Ayuntamiento de Villafranca de los Caballeros
- Ayuntamiento de Malagón
- Ayuntamiento de Caracuel de Calatrava
- Ayuntamiento de Corral de Calatrava

- Ayuntamiento de Pozuelo de Calatrava
- Ayuntamiento de Almodóvar del Campo
- Fundación Global Nature (*FGN*), *por su implicación y por la documentación gráfica y audiovisual facilitada sobre los humedales*
- Dolores Gómez-Escalonilla Sánchez. *IGME, por su apoyo en el tratamiento de datos*
- Rafael Ochando Jiménez. *IGME, por su colaboración en los arduos trabajos de campo*
- María R. López Onieva. *FGN*
- Amanda del Río Molina. *FGN*
- Jesús Marín Rodríguez, *por su colaboración mediante la aportación de material gráfico-tecnológico*
- Sara Martín Aguado, *por la ayuda prestada con la documentación gráfica*
- Irene Peces Sánchez, *por su labor en soporte informático e impresión*
- Pablo Pichaco García, *biólogo y Educador Ambiental de Aguas de Alcázar, por su interés, asesoría, información y gran implicación en la búsqueda de datos en el entorno del complejo lagunar de Alcázar de San Juan*
- Francisco José Atienza Santiago, *Patronato Municipal de Cultura de Alcázar de San Juan, por su información y aportación de imágenes*
- Ángel Vaquero Román, *Patronato Municipal de Cultura de Alcázar de San Juan*
- Miguel Ángel Martínez Cortés, *historiador y Jefe de la Policía Local de Alcázar de San Juan*
- Jesús Mª Lizcano Tejado, *vecino y escritor local de Alcázar de San Juan, por la información facilitada*
- María Isabel Sánchez Duque, *arqueóloga e historiadora de Pedro Muñoz, por su colaboración en la laguna de Alcahozo*
- Tamara Panduro Sierra, *Técnico de Medio Ambiente del ayuntamiento de Pedro Muñoz, por su aportación gráfica y conocimientos sobre el complejo lagunar del Alto Záncara*
- Francisco Javier Escudero Muñoz, *historiador y arqueólogo de Mota del Cuervo, por la información facilitada sobre la historia de la laguna de Manjavacas*
- Mª Ángeles Cano Zarco, *oficina de Información Turística del ayuntamiento de Mota del Cuervo, por su gran interés y amplia aportación gráfica facilitada*
- David López Bellón, *por su contribución gráfica en el complejo del Alto Záncara*
- Vicente Torres Encinas, *historiador y vecino de Quero, por la información cultural sobre el aprovechamiento de la sal en varias de las lagunas mesetarias*
- Gema Casas Jiménez, *Técnico de Medio Ambiente del ayuntamiento de Miguel Esteban*
- José Félix Ochoa Torres, *vecino de Miguel Esteban*
- Julián Sánchez Casas, *alcalde de la localidad de Lillo*
- Juan Cañadas Juárez, *agente de Empleo y Desarrollo Local del ayuntamiento de Lillo*
- Antonio Pedraza Gómez, *vecino de Lillo y Coronel del Ejército de Tierra, especialista en Infraestructuras y medio ambiente, por sus conocimientos históricos de la explotación salinera en El Longar*
- Ángeles Pontes Pazos, *Técnico de Medio Ambiente y Agricultura del ayuntamiento de Villacañas, por la información y documentación facilitada del complejo lagunar de Villacañas*
- Mª Carmen Comendador Comendador, *Técnico de Medio Ambiente del ayuntamiento de Villafranca de los Caballeros*
- Domingo Camuñas Gómez, *historiador de Villafranca de los Caballeros*
- José Luis Pérez Cejuela, *vecino de Villafranca de los Caballeros*
- José Alcolado Patiño, *vecino de Villafranca de los Caballeros*
- Carmelo Fernández Calvo, *arqueólogo y coordinador de Cultura del ayuntamiento de Malagón, por su aportación gráfica y documentación histórica*
- Julián Triguero Calle, *alcalde del municipio de Pozuelo de Calatrava*
- Irene Fernández Elvira, *Técnico de Medio Ambiente del ayuntamiento de Pozuelo de Calatrava*
- Eugenio Martínez Espinosa, *Técnico de Gestión en Empleo y Desarrollo Local del ayuntamiento de Pozuelo de Calatrava*
- Rosario Luis Muñoz Triguero, *vecino de Pozuelo de Calatrava, por su aportación histórica sobre la laguna del Prado*
- José Lozano García, *alcalde del municipio de Almodóvar del Campo*
- Javier de la Fuente Martínez, *vecino de Almodóvar del Campo, por su amplia aportación gráfica*
- Mª Carmen Martínez León, *Presidenta de la Asociación Amigos de la Historia de Almodóvar del Campo*
- Josefina Martínez Martín, *vecina de Almodóvar del Campo, por su testimonio histórico*

A todos ellos, nuestro más sincero reconocimiento y agradecimiento.

página

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN **17**

Capítulo 2

LEGISLACIÓN BÁSICA SOBRE HUMEDALES Y FIGURAS DE PROTECCIÓN **23**

Marco Jurídico Internacional 25
Normativa de la Unión Europea 28
Normativa relacionada con la Red Natura 2000 29
Normativa sobre Política de aguas 30
Normativa específica sobre humedales 30
Normativa Nacional 31
Normativa Autonómica de Castilla-La Mancha 33

Capítulo 3

MARCO GEOGRÁFICO, GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO **35**

Capítulo 4

CLIMATOLOGÍA **41**

Capítulo 5

BALANCE HÍDRICO DE LOS SISTEMAS LAGUNARES. ASPECTOS METODOLÓGICOS **47**

Factores y procesos condicionantes del balance hídrico 49
Metodología de cálculo 51

Capítulo 6

COMPLEJO LAGUNAR DEL ALTO ZÁNCARA **55**

6.1. INTRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES 57
Climatología 58
Valores ambientales 58
6.2. LAGUNA DE ALCAHOZO 62
Situación geográfica, coordenadas y accesos 62
Características fisiográficas 62
Normativa específica y figuras de protección 62
Valores históricos y culturales 63
Contexto socioeconómico 66
Hidrología 67
Geología 67
Hidrogeología 69
Hidroquímica 70
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico 71
Evolución visual del territorio 75
6.3. LAGUNA DE MANJAVACAS 79
Situación geográfica, coordenadas y accesos 79
Características fisiográficas 79
Normativa específica y figuras de protección 79

página

Valores históricos y culturales ... 80
Contexto socioeconómico ... 83
Hidrología ... 86
Geología ... 86
Hidrogeología ... 88
Hidroquímica ... 90
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico ... 91
Evolución visual del territorio ... 95

Capítulo 7

LAGUNA DE MERMEJUELA ... 99

Situación geográfica, coordenadas y accesos ... 101
Características fisiográficas ... 102
Normativa específica y figuras de protección ... 102
Climatología ... 102
Valores ambientales ... 103
Valores históricos y culturales ... 106
Contexto socioeconómico ... 108
Hidrología ... 109
Geología ... 109
Hidrogeología ... 111
Hidroquímica ... 114
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico ... 115
Evolución visual del territorio ... 118

Capítulo 8

LAGUNA DE SALICOR ... 121

Situación geográfica, coordenadas y accesos ... 123
Características fisiográficas ... 124
Normativa específica y figuras de protección ... 124
Climatología ... 125
Valores ambientales ... 125
Valores históricos y culturales ... 127
Contexto socioeconómico ... 129
Hidrología ... 130
Geología ... 130
Hidrogeología ... 132
Hidroquímica ... 133
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico ... 134
Evolución visual del territorio ... 137

Capítulo 9

LAGUNA GRANDE DE QUERO ... 141

Situación geográfica, coordenadas y accesos ... 143
Características fisiográficas ... 144
Normativa específica y figuras de protección ... 144
Climatología ... 145
Valores ambientales ... 145
Valores históricos y culturales ... 147
Contexto socioeconómico ... 151
Hidrología ... 152

página

Geología ... 152
Hidrogeología ... 154
Hidroquímica ... 155
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico ... 156
Evolución visual del territorio ... 159

Capítulo 10

LAGUNA DE EL LONGAR ... 163

Situación geográfica, coordenadas y accesos ... 165
Características fisiográficas ... 166
Normativa específica y figuras de protección ... 167
Climatología ... 167
Valores ambientales ... 167
Valores históricos y culturales ... 171
Contexto socioeconómico ... 175
Hidrología ... 176
Geología ... 176
Hidrogeología ... 178
Hidroquímica ... 180
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico ... 181
Evolución visual del territorio ... 184

Capítulo 11

COMPLEJO LAGUNAR DE VILLACAÑAS ... 187

11.1. INTRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES ... 189
Climatología ... 190
Valores ambientales ... 190
Contexto socioeconómico ... 194
11.2. LAGUNA LARGA ... 195
Situación geográfica, coordenadas y accesos ... 195
Características fisiográficas ... 195
Normativa específica y figuras de protección ... 195
Valores hitóricos y culturales ... 196
Hidrología ... 197
Geología ... 198
Hidrogeología ... 200
Hidroquímica ... 201
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico ... 202
Evolución visual del territorio ... 206
11.3. LAGUNA DE TÍREZ ... 209
Situación geográfica, coordenadas y accesos ... 209
Características fisiográficas ... 209
Normativa específica y figuras de protección ... 209
Valores históricos y culturales ... 210
Hidrología ... 213
Geología ... 214
Hidrogeología ... 216
Hidroquímica ... 218
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico ... 219
Evolución visual del territorio ... 222

página

11.4. LAGUNA DE PEÑA HUECA 225
Situación geográfica, coordenadas y accesos 225
Características fisiográficas 225
Normativa específica y figuras de protección 225
Valores históricos y culturales 227
Hidrología 228
Geología 229
Hidrogeología 231
Hidroquímica 233
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico 234
Evolución visual del territorio 237

Capítulo 12

LAGUNA GRANDE DE VILLAFRANCA 241

Situación geográfica, coordenadas y accesos 243
Características fisiográficas 244
Normativa específica y figuras de protección 244
Climatología 245
Valores ambientales 246
Valores históricos y culturales 248
Contexto socioeconómico 254
Hidrología 255
Geología 255
Hidrogeología 257
Hidroquímica 259
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico 260
Evolución visual del territorio 263

Capítulo 13

COMPLEJO LAGUNAR DE ALCÁZAR DE SAN JUAN 267

13.1. INTRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES 269
Climatología 270
Valores ambientales 270
Contexto socioeconómico 274
Valores culturales 275
13.2. LAGUNA DE LAS YEGUAS 277
Situación geográfica, coordenadas y accesos 277
Características fisiográficas 277
Normativa específica y figuras de protección 277
Valores históricos y culturales 278
Hidrología 280
Geología 280
Hidrogeología 282
Hidroquímica 284
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico 285
Evolución visual del territorio 288
13.3. LAGUNA DEL CAMINO DE VILLAFRANCA 291
Situación geográfica, coordenadas y accesos 291
Características fisiográficas 291

página

Normativa específica y figuras de protección ... 292
Valores históricos y culturales ... 293
Hidrología ... 293
Geología ... 294
Hidrogeología ... 296
Hidroquímica ... 300
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico ... 301
Evolución visual del territorio ... 304

13.4. LAGUNA DE LA VEGUILLA ... 307

Situación geográfica, coordenadas y accesos ... 307
Características fisiográficas ... 307
Normativa específica y figuras de protección ... 307
Valores históricos y culturales ... 308
Hidrología ... 311
Geología ... 312
Hidrogeología ... 313
Hidroquímica ... 315
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico ... 316
Evolución visual del territorio ... 319

Capítulo 14

LAGUNA NAVA GRANDE ... 323

Situación geográfica, coordenadas y accesos ... 325
Características fisiográficas ... 326
Normativa específica y figuras de protección ... 326
Climatología ... 326
Valores ambientales ... 327
Valores históricos y culturales ... 330
Contexto socioeconómico ... 332
Hidrología ... 333
Geología ... 333
Hidrogeología ... 335
Hidroquímica ... 337
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico ... 338
Evolución visual del territorio ... 341

Capítulo 15

LAGUNA DE CARACUEL ... 345

Situación geográfica, coordenadas y accesos ... 347
Características fisiográficas ... 348
Normativa específica y figuras de protección ... 348
Climatología ... 349
Valores ambientales ... 350
Valores históricos y culturales ... 351
Contexto socioeconómico ... 354
Hidrología ... 355
Geología ... 355
Hidrogeología ... 357
Hidroquímica ... 359
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico ... 360
Evolución visual del territorio ... 363

página

Capítulo 16

LAGUNA DEL PRADO 367

Situación geográfica, coordenadas y accesos 369
Características fisiográficas 370
Normativa específica y figuras de protección 370
Climatología 371
Valores ambientales 372
Valores históricos y culturales 374
Contexto socioeconómico 378
Hidrología 379
Geología 379
Hidrogeología 381
Hidroquímica 383
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico 384
Evolución visual del territorio 387

Capítulo 17

LAGUNA DE ALMODÓVAR 391

Situación geográfica, coordenadas y accesos 393
Características fisiográficas 394
Normativa específica y figuras de protección 394
Climatología 394
Valores ambientales 396
Valores históricos y culturales 398
Contexto socioeconómico 400
Hidrología 401
Geología 401
Hidrogeología 403
Hidroquímica 405
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico 406
Evolución visual del territorio 409

EPÍLOGO 413

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 417

PERFIL PROFESIONAL DE LOS AUTORES 427

Capítulo 1



INTRODUCCIÓN





1. INTRODUCCIÓN

La presente publicación tiene como eje vertebrador la metodología y los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto de investigación: "Patrones ecológicos en lagunas mesetarias: las claves para su conservación (ECOLAKE)", referencia CGL 2012-38909, liderado por la Universidad de Valencia, en el que han participado especialistas de la citada universidad y del Instituto Geológico y Minero de España, así como de las Universidades de Castilla-La Mancha, Alicante, Zaragoza, Copenhague (Dinamarca) y Hull (Reino Unido). El mencionado proyecto corresponde al Plan Nacional de Investigación Científica y Técnica 2008-2012 y ha sido cofinanciado por el Gobierno de España y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Entre los resultados del proyecto cabe destacar la elaboración de una base de datos georreferenciada, en un sistema de información geográfica (SIG), que incluye los ecosistemas acuáticos objeto de estudio y un registro temporal y espacial de los datos obtenidos; la definición del modelo de funcionamiento hidrológico de las lagunas y su balance hídrico; la determinación de los patrones espaciales y temporales de la diversidad de las poblaciones de vertebrados, invertebrados, macrófitos y microorganismos presentes en ellas y el desarrollo de modelos de funcionamiento ecológico, entre otros aspectos.

Evidentemente, los resultados del proyecto han quedado plasmados en los documentos previstos en el Subprograma de Proyectos de Investigación y en los artículos científicos propios de este tipo de actividades; pero la producción científica puede y debe complementarse con su divulgación y traslado a la sociedad en general, de manera que los logros de la investigación tengan también eco en los estamentos de la población con un menor conocimiento científico pero, cada vez más, con un creciente interés por el medio ambiente y su conservación.

Este libro recoge, en formato de alta divulgación científica, los aspectos más relevantes sobre el medio físico y los valores ambientales de las lagunas esteparias estudiadas en el mencionado proyecto de investigación,

pero incluye además otros contenidos que enriquecen y completan el conocimiento de estos humedales, especialmente los que tienen relación con el ser humano.

La ocupación del territorio por el hombre a lo largo de la historia, y sobre todo durante el siglo XX, ha modificado, en muchos casos de manera determinante, el funcionamiento natural y las características de estos ecosistemas. Consciente de ello, esta publicación pretende incorporar, de un modo armónico y ameno, la demografía, la cultura y la historia de los humedales a su Geodiversidad y Biodiversidad, con una visión global e integrada de su evolución temporal que explica gran parte de sus condicionantes y circunstancias actuales.

Así, se relaciona cada una de las lagunas con las particularidades económicas y socioculturales del municipio donde se ubican y, mediante entrevistas personalizadas, se recoge la opinión y el conocimiento empírico que la población ribereña tiene sobre ellas.

En este sentido, la presente publicación pretende adoptar la filosofía RAMSAR en cuanto a la relación del ser humano con el medio natural. El conocido coloquialmente como Convenio de Ramsar, firmado el 2 de febrero de 1971 en la ciudad iraní de Ramsar, a orillas del mar Caspio, hace referencia a la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas. Celebrada entre el 30 de enero y el 2 de febrero de ese mismo año, en esta conferencia participaron 18 países, 8 de ellos europeos, incluido España.

La convención de RAMSAR lleva abordando los aspectos culturales de los humedales de manera específica desde hace unos quince años. Pasos importantes en este sentido han sido las Resoluciones VIII.19 y IX.21, ambas orientadas a la necesidad de tomar en cuenta los aspectos culturales en la gestión de estos ecosistemas naturales. Según dichas Resoluciones, las partes contratantes deben ser conscientes de los valores culturales de los humedales y de la gran importancia que han tenido y todavía tienen para las sociedades ribereñas, a las que han aportado rasgos esenciales de su identidad. RAMSAR considera que la pérdida de esta cultura supondría un impacto negativo y un distanciamiento social. Por tanto, alienta a las partes contratantes a realizar estudios monográficos que identifiquen y analicen los valores culturales relacionados con los humedales, así como a darles amplia difusión con el fin de incrementar el conocimiento y la comprensión que estos aspectos tienen sobre la conservación y el uso racional de dichos ecosistemas.

En este mismo sentido, en Castilla-La Mancha coexisten de forma natural la cultura y los humedales. La relación del hombre con el medio ambiente condiciona la cultura y el desarrollo de los procesos sociales, por lo que, en



consecuencia, las lagunas esteparias manchegas son en buena medida responsables de la impronta cultural, tangible e intangible, que pasadas civilizaciones nos dejaron. Así, se hace necesario dar a conocer la identidad histórica y cultural de estas lagunas antes de que su tradición oral se pierda con la desaparición de los últimos testigos de los modos de vida de otras épocas y del uso primario de sus recursos. Conocer la historia más próxima, y también más lejana, para salvaguardar el conocimiento y la influencia que estos ecosistemas naturales, y las actividades relacionadas con ellos, han tenido sobre las sociedades humanas asentadas en sus aledaños, es uno de los principales objetivos de esta publicación. La finalidad no es otra que intentar ofrecer, por primera vez en la bibliografía especializada, una visión global de cada laguna enfocada a través de las relaciones con su entorno más próximo, y transmitir bajo una perspectiva integrada su patrimonio natural, cultural y socioeconómico.

Pero qué mejor forma de iniciar la lectura de esta publicación que poniendo de manifiesto lo que es un humedal y su importancia. Son muchos los textos y referencias bibliográficas que abordan su definición, sin embargo no se trata aquí de hacer un análisis exhaustivo sobre los diversos enfoques bajo los cuales ésta es establecida, sino más bien de poner en valor estos ecosistemas.

El término "Humedal" o "Wetland" fue utilizado por primera vez en el año 1956 por el Fish and Wildlife Service (FWS) de los EEUU. La definición se utilizó en un informe referido a terrenos de escasa cota topográfica con una columna de agua poco profunda o de aguas intermitentes, tales como pantanos, ciénagas, turberas, vegas, pozones, fangos y tierras anegadas. También fueron incluidas en esta definición los lagos poco profundos y pozas con vegetación emergente. Sin embargo, quedaban fuera de ella los cursos de agua permanentes, reservas de agua y lagos profundos (National Research Council, 1995).

Según el artículo 1.1 de la Convención Ramsar (1971) los humedales son: "las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros".

Más tarde, en el año 1995, el Comité sobre Caracterización de Humedales de EEUU desarrolló una amplia definición en la que se contemplan a los humedales como: "un ecosistema que depende de la inundación constante o saturación recurrente sobre o cerca de la superficie del suelo". Las características comunes al diagnóstico de los humedales son suelos hídricos y vegetación hidrófila, por lo que deberán estar presentes, excepto donde los factores fisicoquímicos específicos, bióticos o antropogénicos las hayan eliminado.



Laguna de Alcahozo. Diciembre de 2013 (B.J. Ballesteros)

Finalmente, y para que no resulte demasiado extenso, hay que exponer la definición recogida en el Inventario de Humedales de la Dirección General de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de 1991: "los humedales son cualquier unidad funcional del paisaje, que no siendo ni un río, ni un lago, ni el medio marino, constituye tanto espacial como temporalmente una anomalía hídrica positiva en relación con un territorio adyacente más seco. El exceso de humedad debe ser lo suficientemente importante como para afectar a los procesos físico-químicos y biológicos. Estos componentes del paisaje se caracterizan por contener suelos hídricos y comunidades vegetales hidrófilas, además de poseer una fauna, una microflora y unos usos humanos diferentes a los de los espacios adyacentes".

Al margen de definiciones más o menos precisas, lo verdaderamente relevante es que los humedales son enclaves naturales de un elevado valor ecológico. Constituyen laboratorios naturales donde, además de los tradicionales aspectos relacionados con su flora y fauna, se pueden estudiar procesos geológicos y biogeoquímicos entre otros procesos ambientales. Son un entorno privilegiado para analizar las posibles afecciones producidas por cambios climáticos, en tiempos geológicos o actuales, las oscilaciones del nivel del mar o procesos geológicos activos, entre otros. Son parte importante de la Geodiversidad y de la Biodiversidad y, como se ha puesto de relieve, constituyen elementos esenciales en la diversidad social y cultural de los territorios en los que se enmarcan.

Desde el punto de vista hidrológico, la alimentación de las zonas húmedas puede ser subterránea o superficial, o como suele ser más habitual, mixta, destacando que las aguas subterráneas juegan un papel muy importante en su génesis, mantenimiento, evolución y conservación de gran parte de los humedales existentes en España (Durán, 1995).

Existe una notable diversidad de humedales con diferentes clasificaciones en la bibliografía especializada para su sistematización en función de su génesis, factores ecológicos, condicionantes hidrológicos, localización geográfica, etc. En el ámbito científico las más empleadas son las basadas en los aspectos genético-funcionales, ya que los procesos de formación marcan las características del humedal y, en gran medida, su evolución. En este aspecto, los humedales descritos en esta publicación son de ámbito continental, dentro del cual se distinguen cinco subgrupos en función de los procesos genéticos dominantes: kárstico, fluvial, volcánico, estructural y por erosión diferencial. De forma más concreta, los aquí tratados se enmarcan en los tres primeros subgrupos.

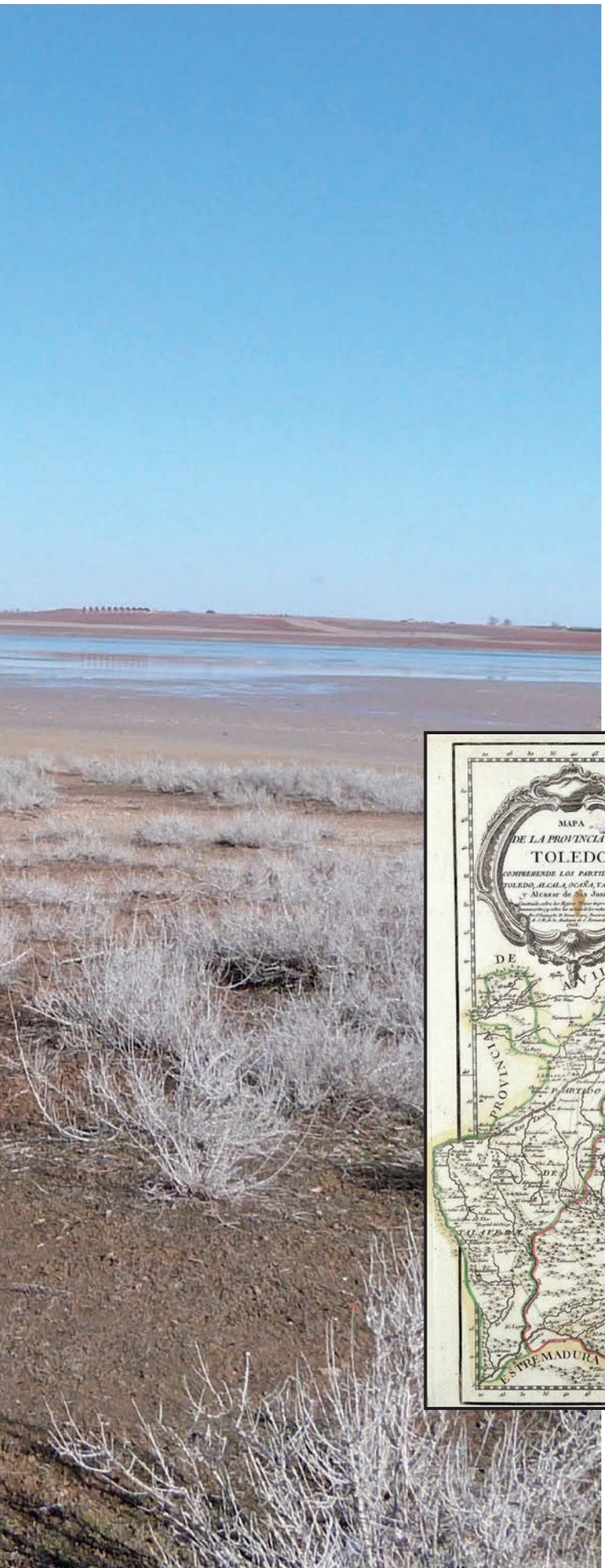
Por último, conviene comentar que en este libro se estudian y exponen las diferentes características y particularidades del medio físico y biótico de 17 lagunas mesetarias de la comunidad autónoma de Castilla-La Mancha, todas ellas enmarcadas en una tipología climática definida como semiárida. Es evidente que sólo en el ámbito de la mencionada Comunidad existen muchas más lagunas y zonas húmedas en general, pero los objetivos del proyecto que sirve de base a esta publicación perseguían el estudio de un número, necesariamente limitado, de lagunas que cubriesen el mayor espectro de escenarios posible. Así, en su selección primaron los aspectos biogeográficos, con la consideración de tres tipologías: a) lagunas que mantienen unas condiciones naturales con bajos niveles de impacto antrópico directo, b) lagunas que reciben o han recibido históricamente vertidos de aguas residuales, bien directamente o bien depuradas y que, por tanto, tienen alterado su patrón de funcionamiento trófico y c) lagunas que sufren o han sufrido otros tipos de impacto antrópico, como la explotación salinera, que han cambiado sus características morfométricas y otros factores determinantes de su funcionalidad.

Capítulo 2



LEGISLACIÓN BÁSICA SOBRE HUMEDALES Y FIGURAS DE PROTECCIÓN





2. LEGISLACIÓN BÁSICA SOBRE HUMEDALES Y FIGURAS DE PROTECCIÓN

MARCO JURÍDICO INTERNACIONAL

Cualquier tratado o convenio internacional del que el Estado forme parte, una vez publicado en el Boletín Oficial del Estado, pasa al ordenamiento jurídico y puede ser invocado ante los tribunales, por lo que se entiende que es de obligado cumplimiento. Por tanto, es importante conocer con precisión la repercusión que estos tratados y convenios suponen para el Estado español y, por extensión, para las comunidades autónomas.

Los principales convenios y tratados internacionales que afectan, de forma directa o indirecta, a la conservación de los humedales españoles y, en particular, a la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, se recogen en la tabla 2.1.



Mapa de la provincia de Toledo, comprende los partidos de Toledo, Alcalá, Ocaña, Talavera y Alcázar de San Juan. Realizado por el geógrafo Tomás López en 1768

Tabla 2.1. Principales tratados y convenios internacionales para la conservación de los humedales

CONVENIOS Y TRATADOS INTERNACIONALES DE IMPORTANCIA DIRECTA O INDIRECTA PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS HUMEDALES	
DENOMINACIÓN	**OBSERVACIONES Y TRANSPOSICIÓN AL ESTADO ESPAÑOL**
Convenio para la protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural de la UNESCO (Convención de París)	París, del 17 de octubre al 21 de noviembre de 1972. Se firma el 16 de noviembre de 1972
	Ratificado por el Estado español el 4 de mayo de 1982 (BOE núm. 156, de 1 de julio de 1982, páginas 17883 a 17887)
Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)	Firmado en Washington el 3 de marzo de 1973
	Enmendada en 1979 en Bonn (Alemania) y en 1983 en Gaborone (Botsuana)
	Ratificado por el Estado español el 30 de mayo de 1986 (BOE núm. 181, de 30 de julio de 1986, páginas 27045 a 27067)
Programa Hombre y Biosfera (Programa MaB)	Aprobado por la UNESCO el 30 de noviembre de 1971
	El 30 de noviembre de 1980, se declara Reserva de la Biosfera "La Mancha Húmeda"
	Ampliación de sus límites por Resolución de 17 de noviembre de 2014 (BOE núm. 288, de 28 de noviembre de 2014, páginas 97676 a 97680)
	A nivel autonómico Ley 11/2007, de 29 de marzo, de creación del Organismo Autónomo Espacios Naturales de Castilla-La Mancha
Convenio relativo a humedales de importancia internacional, especialmente como hábitats de especies acuáticas (Convenio de Ramsar)	Firmado el 2 de febrero de 1971 en Ramsar (Irán), entrada en vigor en diciembre de 1975
	Ratificado por el Estado español el 4 de mayo de 1982 (BOE núm. 199, de 20 de agosto de 1982, páginas 22472 a 22474)
Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de vida Silvestre (Convenio de Bonn)	Firmado en Bonn (Alemania) el 23 de junio de 1979 (texto corregido en fecha 13/09/91)
	Decisión 82/461/CEE del Consejo, de 24 de junio de 1982
	Ratificado por el Estado español el 12 de febrero de 1985 (BOE núm. 259, de 29 de octubre de 1985, páginas 34071 a 34076)
Convenio de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica	Firmado en Río de Janeiro (Brasil) el 5 de junio de 1992
	Decisión 93/626/CEE del Consejo, de 25 de octubre de 1993
	Ratificado por el Estado español el 5 de junio de 1992 (BOE núm. 27, de 1 de febrero de 1994, páginas 3113 a 3125)
	A nivel europeo, como respuesta al Convenio sobre Diversidad Biológica, se crea la Estrategia Pan-Europea para la Diversidad Biológica y Paisajística, 1995

Convenio para la protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural de la UNESCO (Convención de París)

Su objetivo se recoge en el artículo 4, donde se atribuye a cada uno de los Estados Parte "la obligación de identificar, proteger, conservar, rehabilitar y transmitir a las generaciones futuras el patrimonio cultural y natural situado en su territorio".

El Convenio considera que el patrimonio cultural y natural de los Estados, respetando en todo momento su soberanía, es, en definitiva, un «Patrimonio Mundial», y en consecuencia establece un sistema de cooperación y asistencia internacional para ayudar a los Estados a protegerlo y conservarlo, a través del llamado Comité del Patrimonio Mundial de la UNESCO.

Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)

El Convenio, además de afirmar que los Estados son los mejores protectores de su fauna y flora silvestres, pretende regular su comercio. La disposición reconoce que la cooperación internacional es esencial para la protección de aquellas especies de flora y fauna salvajes que figuren en sus apéndices: I) Especies muy amenazadas, II) Especies no amenazadas actualmente, pero que de seguir este ritmo podrían serlo en breve y III) Especies muy amenazadas o en peligro de serlo, y de aquellas otras incluidas, por requerimiento de un Estado Parte, con el objetivo de establecer un marco de cooperación internacional para prevenir su venta ilegal o explotación.

Programa Hombre y Biosfera (Programa MaB)

El Programa MaB desarrolla su actividad sobre una red de zonas protegidas denominadas Reservas de la Biosfera. Su objetivo principal consiste en la reconciliación del "uso sostenible" de cada Reserva con la conservación de su biodiversidad y de sus recursos biológicos.

Estos espacios protegidos se encuentran bajo la jurisdicción soberana de su país y gozan de reconocimiento internacional. En España, las Reservas de la Biosfera en 2016 alcanzaron el número de 48, distribuidas en 15 de las 17 Comunidades Autónomas. En Castilla-La Mancha existe una única Reserva de la Biosfera denominada "La Mancha Húmeda", declarada el 30 de noviembre de 1980 y modificada por Resolución de 17 de noviembre de 2014 del Organismo Autónomo Parques Nacionales, por la que la UNESCO aprueba su ampliación, pasando de una superficie de 25.000 ha a 418.087 ha y la inclusión de una población de 221.393 habitantes.

A nivel nacional, se referencian en el Capítulo I, Título IV, de la Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y la Biodiversidad, que lleva por título "Red española de Reservas de la Biosfera y Programa Persona y Biosfera (Programa MaB)". Norma que recuerda, en su artículo 70, que las Reservas de la Biosfera tienen la obligación de contar con un sistema de ordenación espacial que incluya zonas núcleo con alta categoría de protección, zonas de protección de dichas zonas núcleo y, por último, zonas de transición entre las áreas de mayores exigencias de protección y el resto del espacio. Tras la ampliación de 2014, la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera "La Mancha Húmeda", representativa de los valores mejor conservados, se extiende también a favor de los cursos de agua, ríos y arroyos permanentes o temporales, y ahora ocupan una superficie de 16.750 ha con la inclusión de 76 lagunas y el Dominio Público Hidráulico de 33 cauces.

En esta publicación se encuentran dentro de la Reserva de la Biosfera las lagunas de: **El Longar** (Lillo), **Grande de Quero** (Quero), **Mermejuela** (Miguel Esteban), **Grande de Villafranca** (Villafranca de los Caballeros) y **Larga, Tírez** y **Peña Hueca** (Villacañas), todas ellas en la provincia de Toledo.

En la provincia de Ciudad Real: **Las Yeguas, Camino de Villafranca** y **La Veguilla** (Alcázar de San Juan), **Alcahozo** (Pedro Muñoz) y **Salicor** (Campo de Criptana). Por último, la laguna de **Manjavacas** (Mota del Cuervo) en la provincia de Cuenca.

Convenio relativo a humedales de importancia internacional, especialmente como hábitats de especies acuáticas (Convenio de Ramsar)

La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional (Convenio de Ramsar), es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. La Convención define el uso racional de los humedales como "*el mantenimiento de sus características ecológicas, logrado mediante la implementación de enfoques por ecosistemas, dentro del contexto del desarrollo sostenible*". También, las Partes Contratantes se comprometen a trabajar en favor del uso racional de todos los humedales y recursos hídricos de su territorio mediante planes, políticas y legislación nacionales, así como medidas de gestión y educación.

El Convenio de Ramsar es el primer Tratado Internacional que plantea de forma abierta una política de protección para los humedales frente a las tradicionales políticas de desecación. En la actualidad, febrero de 2016, el número de Partes Contratantes del Convenio es de 169 y el de sitios Ramsar de 2.242, con una superficie total de 215.253.719 ha. Por su parte, España tiene 74 sitios designados como Humedales de Importancia Internacional, con una superficie de 303.090 ha.

De los humedales recogidos en esta publicación tienen la calificación de humedales RAMSAR: laguna del **Camino de Villafranca** con 136 ha, **Las Yeguas** con 67 ha, **Manjavacas** (244 ha) y la laguna del **Prado** (58 ha), todos ellos desde el 26 de marzo de 1993.

Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de vida Silvestre (Convenio de Bonn)

Dependiente del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la Convención establece que los Estados Partes deben colaborar en la conservación de las especies y sus hábitats, disponiendo de una protección especial las especies migratorias en peligro, enumeradas en los Apéndices I y II del Convenio. Por otro lado, destaca la importancia de determinados hábitats para la supervivencia de las especies migratorias de animales silvestres, como es el caso de los humedales para las aves acuáticas.

Convenio de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica

Sus objetivos están recogidos en su artículo 1 y básicamente son tres: "*la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos*". Este instrumento es legalmente vinculante para las Partes Contratantes, por lo que constituye el referente y la base fundamental para el desarrollo de la normativa y medidas para el logro de sus objetivos en España.

NORMATIVA DE LA UNIÓN EUROPEA

El artículo 249 del Tratado Constitutivo de la Comunidad Europea recoge el marco general de la adopción de normas comunitarias que permite al Consejo y a la Comisión, para el ejercicio de sus competencias, la adopción de distintos instrumentos legales. En este sentido, el principal marco normativo aplicable a España relacionado con la conservación de los humedales se puede dividir en tres grandes bloques, resumidos en la tabla 2.2: normativa relacionada con la Red Natura 2000, normativa sobre política de aguas y normativa específica sobre humedales.

MARCO NORMATIVO PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS HUMEDALES DEL ESTADO ESPAÑOL EN EL ÁMBITO EUROPEO

DENOMINACIÓN	OBSERVACIONES Y TRANSPOSICIÓN AL ESTADO ESPAÑOL
NORMATIVA RELACIONADA CON LA RED NATURA 2000	
Directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los Hábitats Naturales y de la Flora y Fauna Silvestre	Trasposición al ordenamiento jurídico del Estado español: Real Decreto 1997/1995, de 7 diciembre de 1995 (BOE núm. 310, de 28 de diciembre de 1995, páginas 37310 a 37333)
Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, relativa a la conservación de las aves silvestres (reemplaza a la 79/409/CEE)	Trasposición al ordenamiento jurídico del Estado español: Ley 4/1989, de 27 de marzo de 1989 (BOE núm. 74, de 28 de marzo de 1989, páginas 8262 a 8269)
Decisión de Ejecución (UE) 2015/2374 de la Comisión, de 26 de noviembre de 2015	Notificada con el número C 8222, de 2015
NORMATIVA SOBRE POLÍTICA DE AGUAS	
Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas	Publicada en el DOUE-L núm. 327, de 22 de diciembre de 2000, páginas 1 a 73
	Modificada por Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas
	Trasposición al ordenamiento jurídico del Estado español: Ley 62/2003, de 30 de diciembre (BOE núm. 313, de 31 de diciembre de 2003, páginas 46874 a 46992)
Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas (91/271/CEE)	Publicada en el DOUE-L núm. 135, de 30 de mayo de 1991, páginas 40 a 52
Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas	Publicada en el DOUE-L núm. 348, de 24 de diciembre de 2008, páginas 84 a 97
NORMATIVA ESPECÍFICA SOBRE HUMEDALES	
Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo, de 29 de mayo de 1995, sobre el uso prudente y la conservación de los humedales	Fecha emisión de la Comunicación: 29 de mayo de 1995 No es necesario su trasposición al ordenamiento jurídico del Estado español
Comunicación al Consejo y al Parlamento Europeo sobre la estrategia de la Comunidad Europea en Materia de Biodiversidad	Fecha emisión de la Comunicación: 4 de febrero de 1998
Convenio de Berna (Suiza), fecha de aprobación 19 de septiembre de 1979	Fecha de aceptación por parte del Estado español: 27 de mayo de 1986 (BOE núm. 225, de 1 de octubre de 1986, páginas 33547 a 33555)

Tabla 2.2. Marco normativo europeo aplicable a España relacionado con la conservación de los humedales

Normativa relacionada con la Red Natura 2000

Directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los Hábitats Naturales y de la Flora y Fauna Silvestre

La Directiva 92/43/CEE tiene por objeto general "*contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres en el territorio europeo de los Estados miembros al que se aplica el Tratado*". Y, como objetivo específico, el establecer una amplia red de zonas protegidas en la Comunidad que garanticen una más eficaz aplicación del Convenio de Berna. En su artículo 3 prevé la creación de una Red Europea ecológica coherente (la Red Natura 2000), compuesta por las llamadas Zonas de Especial Conservación, ZEC, que corresponden a los lugares considerados como de Importancia Comunitaria por los Estados miembros, LIC, sobre la base de los hábitats y especies de los anexos de la misma, así como por el conjunto de las ZEPA de la Directiva Aves.

La Red Natura 2000 "Humedales de La Mancha" comprende la zona **ZEPA**, **código ES0000091**, con una extensión de 14.616 ha, y la zona **LIC**, **código ES4250010**, con una extensión de 14.493 ha. Las lagunas de esta publicación ubicadas en estas áreas son: **Alcahozo, Manjavacas, Mermejuela, Salicor, Grande de Quero, El Longar, Larga, Tírez, Peña Hueca, Grande de Villafranca, Las Yeguas, Camino de Villafranca** y **La Veguilla**.

Por otra parte, en la provincia de Ciudad Real, e igualmente dentro de la Red Natura 2000, se encuentra la Zona Especial de Conservación denominada **Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava**, **código ES4220005**, de 1.862 ha de extensión, en la que queda incluida las lagunas de **Caracuel** y del **Prado**.

En esta misma provincia también se localiza la zona **LIC** y **ZEPA**, **código ES4220001**, denominado "Humedales de origen volcánico en las estribaciones de los Montes de Toledo", donde se encuentra la laguna **Nava Grande** de Malagón.

De las lagunas recogidas en esta publicación la única que carece de protección LIC o ZEPA es la laguna de **Almodóvar**.



Panel explicativo de la laguna de El Longar incluida en la Red Natura 2000 "Humedales de La Mancha" (C. Camuñas)

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

Su objetivo se recoge en el artículo 1: *"La Directiva se refiere a la conservación de todas las especies de aves que viven normalmente en estado salvaje en el territorio europeo de los Estados miembros en los que es aplicable el Tratado. Tendrá como objetivo la protección, la administración y la regulación de dichas especies y de su explotación"*. También en su artículo 3 se prevé *"que los Estados miembros tomarán todas las medidas necesarias para preservar, mantener o restablecer una diversidad y una superficie suficiente de hábitats para todas las especies de aves contempladas en el artículo 1"*. Esta disposición reemplaza a la 79/409/CEE que promovió la creación de la figura de las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA).

Decisión de Ejecución (UE) 2015/2374 de la Comisión, de 26 de noviembre de 2015

La Decisión adopta la novena lista actualizada de Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) de la región biogeográfica mediterránea. En principio, la comisión adoptó la Decisión 2006/613/CE de la Comisión, de 19 de julio, por la que se aprobó la lista de Lugares de Importancia Comunitaria de la Región Biogeográfica Mediterránea a tenor de la Directiva 92/43/CEE. Lista que se actualizó por la Decisión de la Comisión 2015/74, posteriormente derogada por la actual Decisión 2015/2374.

Normativa sobre Política de aguas

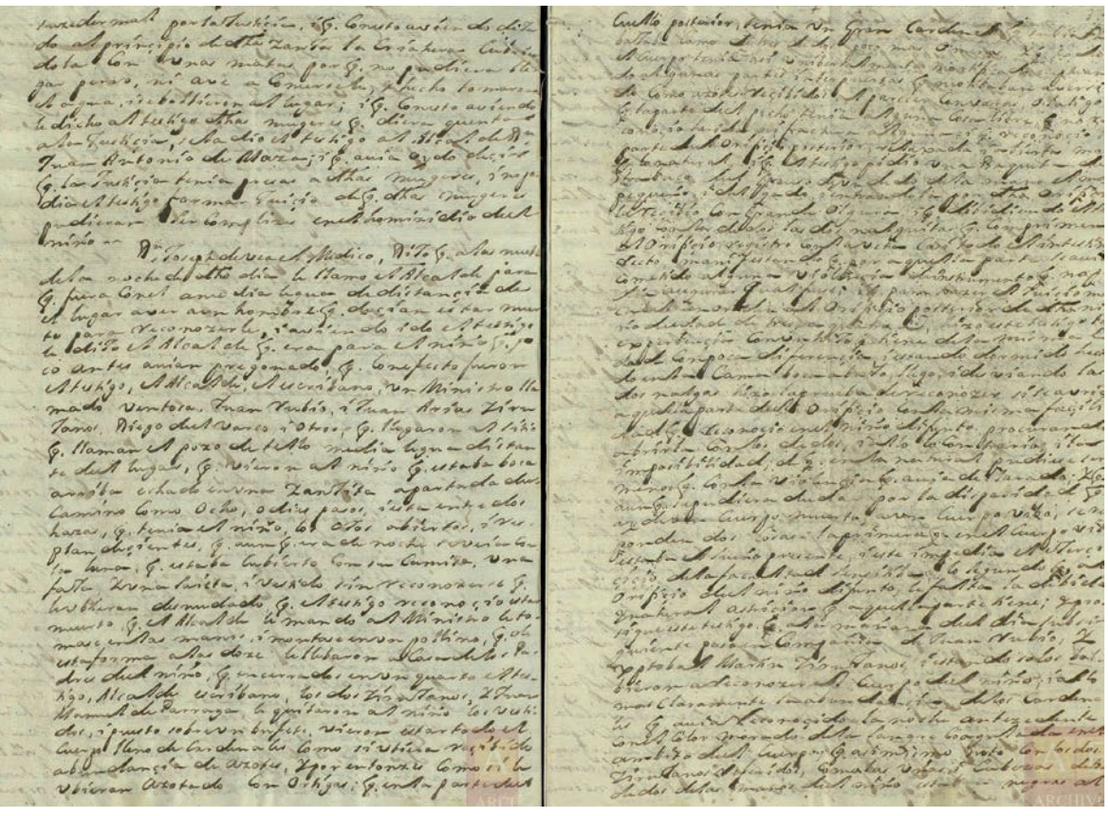
Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas

Mediante esta Directiva, la Unión Europea regula la gestión de las aguas superficiales, continentales, de transición, aguas costeras y subterráneas, con el fin de prevenir y reducir su contaminación, fomentar su uso sostenible, proteger el medio acuático, mejorar la situación de los ecosistemas acuáticos y paliar los efectos de las inundaciones y de las sequías.

Directiva del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas

Esta Directiva regula la recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas y el tratamiento y vertido de las aguas residuales procedentes de determinados sectores industriales. El objetivo de la Directiva es proteger al medio ambiente de los efectos negativos de estos efluentes contaminantes.

Escritos del Pozo de Tello en Alcázar de San Juan (Archivo Histórico Nacional)



De las lagunas incluidas en esta publicación reciben aguas residuales depuradas: **El Longar** en Lillo, **Larga** en Villacañas, **La Veguilla** en Alcázar de San Juan y **Manjavacas** en Mota del Cuervo.

Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas

Esta Directiva, que modifica la Directiva 2000/60/CE, establece normas de calidad ambiental relativas a la presencia en las aguas superficiales de sustancias o grupos de sustancias identificadas como contaminantes prioritarios, en razón del riesgo significativo que presentan para el medio acuático o a través de él.

Normativa específica sobre humedales

Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo, de 29 de mayo de 1995, sobre el uso prudente y la conservación de los humedales

Inspirada en el concepto del uso racional de los humedales promovido por el Convenio de Ramsar, la Comunicación enumera una serie de medidas concretas que deben adoptarse en determinadas áreas estratégicas con vistas a una política y una actuación concertadas para abordar las causas sociales, económicas y políticas de la desaparición y degradación de humedales.

Comunicación al Consejo y al Parlamento Europeo sobre la estrategia de la Comunidad Europea en Materia de Biodiversidad

En la comunicación se explica que los humedales son unidades de paisajes naturales que realizan funciones especiales, son un soporte para actividades humanas y constituyen un patrimonio cultural y natural. Se resume el proceso de participación de la Comunidad Europea en temas relacionados con las zonas húmedas y se aboga por que los requisitos para su conservación se integren en todas las políticas de la Unión, tanto dentro como fuera de su territorio. Y considera como objetivo prioritario "*Utilizar la Directiva Marco de Agua como instrumento*

para la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad...", así como "Proteger los humedales de la Comunidad y restaurar el carácter ecológico de los humedales degradados".

Convenio de Berna, de 19 de septiembre de 1979

Fuera del marco legal propio de la UE, pero afectando en cierta medida a la conservación de los humedales europeos, se debe mencionar el Convenio relativo a la Conservación de la Vida Silvestre y del Medio Natural en Europa (Berna, 1979) que depende del Consejo de Europa, y se aplica dentro del llamado ámbito Pan-Europeo. Su objetivo general es la conservación de la vida silvestre y del medio natural en Europa.

NORMATIVA NACIONAL

En España existe un considerable marco normativo medioambiental que se puede estructurar en tres grandes grupos, resumidos en la tabla 2.3: a) las normas referentes a la política de aguas, b) las relacionadas con la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica, de los espacios naturales y de las especies de fauna y flora silvestres y c) las referentes a humedales.

Las dos normas específicas sobre humedales son:

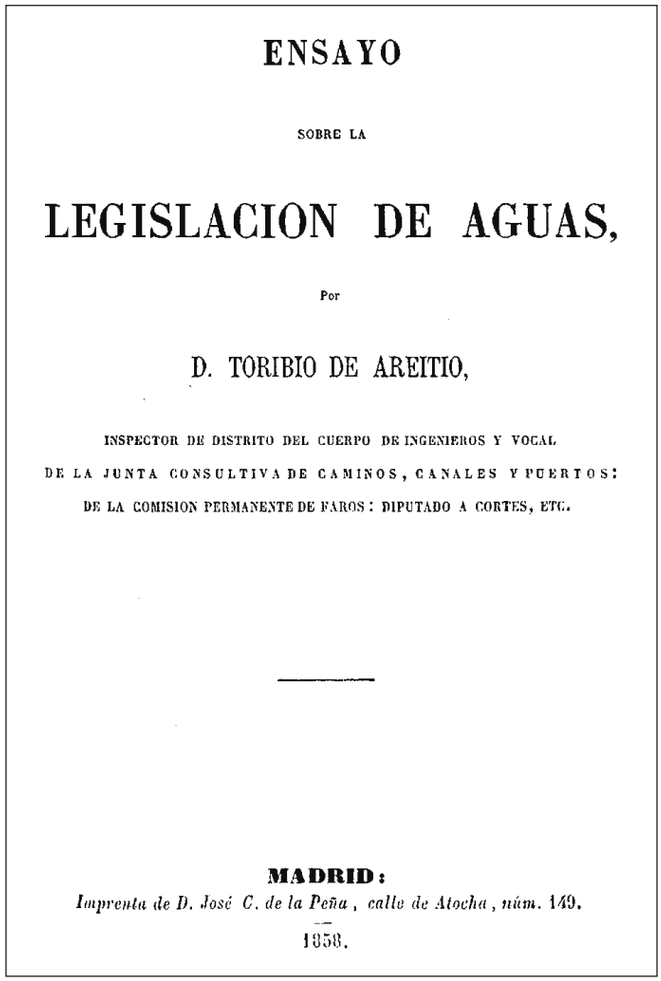
Plan Estratégico Español para la Conservación y Uso Racional de los Humedales

Sus fines son: 1) Garantizar la conservación y uso racional de los humedales, incluyendo la restauración o rehabilitación de aquellos que hayan sido destruidos o degradados. 2) Integrar la conservación y el uso racional de los humedales en las políticas sectoriales, especialmente de aguas, costas, ordenación del territorio, forestal, agraria, pesquera, minera, industrial y de transportes. 3) Contribuir al cumplimiento de los compromisos del Estado español en relación a los convenios, directivas, políticas y acuerdos europeos e internacionales relacionados con los humedales, así como a la aplicación de la Estrategia Española para la Conservación y el Uso Sostenible de la Diversidad Biológica y de la Estrategia de Humedales Mediterráneos.

Real Decreto 435/2004, de 12 de marzo, por el que se regula el Inventario nacional de zonas húmedas

Tiene por objeto regular el Inventario Nacional de Zonas Húmedas al que se refiere el artículo 25 de la Ley 4/1989, de 27 de marzo, de conservación de los espacios naturales y de la flora y fauna silvestres, con el fin de conocer su evolución y, en su caso, indicar las medidas de protección que deban recoger los planes hidrológicos de cuenca.

Sin perjuicio de las competencias sobre inventario y catalogación de humedales de las comunidades autónomas y, en consecuencia, de las distintas definiciones y clasificaciones que puedan existir de dichos ecosistemas en cada una de ellas, la confección del inventario nacional de zonas húmedas responde a unos criterios homogéneos, que permitan cumplir eficazmente las obligaciones de información que el Estado español ha asumido a través de distintos compromisos internacionales y con la propia Unión Europea. Para ello se ha optado por asumir unos criterios de inclusión de humedales coherentes con lo que al respecto señala el Plan Estratégico Español para la conservación y uso racional de los humedales, aprobado por la Comisión Nacional de Protección de la Naturaleza, y que han sido consensuados por el Comité de Humedales, dependiente de dicho órgano.



ENSAYO

SOBRE LA

LEGISLACION DE AGUAS,

Por

D. TORIBIO DE AREITIO,

INSPECTOR DE DISTRITO DEL CUERPO DE INGENIEROS Y VOCAL
DE LA JUNTA CONSULTIVA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS:
DE LA COMISION PERMANENTE DE FAROS: DIPUTADO A CORTES, ETC.

MADRID:
Imprenta de D. José C. de la Peña, calle de Atocha, núm. 149.
1858.

Ensayo sobre la Legislación de Aguas por D. Totibio de Areitio, 1858 (© Biblioteca Nacional de España)

Tabla 2.3. Marco normativo nacional relacionado con la política medioambiental

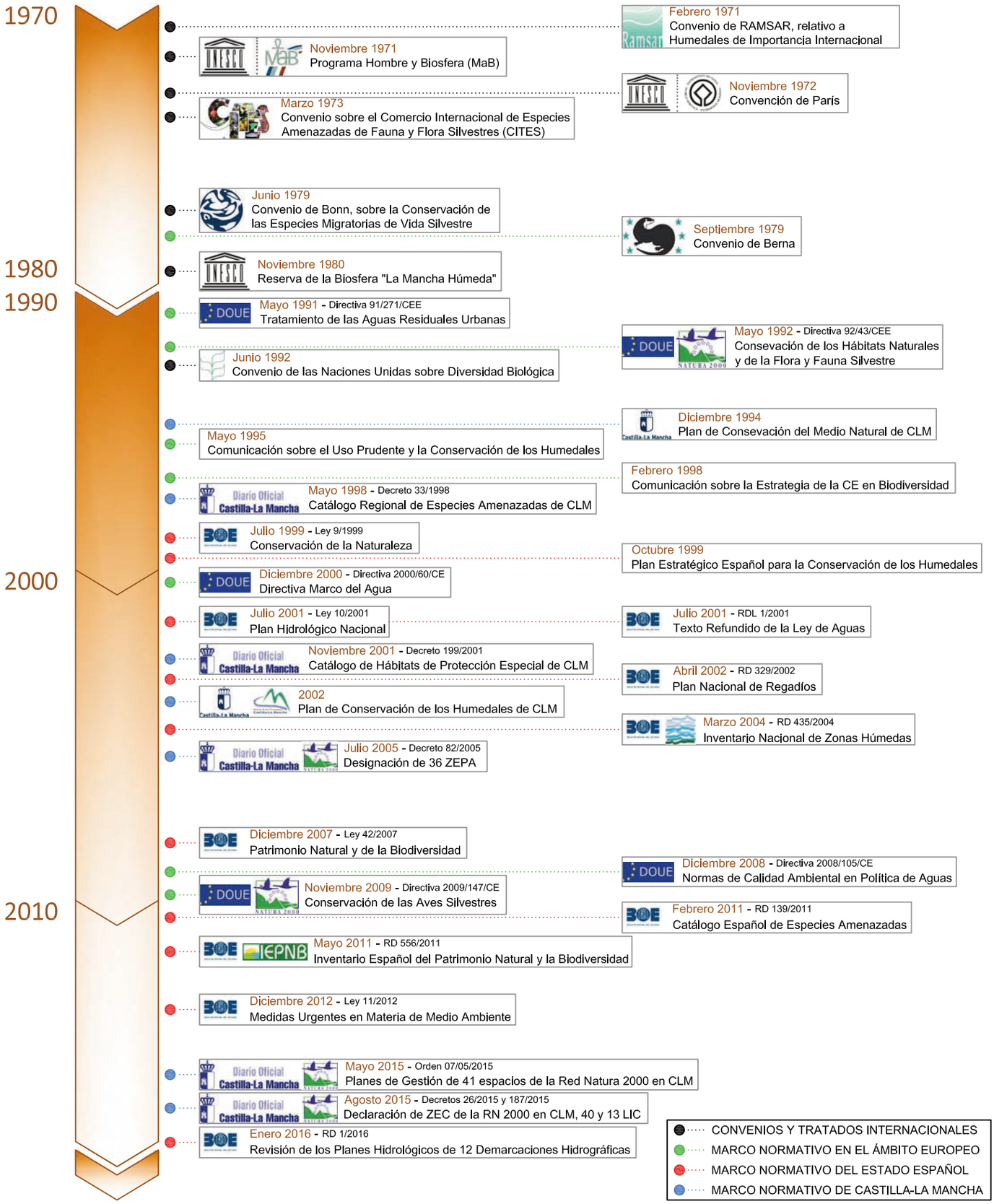
MARCO NORMATIVO NACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DIRECTA O INDIRECTA DE LOS HUMEDALES DEL ESTADO ESPAÑOL	
DENOMINACIÓN	**PUBLICACIÓN**
NORMATIVA SOBRE POLÍTICA DE AGUAS	
Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas	Publicado en el BOE núm. 176, de 24 de julio de 2001, páginas 26791 a 26817
	Última revisión vigente desde 1 de enero de 2014
Ley 10/2001, de 5 de julio de 2001, del Plan Hidrológico Nacional	Publicada en el BOE núm. 161, de 6 de julio de 2001, páginas 24228 a 24250
Real Decreto 329/2002, de 5 de abril, por el que se aprueba el Plan Nacional de Regadíos	Publicado en el BOE núm. 101, de 27 de abril de 2002, páginas 15558 a 15566
	Última revisión vigente desde 5 de junio de 2011
Real Decreto 13/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el Plan Especial del Alto Guadiana	Publicado en el BOE núm. 21, de 24 de enero de 2008, páginas 4608 a 4612
Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro	Publicado en el BOE núm. 16, de 19 de enero de 2016, páginas 2972 a 4301
NORMATIVA SOBRE PATRIMONIO NATURAL Y BIODIVERSIDAD	
Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad	Publicada en el BOE núm. 299, de 14 de diciembre de 2007, páginas 51275 a 51327
Real Decreto 1424/2008, de 14 de agosto, por el que se determinan la composición y las funciones de la Comisión Estatal para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad	Publicado en el BOE núm. 221, de 12 de septiembre de 2008, páginas 37173 a 37175
Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas	Publicado en el BOE núm. 46, de 23 de febrero de 2011, páginas 20912 a 20951
Real Decreto 556/2011, de 20 de abril, para el desarrollo del Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad	Publicado en el BOE núm. 112, de 11 de mayo de 2011, páginas 47905 a 47932
Real Decreto 1274/2011, de 16 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Estratégico del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad 2011-2017, en aplicación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad	Publicado en el BOE núm. 236, de 30 de septiembre de 2011, páginas 103071 a 103280
Ley 11/2012, de 19 de diciembre, de medidas urgentes en materia de medio ambiente	Publicada en el BOE núm. 305, de 20 de diciembre de 2012, páginas 86283 a 86297
Ley 33/2015, de 21 de septiembre, por la que se modifica la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad	Publicada en el BOE núm. 227, de 22 de septiembre de 2015, páginas 83588 a 83632
NORMATIVA ESPECÍFICA SOBRE HUMEDALES	
Plan Estratégico Español para la Conservación y Uso Racional de los Humedales	Aprobado por la Comisión Nacional de Protección de la Naturaleza en su reunión del 19 de octubre de 1999
Real Decreto 435/2004, de 12 de marzo, por el que se regula el Inventario nacional de zonas húmedas	Publicado en el BOE núm. 73, de 25 de marzo de 2004, páginas 12962 a 12968

NORMATIVA AUTONÓMICA DE CASTILLA-LA MANCHA

Dado que las 17 lagunas que integran esta publicación se encuentran ubicadas en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, en la tabla 2.4 se resumen las principales disposiciones sobre conservación y protección del medio natural y los humedales en dicha Comunidad, sin entrar en detalle sobre cada una de estas normas, ya que su aplicación específica y las figuras de protección declaradas para cada laguna quedan recogidas en su correspondiente capítulo.

MARCO NORMATIVO BÁSICO DE CASTILLA-LA MANCHA SOBRE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DEL MEDIO NATURAL Y DE LOS HUMEDALES	
DENOMINACIÓN	**PUBLICACIÓN**
NORMATIVA SOBRE CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA	
Ley 9/1999, de 26 de mayo de Castilla-La Mancha, de Conservación de la Naturaleza	Publicada en el BOE núm. 179, de 28 de julio de 1999, páginas 28086 a 28110
	Última revisión vigente desde 1 de abril de 2015
Decreto 199/2001, de 6 de noviembre, por el que se amplía el Catálogo de Hábitats de Protección Especial de Castilla-La Mancha	Publicado en el DOCM núm. 119, de 13 de noviembre de 2001, páginas 12820 a 12825
NORMAS SOBRE CATALOGACIÓN Y PROTECCIÓN DE ESPECIES AMENAZADAS	
Decreto 33/1998, de 5 de mayo, por el que se crea el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha	Publicado en el DOCM núm. 22, de 15 de mayo de 1998, páginas 3391 a 3398
Decreto 200/2001, de 6 de noviembre, por el que se modifica el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha	Publicado en el DOCM núm. 119, de 13 de noviembre de 2001, páginas 12825 a 12827
NORMAS DE DESARROLLO AUTONÓMICO DE LA RED NATURA 2000	
Decreto 82/2005, de 12 de julio de 2005, del Consejo de Gobierno, por el que se designan 36 zonas de especial protección para las aves, ZEPA, y se declaran zonas sensibles	Publicado en el DOCM núm. 141, de 15 de julio de 2005, páginas 13862 a 13958
Decreto 187/2015, de 07/08/2015, por el que se declaran como Zonas Especiales de Conservación (ZEC) de la Red Natura 2000 en Castilla-La Mancha, 13 Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), se propone a la Comisión Europea la modificación de los límites de 7 de estos espacios y se modifican los límites de 4 Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA)	Publicado en el DOCM núm. 163, de 20 de agosto de 2015, páginas 24004 a 24010
Orden de 07/05/2015, de la Consejería de Agricultura, por la que se aprueban los Planes de Gestión de 41 espacios de la Red Natura 2000 en Castilla-La Mancha	Publicada en el DOCM núm. 91, de 12 de mayo de 2015, páginas 13523 a 13529
Decreto 26/2015, de 07/05/2015, por el que se declaran como Zonas Especiales de Conservación (ZEC) de la Red Natura 2000 en Castilla-La Mancha, 40 Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), se propone a la Comisión Europea la modificación de los límites de 14 de estos espacios y se modifican los límites de 8 Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA)	Publicado en el DOCM núm. 91, de 12 de mayo de 2015, páginas 13434 a 13444
PLANES DE CONSERVACIÓN	
Plan de Conservación del Medio Natural de Castilla-La Mancha	Aprobado por la Cortes Regionales en diciembre de 1994 y revisado en mayo de 2003
Plan de Conservación de los Humedales de Castilla-La Mancha	Aprobado por el Gobierno de Castilla-La Mancha en 2002

Tabla 2.4. Marco normativo de la comunidad autónoma de Castilla-La Mancha sobre protección y conservación del medio natural y los humedales



Resumen cronológico de los convenios, tratados y marcos normativos a nivel internacional, europeo, nacional y autonómico

Capítulo 3



MARCO GEOGRÁFICO, GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO





3. MARCO GEOGRÁFICO, GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

Las 17 lagunas mesetarias recogidas en esta publicación se ubican en la Llanura Manchega, territorio integrado dentro de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. Nueve de ellas se encuentran en la provincia de Ciudad Real: Alcahozo, Salicor, Las Yeguas, Camino de Villafranca, La Veguilla, Nava Grande, Caracuel, del Prado y Almodóvar; siete en la de Toledo: Mermejuela, Grande de Quero, El Longar, Larga, Tírez, Peña Hueca y Grande de Villafranca; y una en la de Cuenca, la laguna de Manjavacas (figura 3.1).

La región natural de La Mancha ocupa buena parte de las provincias de Toledo, Ciudad Real, Cuenca y Albacete, y configura una extensa llanura modelada a finales del Terciario caracterizada por sus escasas diferencias topográficas, con cursos fluviales poco encajados y cotas más elevadas en las zonas de sierra que la rodean. Dentro de este contexto geográfico las lagunas estudiadas se ubican en las comarcas de La Mancha de Toledo y Ciudad Real y en la de Campo de Calatrava.

Las cotas de las lagunas (referidas a su punto central) son muy similares, con un máximo de 678,6 m s.n.m. en la de El Longar, y un mínimo de 620,3 m s.n.m. en la del Prado (Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR, IGN). Los datos de su superficie resultan más variables, siendo la de mayor extensión la de Manjavacas con 244,20 ha, y la más pequeña la laguna de Mermejuela con 9,45 ha. No obstante, la mayoría se encuentra en el intervalo de 60 a 120 ha (CHG, 2016).

Desde el punto de vista hidrológico, todas las lagunas se sitúan en la Demarcación Hidrográfica del río Guadiana, en concreto en su cuenca alta. Las ubicadas en la provincia de Toledo y norte de Ciudad Real pertenecen a la subcuenca del río Gigüela, mientras que Manjavacas y Alcahozo están en la de su tributario, el río Záncara. Respecto a las del centro-oeste de la provincia

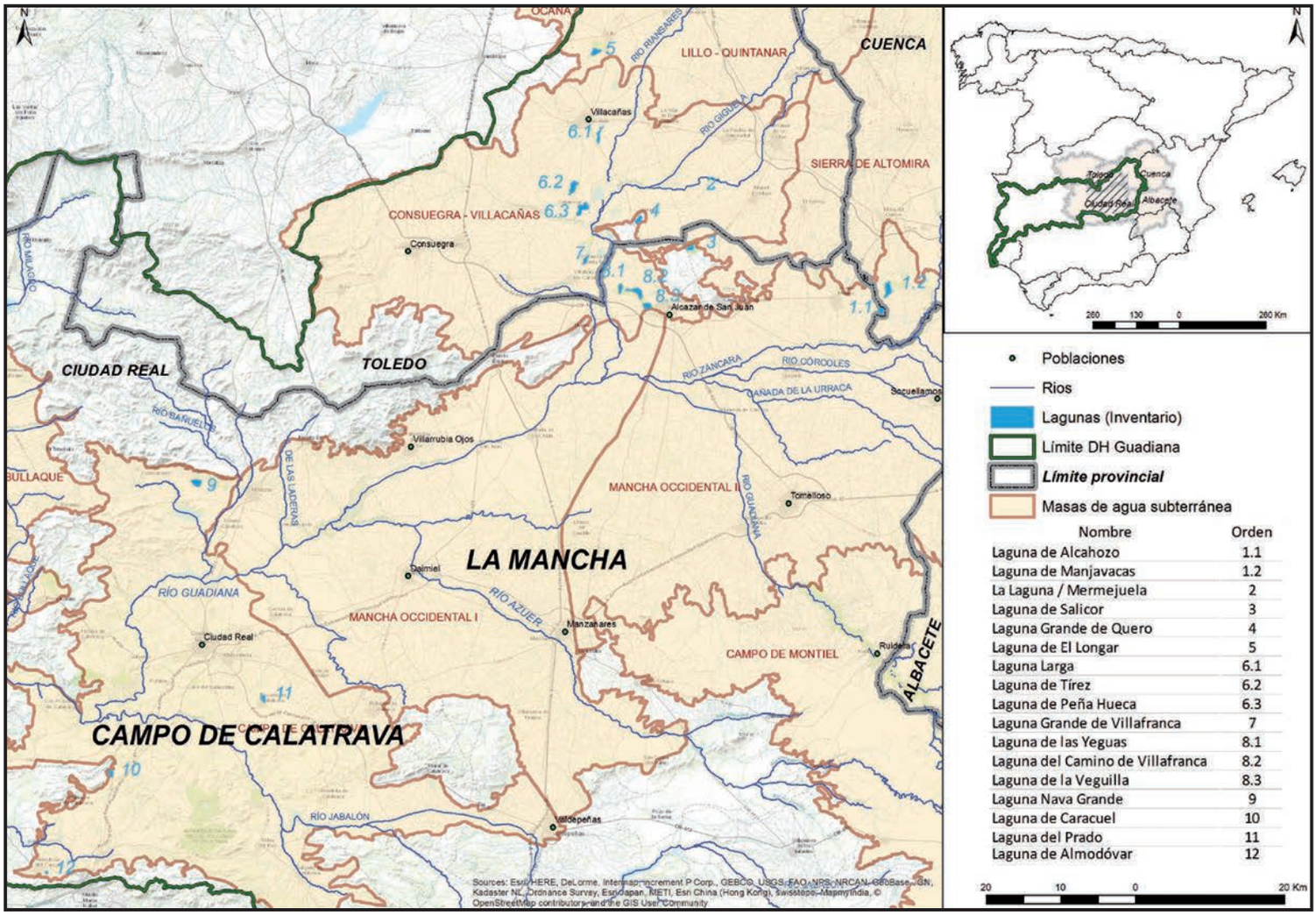


Figura 3.1. Mapa general de ubicación de las 17 lagunas mesetarias

de Ciudad Real: Nava Grande, del Prado, Caracuel y Almodóvar, la primera pertenece a la subcuenca del río Bañuelos, la segunda a la del río Jabalón, y las dos restantes a subcuencas de pequeños arroyos afluentes del río Guadiana por su margen izquierda.

En cuanto a sus características geológicas, la cuenca alta del río Guadiana comprende varias unidades morfoestructurales de las que, para el caso que nos ocupa, resultan de interés el Corredor Terciario de la Llanura Manchega y el Campo de Calatrava. La primera consiste en una gran planicie de morfología alargada en dirección E-O, y de unos 240 km de largo por 50 km de ancho, formada por un relleno detrítico carbonatado continental de edad Mioceno-Plioceno que en algunos sectores alcanza los 200 m de espesor. Esta planicie limita al norte con la Sierra de Altomira y la Depresión Intermedia, al sur con El Campo de Montiel, al oeste con los Montes de Toledo y el Campo de Calatrava y al este con la Mancha Oriental (figura 3.2).

El basamento es de edad paleozoica con predominio de areniscas, pizarras, calizas y cuarcitas que afloran en los Montes de Toledo. En el sector oriental, hasta el río Júcar y los Llanos de Albacete, está constituido por materiales detríticos y carbonáticos del Mesozoico. El Triásico aflora en pequeñas extensiones en la Sierra de Altomira y en el Campo de Montiel, y está formado por areniscas y arcillas (facies Buntsandstein) que a techo pasan a dolomías y margas (facies Muschelkalk) y, finalmente, a arcillas y yesos (facies Keuper). Su espesor máximo es de unos 180 m y se acuña, hasta desaparecer, unos kilómetros al este de la población de Daimiel. Por su parte, el Cretácico tiene su mayor representación en los afloramientos de la Sierra de Altomira, donde llega a alcanzar potencias cercanas a los 200 m.

El Paleógeno está formado esencialmente por materiales siliciclásticos, de origen aluvial y fluvial, y carbonáticos afectados por los movimientos alpinos de edad Eoceno y Oligoceno. Adquiere un buen desarrollo en la Depresión Intermedia y en la Sierra de Altomira, mientras que las formaciones neógenas de edad Mioceno corresponden a conglomerados, areniscas y arcillas. Finalmente, el Plioceno está representado por sedimentos siliciclásticos y carbonatados de origen lacustre y palustre, con espesores en torno a 50 m.

La formación y génesis de la Llanura Manchega ha estado controlada por varias fases tectónicas de carácter distensivo que se inician al final del Mioceno y finalizan en el límite Plioceno inferior-Plioceno superior. El relleno de la cuenca comienza en el Mioceno superior y, sobre todo, en el Plioceno. Posteriormente, se produce el encajamiento de la red fluvial durante el Pleistoceno, y la formación de una superficie erosiva al final de éste con procesos de karstificación asociados de notable importancia desde el punto de vista hidrogeológico. Más tarde, aparece una segunda superficie de erosión que con frecuencia se encuentra fosilizada por costras calcáreas.

En el extremo occidental de la Llanura Manchega, entorno de Las Tablas de Daimiel y los Ojos del Guadiana, se distingue al norte del cauce del río Guadiana una zona septentrional constituida por materiales predominantemente siliciclásticos, y una zona meridional donde predominan las rocas carbonatadas. En esta última la morfología kárstica da lugar al característico relieve de este territorio con depresiones redondeadas de diámetro variable en cuyo fondo era frecuente en régimen natural la aparición de surgencias de agua subterránea. En consecuencia, la karstificación cons-

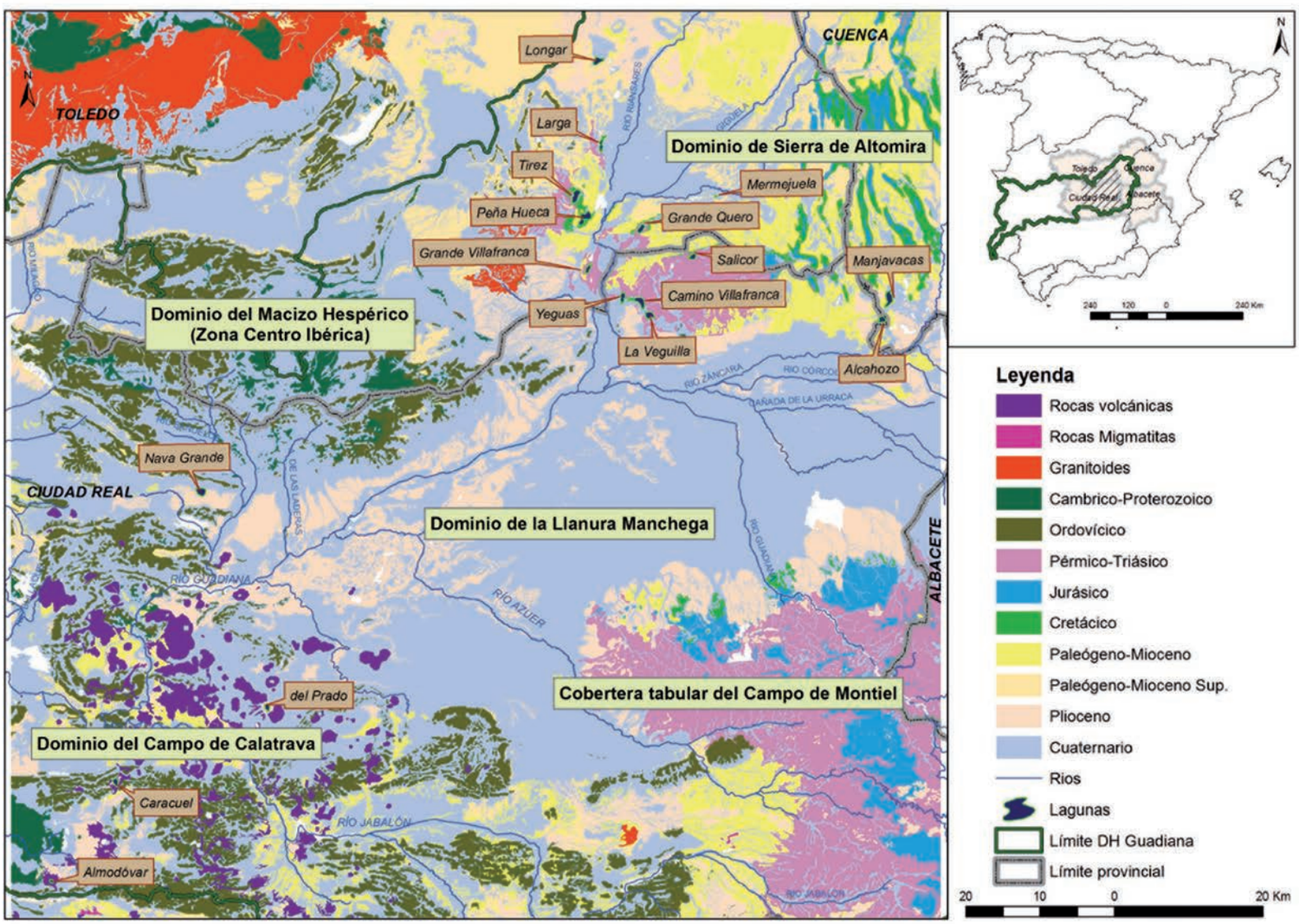


Figura 3.2. Mapa geológico esquemático de la Llanura Manchega

tituye el principal agente modelador del relieve y la causa de la aparición de frecuentes colapsos y hundimientos del terreno que resultan habituales hasta la actualidad (Bórnez *et al.*, 2017).

El encajamiento de la red fluvial durante el Pleistoceno genera secuencias de terrazas muy poco desarrolladas en la Llanura Manchega y más marcadas en Campo de Calatrava, debido probablemente a los procesos de elevación inducidos por la actividad volcánica en esta última comarca. Este vulcanismo, de tipo intraplaca (Ancochea, 1983), está relacionado con la formación de las fosas neógenas y tiene lugar en dos fases acontecidas en el Mioceno superior y el Plioceno-Pleistoceno. Se trata de un vulcanismo reciente con magmas de carácter básico y rocas basálticas en sentido amplio, por lo que se conservan buena parte de los edificios volcánicos. Las lagunas del Prado, Almodóvar y Caracuel son buena prueba de ello, ya que su génesis está asociada a estas formaciones volcánicas.

En líneas generales, la cuenca alta del río Guadiana se caracteriza por la estrecha interrelación existente entre las aguas superficiales y las subterráneas. Estas últimas constituyen un recurso hídrico de gran interés para la región que ha conllevado, desde la década de los años 70 del pasado siglo, importantes discrepancias entre los intereses socioeconómicos y los medioambientales. En consecuencia, la gestión hidrológica ha resultado compleja y controvertida, con la declaración definitiva de sobreexplotación de las unidades hidrogeológicas de Mancha Occidental (15-12-1994) y Campo de Montiel (16-6-1989), la promulgación de un Plan Especial del Alto Guadiana, recogido en el Plan Hidrológico Nacional de 2001 (Mejías *et al.*, 2012), y la calificación de ocho Masas de Agua Subterráneas (MASb) de la cuenca alta del Guadiana en riesgo de no alcanzar el buen estado cuantitativo y químico.

Dentro de este contexto hidrogeológico, las lagunas descritas presentan la siguiente distribución (figura 3.1):

MASb 041.003, Lillo-Quintanar: El Longar.

MASb 041.004, Consuegra-Villacañas: Mermejuela, Larga, Tírez, Peña Hueca, Grande de Villafranca, Las Yeguas, Camino de Villafranca y La Veguilla.

MASb 041.006, Mancha Occidental II: Alcahozo y Manjavacas.

MASb 041.009, Campo de Calatrava: Nava Grande, Caracuel, del Prado y Almodóvar.

Las lagunas de Salicor y Grande de Quero quedan en zonas de baja permeabilidad carentes de acuíferos y, por tanto, fuera de los límites de cualquier MASb, si bien ambas están muy próximas al límite oriental de la MASb Consuegra-Villacañas.

En el capítulo correspondiente a cada laguna, se describen de forma más detallada las características de su medio físico, su relación con las aguas superficiales y subterráneas y la influencia del medio geológico en su génesis y evolución.

Capítulo 4



CLIMATOLOGÍA





4. CLIMATOLOGÍA

Según el diccionario de la Real Academia Española, la palabra 'clima' procede del latín tardío, la cual hace referencia a la latitud, en concreto a la de una determinada área geográfica. A su vez, esta palabra proviene del griego *klíma*, que alude a la inclinación de los rayos solares. También, en el citado diccionario de la lengua, se define al clima como el conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región.

Sobre este asunto es necesario comentar que es práctica común emplear clima como sinónimo de tiempo meteorológico, pero esto no es del todo correcto ya que, si bien ambos conceptos dependen de los factores atmosféricos, el tiempo meteorológico se caracteriza por corresponder a un determinado momento, escala temporal que es mucho mayor en el caso del clima.

De una forma más técnica, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2001a, 2001b y 2001c) en su Tercer Informe de Evaluación, define el clima como el estado medio del tiempo o, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo en términos de valores medios y variabilidad de parámetros como temperatura, precipitación o viento, durante períodos que pueden ser de meses a miles o millones de años. Así, el clima de una región lo conforma el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera y su evolución durante un largo periodo de tiempo. El lapso de tiempo considerado normal para dicho periodo sería de 30 años según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Desde la formación de la Tierra, hace aproximadamente 4.600 millones de años, el clima ha experimentado cambios naturales importantes, tanto de origen exógeno o astronómico por fluctuaciones en la actividad solar, cambios orbitales del planeta o impacto de cuerpos celestes, como endógeno o geológico, consecuencia de la influencia de los océanos,

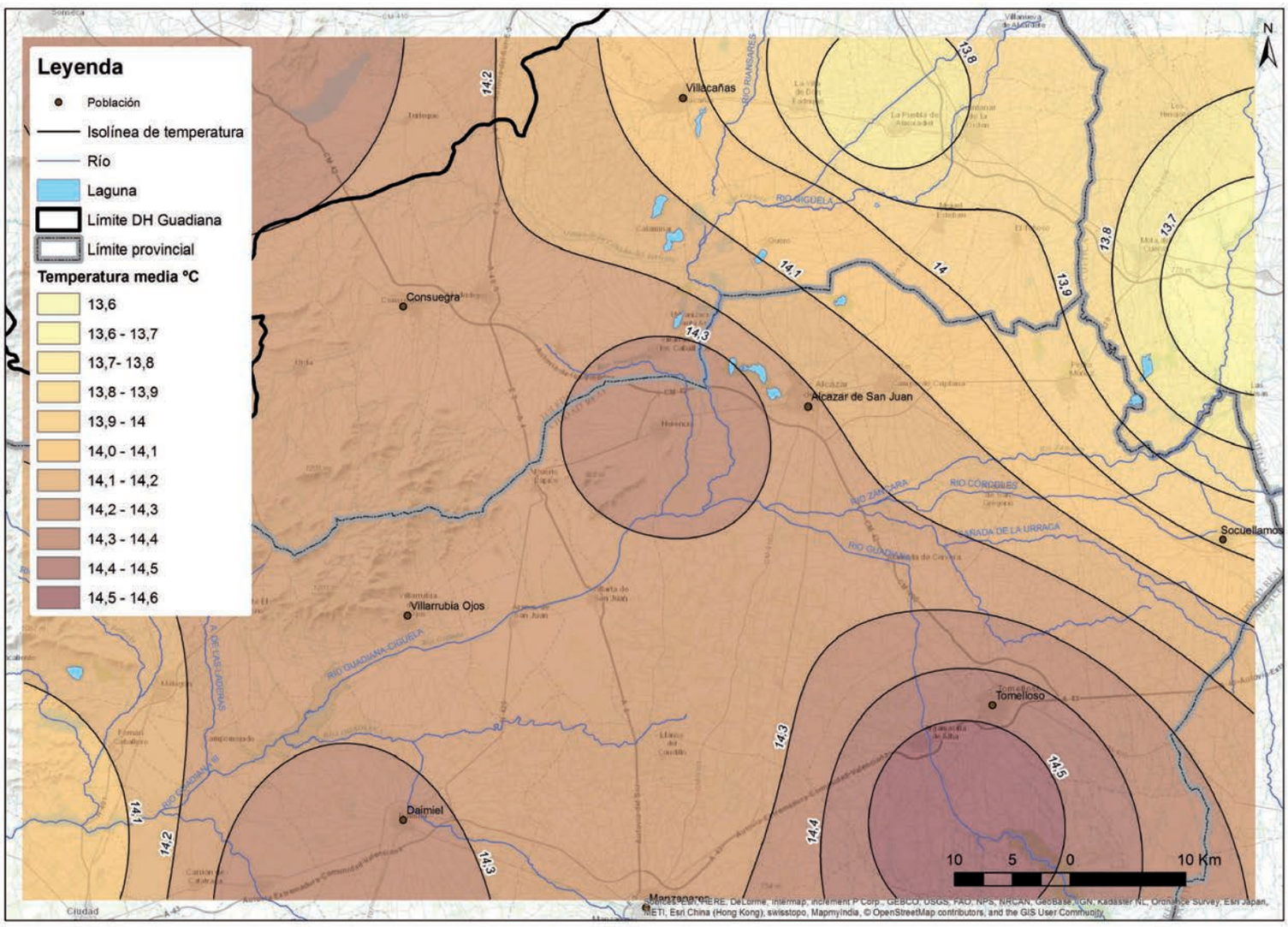
las erupciones volcánicas, los movimientos de las placas tectónicas o las oscilaciones naturales de los gases de efecto invernadero. En este contexto temporal, las variaciones climáticas son claramente apreciables, sin embargo, a escala de la vida humana el clima parece permanecer prácticamente constante, a pesar que desde finales del siglo XIX la actividad industrial ha incrementado los gases de efecto invernadero en la atmósfera por la utilización de los combustibles fósiles, y ha provocado el aumento de la temperatura global y la aceleración del cambio climático.

El climatólogo, geógrafo, meteorólogo y botánico ruso Dr. Wladimir Köppen desarrolló una clasificación climática a escala mundial basada en la temperatura y precipitación medias mensual y anual, y su relación con la vegetación (Köppen, 1936). Esta clasificación está ampliamente aceptada y resulta todavía aplicable al diseñar una nomenclatura simbólica para definir los tipos climáticos en la mayor parte de las regiones del planeta.

Para la transposición de esta clasificación a la región natural de La Mancha se han seguido las indicaciones que recomienda el Atlas Climático Ibérico (AEMET, 2011), donde se delimitan los distintos tipos de clima dentro de la Península Ibérica. Así, según la clasificación de Köppen, los tipos de climas existentes en el ámbito geográfico de las lagunas estudiadas se reducen a los siguientes:

✓ Tipo ***Csa*** (clima templado, con verano seco y caluroso), donde la temperatura media del mes más frío está comprendida entre 0 y 18 °C (tipo ***C***), con un

Figura 4.1. Temperatura media anual (ºC). Periodo 2001-2016



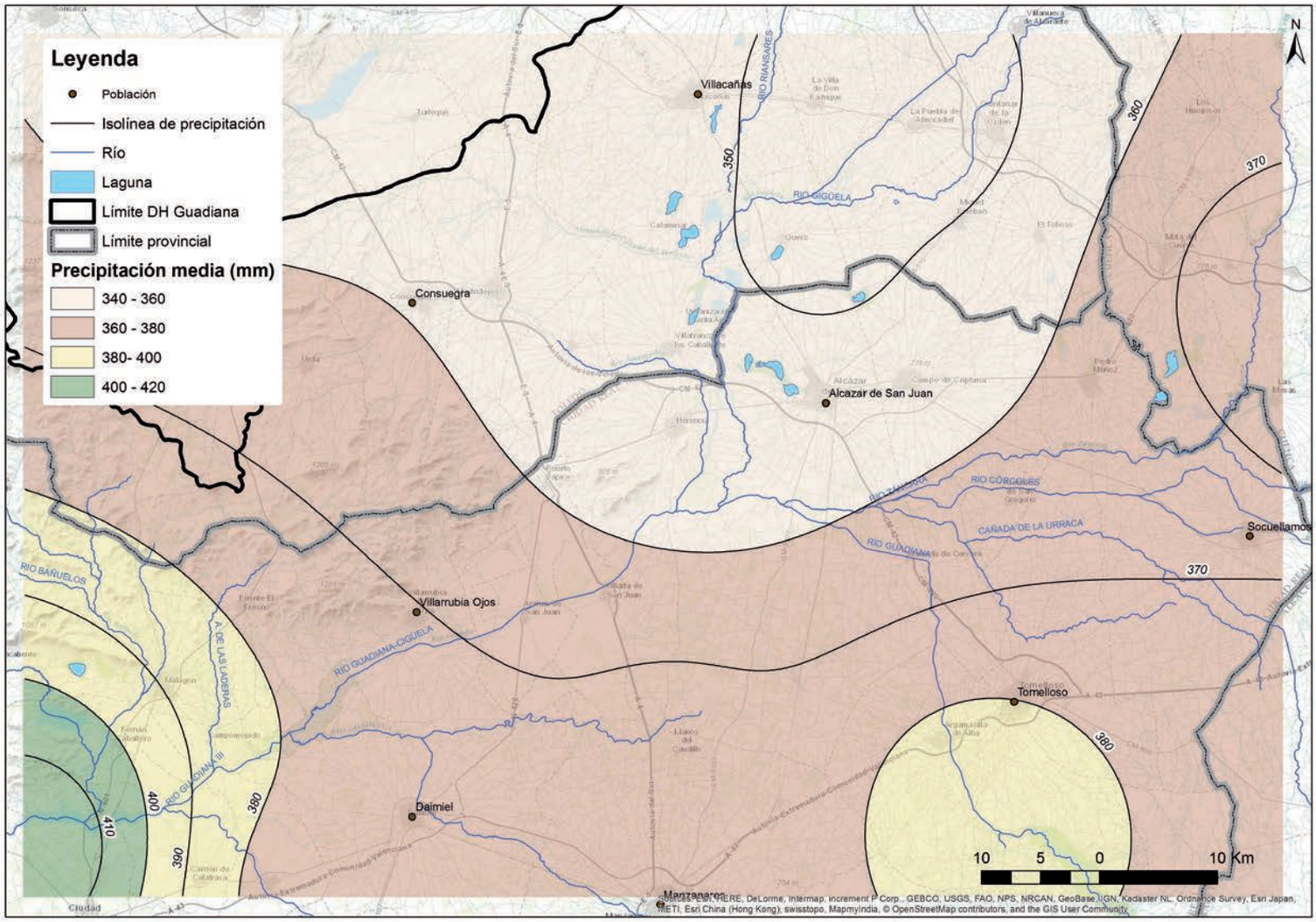


Figura 4.2. Precipitación media anual (mm). Periodo 2001-2016

periodo marcadamente seco en verano (***Cs***) y una temperatura media del mes más cálido superior a 22 °C (***Csa***).

✓ Tipo ***Bsk*** (clima seco, estepa fría), donde la precipitación del invierno es más efectiva para el desarrollo de la vegetación que la del verano (tipo ***B***), con una precipitación anual concentrada a lo largo del año o bien en otoño e invierno y oscilante entre el 50 y el 100% de la evapotranspiración (***Bs***) y con temperaturas medias anuales por debajo de los 18 °C (***Bsk***).

Los datos registrados en esta zona determinan una temperatura media anual de 15 °C, con una marcada estacionalidad que hace que los veranos sean cálidos, con temperaturas medias entre 23 y 27 °C, y los inviernos fríos, con temperaturas medias entre 6 y 8 °C, figura 4.1. El efecto de la continentalidad contribuye también a que estas temperaturas sean extremas y sufran marcadas oscilaciones, con máximos y mínimos absolutos de 43 °C y -9 °C, respectivamente. Las oscilaciones térmicas diarias (diferencia entre temperatura máxima y mínima) varían entre 14 y 16 °C en verano y de 8 a 10 °C en invierno (De Castro, 2009).

Las precipitaciones siguen un patrón similar a las temperaturas y, por tanto, también sufren importantes variaciones entre años húmedos y secos. La precipitación media anual oscila entre 350 y 450 mm, figura 4.2, donde los valores máximos se dan en los meses de primavera y otoño, los inviernos marcan un mínimo poco acusado y los veranos destacan por ser una estación especialmente seca. Por lo tanto, atendiendo a estas características climáticas, a la relativa lejanía al litoral marino y a su altitud, con diferencias topográficas escasas, se puede clasificar la zona de estudio como de

clima *Mediterráneo de carácter continental*, coincidente con el tipo ***Csa*** según la clasificación de Köppen. En este contexto, la vegetación típica mediterránea ha de adaptarse a la citada amplitud térmica, con temperaturas superiores a 40 °C durante el verano y bajo cero durante el invierno, así como a las sequías que tienen lugar de forma recurrente.

En cuanto a la aridez, concepto que se obtiene a partir de la precipitación y de la temperatura y definido como la falta de agua en el suelo y de humedad en el aire que se halla en contacto con él, en el entorno geográfico de las lagunas es alto condicionado por las escasas precipitaciones y las elevadas temperaturas de la estación estival. Estas condiciones indican un clima semiárido y equivalen al tipo ***Bsk*** de la clasificación de Köppen, en el que las especies vegetales han de adaptarse a unas condiciones de aridez más exigentes que las del clima mediterráneo, perfilando el característico paisaje manchego.



Campo de viñedos manchegos resistiendo las bajas temperaturas de una nevada en diciembre de 2013 (M. Mejías)

Capítulo 5



BALANCE HÍDRICO DE LOS SISTEMAS LAGUNARES ASPECTOS METODOLÓGICOS





5. BALANCE HÍDRICO DE LOS SISTEMAS LAGUNARES. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Factores y procesos condicionantes del balance hídrico

En los sistemas de tipo lagunar el volumen de agua implicado y su disponibilidad temporal son los principales factores que van a condicionar la tipología y las características de la flora y fauna de sus hábitats. Conocer el funcionamiento hidrodinámico y la procedencia de los recursos hídricos, así como su distribución a lo largo del tiempo, son criterios fundamentales para diseñar actuaciones que permitan salvaguardar sus valores ambientales, evitando su deterioro y desaparición. Entre otros aspectos, la determinación del balance hídrico es esencial para establecer el aporte de nutrientes y entender el comportamiento y la diversidad biótica de los ecosistemas acuáticos.

El funcionamiento hidrológico de una laguna viene determinado básicamente por tres grupos de factores: características climáticas de la zona, particularidades morfológicas del área vertiente y estructura geológica/hidrogeológica de la cuenca. La confluencia de todos estos elementos da lugar, en cada caso, a la presencia de una zona húmeda de características diferentes en función de la preponderancia de cada uno de los factores mencionados.

En este sentido, la existencia de lagunas y zonas palustres está fuertemente condicionada por el régimen pluviométrico de la región y su índice de aridez, de manera que los climas húmedos aportarán recursos de forma regular, por lo que propiciarán la creación de sistemas estables, mientras que los secos o los fluvio-torrenciales tenderán a hacerlos estacionales u ocasionales, dando lugar a la creación de sistemas de carácter temporal.

Las zonas húmedas también requieren obligatoriamente de una morfología del terreno capaz de configurar espacios donde el agua pueda ser acumulada, así como de un sistema de aporte de recursos, bien por disponer de una cuenca receptora suficiente o por la contribución de

aguas de origen subterráneo. En el primer caso, la naturaleza, y especialmente la permeabilidad, de las formaciones geológicas que configuran la superficie de la cuenca vertiente van a condicionar los aportes generados por la escorrentía superficial, de manera que serán máximos en cuencas con presencia mayoritaria de formaciones impermeables y más reducidos en aquellas en las que predominan las permeables. En este aspecto, el mayor o menor desarrollo de suelos también condicionará los procesos de evapotranspiración e infiltración profunda.

Entre la gran variedad de casos resultantes por la combinación de los factores mencionados y de la conjunción de los diferentes procesos, de forma general se puede afirmar que la existencia de aportes subterráneos tenderá a generar humedales con aguas poco mineralizadas, mientras que su ausencia propiciará los humedales de tipo salino. También la presencia de formaciones evaporíticas en el sustrato de la cubeta incrementará el contenido de sólidos disueltos en sus aguas, al igual que los climas áridos y semiáridos, con elevada capacidad de evaporación, potenciarán la acumulación de sales en el vaso y la creación de ecosistemas salinos o hipersalinos. Como es de esperar, también la extensión de la cuenca hidrológica vertiente de una determinada laguna influirá en la disponibilidad de recursos y condicionará, entre otras cuestiones, la fluctuación de la lámina de agua libre y su tasa de renovación.

Uno de los aspectos a considerar y, sin duda, también uno de los de mayor importancia, es el carácter permeable o impermeable de la formación geológica que configura el vaso del humedal. El primer caso propicia los procesos de intercambio hídrico entre la laguna y las aguas subterráneas, ya sea mediante aportes de recursos hacia ella o, al contrario, por pérdidas a través de su lecho. La alimentación de procedencia subterránea, tanto por surgencias y manantiales localizados en la proximidad del humedal como en el propio vaso, contribuirá a crear ecosistemas acuáticos estables y permanentes, mientras que su drenaje a favor de los acuíferos relacionados con éste, debido al carácter permeable de la cubeta, tenderá a generar ecosistemas acuáticos temporales, bien sean de tipo estacional u ocasional.

Para la determinación del balance hídrico de las 17 lagunas tratadas en esta publicación se ha diseñado una sistemática metodológica en la que quedan integrados todos los factores y procesos comentados.



Laguna Nava Grande en el piedemonte de la Sierra de Malagón apoyada sobre materiales de permeabilidad baja a media (B.J. Ballesteros)

Metodología de cálculo

El balance hídrico de cada laguna se ha elaborado a partir del cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua a su vaso según la metodología desarrollada en el proyecto ECOLAKE. Dicha metodología se basa en la expresión que establece la variación del volumen de agua en una laguna a lo largo del tiempo según:

$$\Delta V/\Delta t = (PP - ET) \cdot A_{laguna} + ES \cdot (A_{cuenca} - A_{laguna}) - D_{sup} + A_{an} - D_{an} + A_{sub} - S_{sub}$$

donde ($\Delta V/\Delta t$) es la variación del volumen almacenado respecto al tiempo, PP es la precipitación, ET la evapotranspiración, ES la escorrentía superficial, A_{laguna} el área de la laguna inundada en cada momento, A_{cuenca} el área de la cuenca vertiente, D_{sup} el drenaje superficial, A_{an} los aportes de origen antrópico, D_{an} las detracciones o usos antrópicos, A_{sub} los aportes hídricos subterráneos y S_{sub} las salidas de recursos subterráneos

De forma general, y en términos de balance hídrico, en dicha expresión las entradas corresponderían a la precipitación directa sobre la superficie inundada en cada momento (PP_{laguna}), a la escorrentía superficial generada en la cuenca vertiente (ES_{sup}) y a los aportes antrópicos (A_{an}) y subterráneos (A_{sub}). Por la parte opuesta, las salidas son las debidas a la evapotranspiración en la propia cubeta de la laguna (ET_{laguna}), limitada a la máxima superficie encharcada en cada momento, a las salidas o drenajes naturales (D_{sup}), a las detracciones antrópicas (D_{an}) y a las salidas subterráneas (S_{sub}):



$$PP_{laguna} + ES_{sup} + A_{an} + A_{sub} = ET_{laguna} + D_{sup} + D_{an} + S_{sub} \pm \Delta V_{laguna}$$

Para los sistemas de carácter endorreico en los que no existen drenajes superficiales, así como tampoco detracciones o usos de sus recursos hídricos, ambas expresiones pueden ser simplificadas según:

$$\Delta V/\Delta t = (PP - ET) \cdot A_{laguna} + ES \cdot (A_{cuenca} - A_{laguna}) + A_{an} + A_{sub} - S_{sub}$$

y también

$$PP_{laguna} + ES_{sup} + A_{an} + A_{sub} = ET_{laguna} + S_{sub} \pm \Delta V_{laguna}$$

En estos casos, todas las variables pueden ser estimadas o conseguidas de forma directa a excepción de los aportes (A_{sub}) y de las salidas (S_{sub}) de aguas subterráneas al sistema. Ambos términos pueden ser integrados en uno solo (R_{sub}), cuyo valor sería igual a cero en los casos en los que no existe relación con las aguas subterráneas, por lo que sirve como término de ajuste del resto de parámetros. En los que sí se da esta relación, dicho valor sería diferente de cero y se obtendría como término residual de la expresión:

$$PP_{laguna} + ES_{sup} - ET_{laguna} + A_{an} + \Delta V_{laguna} = S_{sub} - A_{sub}$$

si $S_{sub} - A_{sub} = R_{sub}$ *se tendría:*

$$PP_{laguna} + ES_{sup} - ET_{laguna} + A_{an} + \Delta V_{laguna} = R_{sub}$$

Dado que todos los sistemas lagunares estudiados son de tipología endorreica, su balance hídrico ha sido determinado a partir de esta última expresión.

De acuerdo con la metodología adoptada, para la estimación de los balances hídricos de las lagunas se han utilizado los datos climáticos de las estaciones agroclimáticas del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha para el periodo del 1 de octubre de 2001 al 30 de septiembre de 2016.

El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0), calculado por el método Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo



Laguna del Camino de Villafranca rodeada de sedimentos impermeables, como arcillas, margas y limos con yesos (C. Camuñas)

(k_c), estimado en cada caso en función de las características de la cuenca hidrológica del humedal. Para la determinación de la evapotranspiración se ha considerado en cada momento la extensión de la lámina de agua.

Para establecer el volumen de los aportes superficiales se ha utilizado el método del Número de Curva del Soil Conservation Service (SCS) del United States Departament of Agriculture (USDA), que permite estimar la escorrentía superficial generada en pequeñas cuencas. Conforme a dicho método, se han identificado y definido las formaciones geológicas aflorantes en la cuenca vertiente, la pendiente topográfica de la misma, la densidad de la vegetación y/o el tipo de cultivo practicado. En la aplicación de este método se han usado tres umbrales de saturación según la condición de humedad ARC (*Antecedent Runoff Condition*), a partir de los cuales se ha obtenido el valor de los correspondientes números de curva en condiciones de humedad alta, media y baja para diferentes periodos.

Por otro lado, mediante el análisis geológico se ha establecido la extensión y distribución de las formaciones aflorantes en la cuenca hidrológica, clasificadas según su permeabilidad, con la obtención de la tipología y número de curva correspondiente a este factor, mientras que el uso de la tierra y la densidad de la vegetación se ha estimado a partir de la base de datos de ocupación del suelo a escala 1:25.000 del Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE), disponible gracias al Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

En cuanto a la pendiente media de la cuenca, se ha determinado mediante el análisis y geoprocesamiento con herramientas SIG de la superficie del terreno a partir de los Modelos Digitales del Terreno (MDT, paso de malla 5 m) del CNIG. De igual manera se ha obtenido el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación, con pasos de altura de 0,01 m, mediante la elaboración del MDT obtenido de ficheros digitales con información altimétrica de la nube de puntos (capturados mediante vuelos con sensor LiDAR) con una densidad de 0,5 puntos/m^2 del CNIG, lo que ha permitido establecer y representar las funciones que definen en cado caso las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen.

También se ha dispuesto de registros limnimétricos de las lagunas entre el 21 de diciembre de 2012 y el 7 de septiembre de 2014, correspondiente al periodo de duración



del proyecto ECOLAKE, por lo que se ha podido contar con información real sobre el llenado y vaciado de su vaso y, en consecuencia, de la variación del volumen de agua almacenado. Estos registros han sido utilizados como elemento de calibración en el proceso de simulación del llenado/vaciado de las lagunas para el periodo referido.

Por último, se ha recabado información sobre el caudal de aguas residuales urbanas depuradas vertido a algunos de los ecosistemas estudiados.

A partir de aquí, la metodología utilizada considera dos casos: por un lado aquellas lagunas para las cuales el análisis geológico/hidrogeológico concluye de forma fehaciente que no existe relación con las aguas subterráneas y, por otro, el resto de los ecosistemas, en los cuales puede existir o no relación con las aguas subterráneas.

Para el caso de no existir relación con las aguas subterráneas, el volumen de llenado/vaciado del vaso, calculado de forma teórica para cada periodo, se ha contrastado con los registros de los limnímetros del proyecto ECOLAKE, de manera que el número de curva ha podido ser recalibrado mediante el ajuste de los parámetros de partida. Esto ha permitido establecer la bondad de los parámetros teóricos asignados para su aplicación a otras cuencas de similares características que sí presentan interacción con las aguas subterráneas.

En relación con lo anterior, se ha comprobado que la simulación del proceso de llenado/vaciado mejora si el volumen nulo se equipara al de una superficie inundada teórica mínima necesaria para la saturación del suelo de la laguna antes de obtenerse realmente una lámina de agua libre. Con esta condición se obtiene un cálculo más ajustado de la evapotranspiración y de los aportes por precipitación.

Con la simulación del proceso de llenado/vaciado, una vez calibrado con los datos reales obtenidos durante el periodo del proyecto ECOLAKE, se ha determinado el balance hídrico del sistema y la fluctuación del nivel de agua para el correspondiente lapso temporal. De igual manera, con los parámetros validados para el periodo de calibración se ha procedido a su aplicación para un periodo de 15 años (años hidrológicos 2001/02 a 2015/16), lo que ha permitido reconstruir el comportamiento hidrológico de la laguna a largo plazo y su balance hídrico hiperanual.

Como se ha mencionado anteriormente, en el caso de las lagunas en los que sí existen, o pueden existir, procesos de intercambio aguas superficiales-aguas subterráneas, el término correspondiente a sus aportes o pérdidas (R_{sub}) se ha obtenido como el producto residual del balance hídrico calibrado para el periodo ECOLAKE. Los valores positivos implicarán la existencia de flujo subterráneo hacia la laguna, mientras que los negativos supondrán la perdida de agua a favor de los acuíferos con los que está interconectada. Un valor de cero o próximo a cero indicará la ausencia de relación del sistema con las aguas subterráneas.

Para la determinación del término R_{sub} se han utilizado los parámetros del método del número de curva hallados y ajustados en cuencas de similares características geológicas, pero sin relación con los recursos hídricos subterráneos. Para este cometido se ha establecido la permeabilidad de las formaciones geológicas aflorantes en las cuencas hidrológicas de las lagunas según cuatro tipos (tabla 5.1), con la obtención de un número de curva geológico, o del terreno, característico para cada una de ellas. Este parámetro sustituye al factor suelo utilizado en el método del SCS.

Al igual que en el caso de los sistemas exclusivamente dependientes de los aportes superficiales, los resultados se han aplicado al periodo de 15 años (años hidrológicos 2001/02 a 2015/16) con el fin de conocer el balance hídrico hiperanual de la laguna, así como la evolución temporal de los procesos de llenado y vaciado del sistema.

TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS SEGÚN SU PERMEABILIDAD (K)				
Tipo	K	Litología	Edad	Cuenca hidrológica laguna
A	Alta	Calizas y dolomías	Trías Muschelkalk	Cno. Villafranca, G. de Villafranca, Veguilla
		Dolomías	Trías Keuper	Cno. Villafranca
		Dolomías	Jurásico	Cno. Villafranca, Quero, Salicor, Veguilla
		Calizas oolíticas	Dogger	Manjavacas
		Dolomías	Cenomaniense-Turoniense	Manjavacas
		Conglomerados silíceos	Oligoceno-Mioceno	Peña Hueca
		Calizas micríticas	Mioceno medio y superior	Manjavacas, G. de Villafranca, Quero, Alcahozo
B	Media	Conglomerados, areniscas, pizarras y grawvacas	Precámbrico-Cámbrico	Almodóvar
		Cuarcitas y areniscas	Ordovícico	Veguilla
		Areniscas, cuarcitas y pizarras	Ordovícico	Larga de Villacañas
		Conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras	Ordovícico	Caracuel, Almodóvar
		Cuarcita armoricana (ortocuarcitas)	Ordovícico	Caracuel, Almodóvar, Nava Grande
		Conglomerados y limolitas	Trías Buntsandstein	Tírez, Peña Hueca
		Areniscas, conglomerados y dolomías	Trías Muschelkalk	Tírez, Peña Hueca
		Areniscas y conglomerados	Trías Keuper	Larga de Villacañas
		Arenas	Albiense	Manjavacas
		Conglomerados, areniscas y lutitas	Albiense	Tírez, Peña Hueca
		Calizas con cantos y margocalizas	Cenomaniense	Tírez, Peña Hueca
		Areniscas y conglomerados cuarcíticos	Eoceno-Oligoceno	Yeguas, Cno. Villafranca
		Calizas, areniscas, conglomerados, limos y arcillas	Eoceno-Oligoceno	Manjavacas
		Brechas cuarcíticas y arcillas	Mioceno medio	Larga de Villacañas, Tírez, Peña Hueca
		Brechas y conglomerados calcáreos	Mioceno medio y superior	Quero
		Calizas micríticas y margas	Mioceno sup.-Plioceno	Tírez, Peña Hueca
		Microconglomerados y areniscas	Mioceno sup.-Plioceno	Tírez
		Areniscas, conglomerados y caliches	Plioceno	Longar
		Gravas, arenas y fangos	Plioceno	Nava Grande
		Piroclastos, cenizas volcánicas	Mioceno sup.-Pleistoceno	Almodóvar
		Conglomerados, arenas, arcillas y gravas	Pliocuaternario	Caracuel, Almodóvar
		Gravas, arenas y limos	Pleistoceno	Mermejuela, Yeguas, Larga de Villacañas
		Bloques, gravas, arenas y limos	Cuaternario	Nava Grande, Longar
C	Baja	Cuarcitas y pizarras	Cámbrico	Longar
		Pizarras, cuarcitas y areniscas	Ordovícico	Nava Grande, Tírez, Peña Hueca
		Arcillas, conglomerados, arenas y margas	Trías Buntsandstein	G. de Villafranca, Yeguas, Cno. Villafranca, Veguilla
		Conglomerados, arcillas y limos	Eoceno-Oligoceno	Quero
		Areniscas, arenas y limos	Mioceno	Tírez, Peña Hueca
		Areniscas y lutitas	Mioceno medio	Mermejuela, Tírez, Peña Hueca
		Arcillas, arenas, limos y gravas	Mioceno inferior y medio	Alcahozo
		Arcillas, limos y arenas	Mioceno inferior y medio	Veguilla
		Limos y arenas	Mioceno inferior y medio	Tírez, Peña Hueca
		Margas, microconglomerados y areniscas	Mioceno medio-superior	Alcahozo
		Margas y areniscas	Mioceno superior	Veguilla
		Limos, arenas, areniscas, calizas y margas	Mioceno med-Plioceno sup.	Larga de Villacañas
		Depósitos hidromagmáticos	Mioceno sup.-Pleistoceno inf.	Caracuel, del Prado
		Costras carbonatadas, limos y arcillas	Plioceno superior	Nava Grande
		Costras calcáreas, arenas y limos	Pliocuaternario	del Prado
		Limos, arenas, gravas y costras	Pliocuaternario	Tírez, Peña Hueca
		Limos y arenas	Cuaternario	Manjavacas, Alcahozo, Mermejuela, G. de Villafranca, Yeguas, Cno. Villafranca, Veguilla
		Limos	Cuaternario	Larga de Villacañas, Nava Grande, Longar
		Limos y arcillas	Cuaternario	Caracuel, Almodóvar
D	Impermeable	Arcillas, margas y limos con yesos	Trías Keuper	Quero, Salicor, Cno. Villafranca, Tírez, Veguilla, Larga de Villacañas
		Lutitas	Trías Keuper	Tírez, Peña Hueca
		Margas y arcillas	Cenomaniense-Turoniense	Quero
		Margas y arcillas con yesos	Senoniense	Manjavacas
		Margas y margocalizas con yesos	Mioceno inferior y medio	Mermejuela, Manjavacas
		Arcillas y limos con yesos	Mioceno inferior y medio	Cno. Villafranca, Veguilla, Yeguas
		Margas con yesos	Mioceno medio-superior	Longar
		Margas blancas	Mioceno superior	G. de Villafranca
		Margas yesíferas y yesos	Plioceno	del Prado
		Limos y arcillas yesíferas	Cuaternario	del Prado

Tabla 5.1. Tipología de las formaciones geológicas según su permeabilidad (K), aflorantes en las cuencas hidrológicas de las lagunas

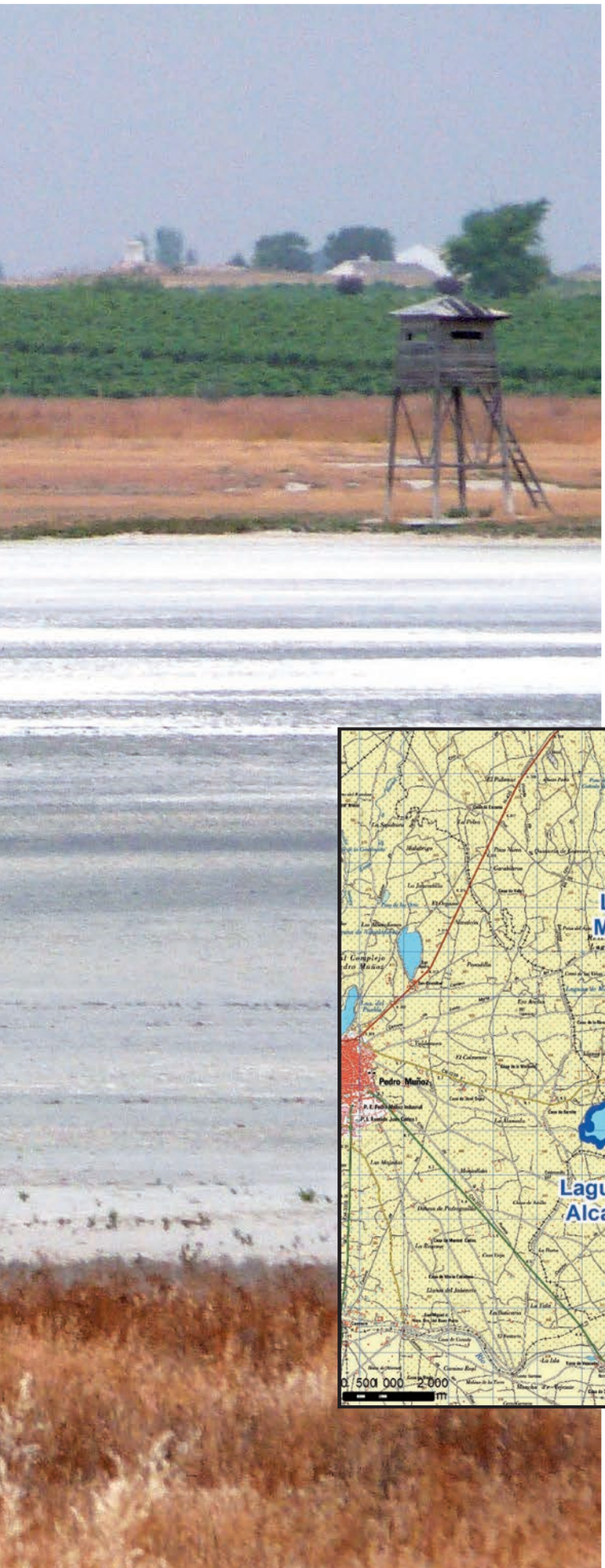
Capítulo 6



COMPLEJO LAGUNAR DEL ALTO ZÁNCARA

LAGUNAS: ALCAHOZO Y MANJAVACAS





6. COMPLEJO LAGUNAR DEL ALTO ZÁNCARA

6.1. INTRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

Las lagunas de Alcahozo y Manjavacas, situadas a caballo entre las provincias de Ciudad Real y Cuenca, y entre las poblaciones de Las Mesas y Pedro Muñoz, configuran el complejo lagunar del Alto Záncara, cuyo cauce discurre unos 8 km hacia el sur.

Alcahozo es la de menor superficie y su núcleo urbano más cercano es Pedro Muñoz (Ciudad Real), localizado unos 6 km hacia el oeste. Por su parte, Manjavacas, algo más alejada de esa misma población (figura 6.1), pertenece al término municipal conquense de Mota del Cuervo.

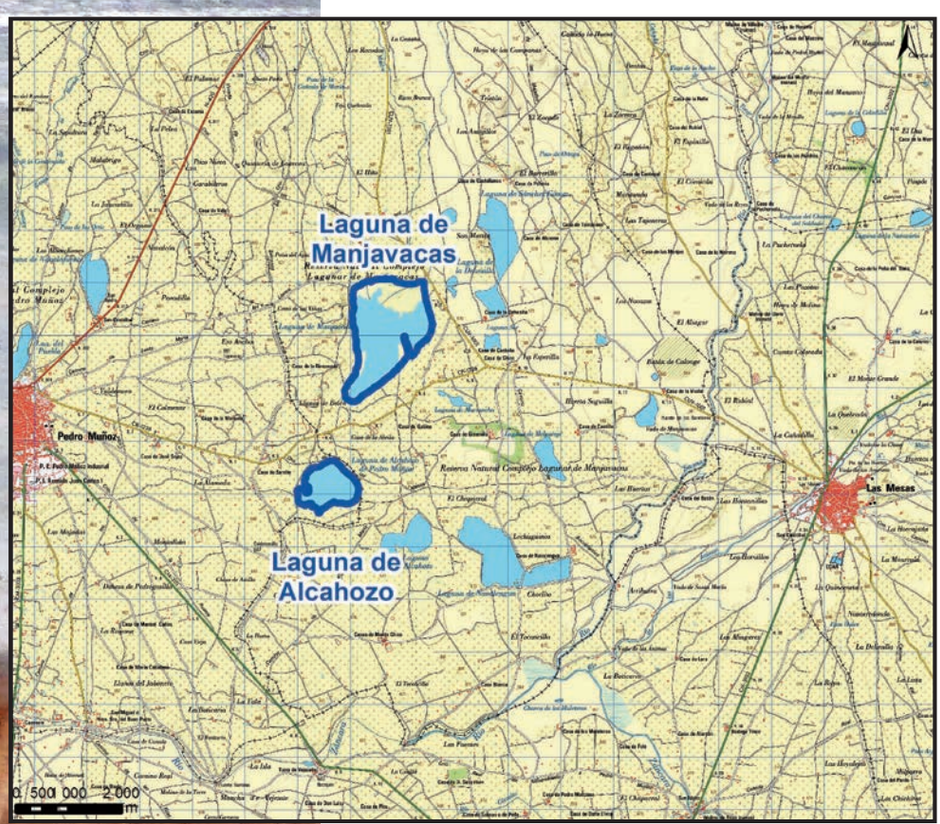


Figura 6.1. Situación geográfica del complejo lagunar del Alto Záncara (hojas 714 y 715 del Mapa Topográfico Nacional, a escala 1:50.000, del Instituto Geográfico Nacional, IGN)

Climatología

Las características climáticas de este complejo lagunar han sido determinadas a partir de la estación meteorológica CU02 de El Pedernoso (Cuenca), perteneciente a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha (tabla 6.1).

La precipitación media anual de los últimos 15 años (2001/02-2015/16) es de 371,1 mm, con un máximo de 664,8 mm en el más húmedo (2003/04) y un mínimo de 154,8 mm en el más seco (2004/05). A escala diaria cabe destacar el episodio de lluvia torrencial ocurrido el 16 de octubre de 2003, en el que se acumularon 65,8 mm.

Los registros mensuales reflejan que en todos los meses se superan los 37 mm de precipitación, salvo en los de verano (junio, julio, agosto y septiembre) y en enero con 27,5 mm, siendo el más húmedo el de abril y el más seco el de julio con valores de 53,8 mm y apenas 1,3 mm, respectivamente (tabla 6.2). En el periodo analizado la precipitación máxima acumulada en un solo mes fue de 129,0 mm (octubre de 2003).

Registros climáticos anteriores a los de la estación CU02 del SIAR se han tomado de la estación meteorológica Belmonte (nº 4095), de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), cuyos valores más representativos se resumen en la tabla 6.3 para el periodo de 40 años que va desde 1960/61 a 1999/2000.

Comparados los datos de las dos series estudiadas, se puede concluir que la precipitación media anual en los últimos 15 años ha sufrido un descenso considerable, algo superior a 78 mm, respecto a los 40 años anteriores.

Por su parte, la temperatura media anual es de 13,6 °C (tabla 6.4) y las máximas y mínimas diarias de 20,8 °C y 6,6 °C, respectivamente.

Valores ambientales

Valoración global

El complejo lagunar del Alto Záncara integra a un conjunto de lagunas de las que Alcahozo y Manjavacas constituyen sus principales exponentes, existiendo otras de menor relevancia tales como La Dehesilla y Sánchez Gómez. Estas lagunas se encuentran rodeadas por cultivos de secano en un entorno en el que es posible atisbar algunos canales de drenaje, siendo la de Manjavacas la que presenta una mayor alteración por el continuo aporte antrópico de las aguas residuales de Mota del Cuervo; las cuales, además de dulcificar sus aguas, merman su estacionalidad y aceleran su eutrofización. Esto contrasta con el mayor estiaje de Alcahozo, acentuado por el cese de los aportes de aguas subterráneas. Esta última, de superficie más reducida y forma circular, está mejor conservada y presenta una biota más vinculada a ambientes hipersalinos.

Biodiversidad: flora y fauna

Según el catálogo de Cirujano y Medina (2002), en la laguna de Manjavacas la vegetación sumergida está generalmente ausente a causa del proceso de eutrofización, pero cuando aparece suele estar constituida por diversas especies de *Chara* y *Lamprothamnium papulosum*, además de *Ranunculus* o *Ruppia*. En Alcahozo era posible observar la presencia de la carácea *Lamprothamnium papulosum*, considerada de especial interés en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas.

Tabla 6.1. Datos de ubicación y periodo de registro temporal empleado (SIAR)

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
CU02	El Pedernoso	520738	4369320	720	01/10/2001	30/09/2016

PRECIPITACIÓN (mm)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**371,1**	**1,0**	**27,5**	**38,4**	**43,0**	**53,8**	**39,2**	**16,5**	**1,3**	**10,1**	**21,2**	**47,0**	**37,8**	**38,5**
Máxima absoluta	664,8	65,8	63,9	86,2	110,4	127,2	103,8	45,6	5,0	28,4	53,6	129,0	104,5	119,5
Fecha	2003/04	16/10/2003	2010	2010	2004	2004	2004	2010	2006	2002	2012	2003	2014	2009
Mínima absoluta	154,8	0,0	0,8	2,0	10,8	5,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,5	0,3	5,4	2,9
Fecha	2004/05	-	2005	2002	2008	2005	2005	2011	Varios años	2005 y 2014	2014	2014	2009	2015

Tabla 6.2. Valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica CU02 El Pedernoso (SIAR)

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
4095	Belmonte	525368	4378855	750	1960/61	1999/2000

PRECIPITACIÓN (mm)		
	Precipitación anual	Fecha
Media	**449,6**	1960/61 - 1999/2000
Máxima absoluta	647,9	1962/63
Mínima absoluta	193,0	1966/67

Tabla 6.3. Ubicación, registro temporal y valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica nº 4095 Belmonte (AEMET)

TEMPERATURA (°C)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**13,6**	**-**	**3,7**	**5,4**	**8,7**	**11,9**	**16,0**	**21,8**	**24,7**	**24,2**	**19,5**	**14,4**	**8,0**	**4,7**
Máxima media	20,8	-	9,7	11,8	15,5	18,8	23,4	29,9	33,5	32,7	27,3	21,5	14,3	10,8
Mínima media	6,6	-	-1,4	-0,6	2,3	5,0	8,1	13,1	15,1	15,5	12,0	8,1	2,5	-0,4
Máxima absoluta	-	41,1	20,6	24,4	26,3	29,4	37,8	39,7	40,3	41,1	38,9	36,6	25,2	19,8
Fecha	-	10/08/12	27/01/03	16/02/07	24/03/02	09/04/11	13/05/15	26/06/12	06/07/15	10/08/12	07/09/16	14/10/02	01/11/09	04/12/15
Mínima absoluta	-	-25,0	-25,0	-10,2	-8,4	-4,6	-3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	-2,7	-9,9	-14,4
Fecha	-	18/01/04	18/01/04	21/02/12	08/03/05	05/04/02	04/05/02	24/06/09	20/07/11	03/08/11	30/09/10	27/10/10	18/11/07	15/12/09

Tabla 6.4. Valores de temperatura más relevantes de la estación termo-pluviométrica CU02 El Pedernoso (SIAR)

Trabajos más recientes (Cirujano y Guerrero, 2016) también citan en ella la existencia de *Ruppia drepanensis* (figura 6.2), que ha sustituido al tapete microbiano que anteriormente cubría su lecho.

Respecto a la vegetación perimetral de estos humedales, en Manjavacas es común el carrizo (*Phragmites australis*) en zonas con suficiente humedad edáfica, particularmente en el área asociada al canal por el que acceden las aguas residuales a la laguna, donde la salinidad es inferior. En áreas subsalinas es posible observar otras especies cosmopolitas como el junco (*Bolboschoenus maritimus*), aunque en las zonas menos alteradas pueden aparecer plantas más propias de estos ambientes salinos como *Salicornia europaea* o diversas especies de *Suaeda* (Cirujano y Medina, 2002). De forma particular, también es posible observar la especie *Cressa cretica*, planta adaptada a suelos salinos, pero con una distribución muy limitada (Peinado, 1994). En el caso de Alcahozo, aunque con reducida extensión, son más comunes las praderas de vegetación halófila en el entorno más próximo a la zona inundada, con la presencia de *Salicornia ramosissima*, así como otras formaciones emergentes como *Puccinelia fasciculate* o *Aeluropus littoralis* (Cirujano y Guerrero, 2016).

En Manjavacas, la mayor persistencia y extensión de su lámina de agua atrae una mayor población de avifauna, fundamentalmente de especies comunes tales como la focha común (*Fulica atra*) o el ánade real (*Anas platyrhynchos*). En periodos de estiaje más reducidos, incluso ausente durante algún ciclo hidrológico, se facilita que la laguna actúe como refugio de aves cuando las del entorno se encuentran secas. Cabe citar como ejemplo la alta densidad de



Figura 6.2. Aspecto general (izquierda) y detalle (derecha) de la población de macrófitos (Ruppia drepanensis) *que cubre el lecho de la laguna de Alcahozo (C. Rochera)*



Figura 6.3. Las islas de la laguna de Manjavacas facilitan la nidificación de aves (C. Rochera)

avoceta común (*Recurvirostra avosetta*) durante los periodos de cría (Gonçalves *et al.*, 2016), siendo también significativa la colonia de flamencos (*Phoenicopterus roseus*). Así, entre los años 2010 y 2011 se reprodujeron cerca de 2.000 parejas de esta ave zancuda, con un resultado de casi 1.000 crías al año (Gosálvez, 2011). Comparada con Alcahozo, Manjavacas constituye un entorno más heterogéneo, capaz de albergar nichos más diversos por la existencia de islas que facilitan la nidificación (figura 6.3), si bien en Alcahozo destaca la presencia del chorlitejo patinegro (*Charadrius alexandrinus*), pequeño limícola que en el interior de la Península solo aparece en escasas localidades (Gonçalves *et al.*, 2016).

Biodiversidad microbiana y del plancton

En relación con la microbiota asociada al sedimento, en Alcahozo se desarrollaba en décadas pasadas un tapete microbiano bien estructurado, compuesto principalmente por la cianobacteria filamentosa *Microcoleus chthonoplastes* y distintas diatomeas (Florín y Montes, 1998). En la actualidad estas formaciones microestratificadas ya no se observan, posiblemente como consecuencia de la modificación de su hidroquímica, aunque quedan patentes todavía en estratos subsuperficiales del sedimento del humedal (figura 6.4). Por el contrario, Manjavacas carece de tapetes microbianos, aunque Segura y Rojo (2016) describen microasociaciones com-



Figura 6.4. Restos del tapete microbiano compuesto por cianobacterias y diatomeas que cubría en décadas pasadas la cubeta de la laguna de Alcahozo y que actualmente se encuentra enterrado en su lecho (C. Rochera)



puestas por cianobacterias y otros taxones entre los que se encuentra la especie filamentosa eurihalina *Jaaginema subtilissimum*.

Respecto al zooplancton y el zoobentos, la mayor rigurosidad del medio en el caso de la laguna de Alcahozo comporta una comunidad menos diversa si se compara con Manjavacas, sin embargo aparecen especies con interés biogeográfico como *Arctodiaptomus salinus* o el endemismo ibérico *Alona salina*. Como ejemplo de la mayor variedad biológica de Manjavacas, un estudio en el contexto del proyecto Ecolake, de Castillo-Escrivà y colaboradores (2013), evidencia una comunidad de ostrácodos relativamente diversa en esta laguna, con especies tales como *Ilyocypris gibba*, *Heterocypris incongruens*, *Sarscypridopsis aculeata*, *Potamocypris arcuata*, o la más común *Heterocypris barbara* (figura 6.5). Por el contrario, sólo esta última especie fue detectada en la laguna de Alcahozo, en la que sí es posible observar anostráceos, como *Branchinectella media*, cuya distribución queda restringida a los ambientes hipersalinos de Los Monegros, el Bajo Guadalquivir y La Mancha (Sala *et al.*, 2005).

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos de mayor relevancia que ofrecen estas lagunas son:

- Servicios de abastecimiento: acervo genético.
- Servicios de regulación: climática, hídrica y de ciclos biogeoquímicos.
- Servicios culturales: conocimiento científico, identidad cultural, disfrute estético, ecoturismo, educación ambiental.

Estado ecológico e impactos

En términos generales el estado trófico de las lagunas, atendiendo a las concentraciones de clorofila-a y nutrientes mayoritarios (nitrógeno y fósforo), es mesotrófico, aunque en el caso de Manjavacas puede ser más deficiente a causa de los aportes de aguas residuales (Camacho *et al.*, 2017), siendo más evidente el deterioro en la zona más próxima al vertido. Tanto la dulcificación de las aguas como la mayor extensión y persistencia del periodo de inundación de esta laguna también son consecuencia de estos aportes. La entrada de agua menos salina y cargada de nutrientes promueve la producción algal, lo que se traduce en una acumulación de lodos orgánicos en la cubeta que potencian la emisión de gases de efecto invernadero, como el metano (Camacho *et al.*, 2017), así como la posible aparición de procesos de botulismo ligados a la entrada de contaminación fecal. A su vez, el exceso de materia orgánica sobrepasa la capacidad de reciclado del sistema, con la aparición de fases anóxicas por la alta demanda de oxígeno y la consiguiente disminución de la biodiversidad. Serrano (2015) también describe como mesotrófico el estado de ambas lagunas en el verano de 2011, atendiendo a las concentraciones de fósforo total en agua y en base a los criterios OCDE (1982), de lo que podría deducirse una ligera mejora de la calidad del ecosistema. Igualmente, en los trabajos de la Red de Control Biológico en la Cuenca del Guadiana, la determinación de índices ecológicos reflejaba ya para el periodo 2007-2010 una situación bastante mejorable del estado ecológico de Manjavacas, siendo más favorable la situación observada en Alcahozo. Por otra parte, la preocupación por el cuidado y conservación de estas lagunas ha llevado al desarrollo, especialmente en Manjavacas, de actuaciones como el vallado perimetral, la cartelería, señalizaciones o creación y mejora de senderos.



Figura 6.5. Individuos del ostrácodo Heterocypris barbara*, cuya presencia se ha descrito en la biocenosis de ambas lagunas (A. Castillo-Escrivà)*

6.2. LAGUNA DE ALCAHOZO

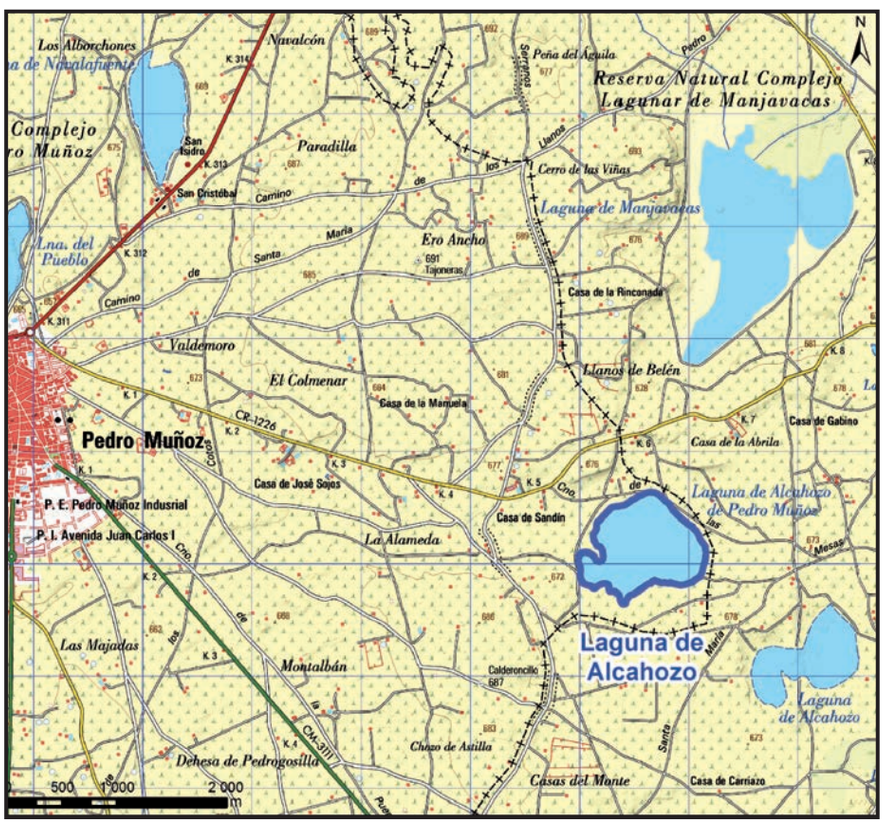
SITUACIÓN GEOGRÁFICA, COORDENADAS Y ACCESOS

La laguna de Alcahozo se sitúa al sureste del núcleo urbano de Pedro Muñoz (figura 6.6) y su punto central responde a las coordenadas X: 510600, Y: 4360200 (UTM ETRS89 H30), cuya altitud alcanza los 664,25 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

La carretera nacional N-420, que conecta las ciudades de Cuenca y Ciudad Real, atraviesa la localidad de Pedro Muñoz, lo que supone una vía de acceso fácil para las personas que deseen conocer la laguna. Los escasos 6 km que la separan del pueblo son cómodamente transitables por la carretera CR-1226 que discurre en dirección a la localidad de Las Mesas. La entrada más directa queda en el margen derecho de esta vía, donde nace el camino también denominado de Las Mesas. Si se toma esta senda, y después de recorridos unos 700 m, se alcanza el flanco norte de la cubeta.

La red viaria la integra un entresijo de caminos rurales de tierra que permiten el servicio de las explotaciones agrícolas, así como la visión del vaso de la laguna desde múltiples puntos. Apenas 500 m hacia el oeste, y con una orientación norte-sur, transcurre el camino de Bárdenas o vereda de los Serranos (antigua calzada romana) que conecta las inmediaciones del humedal con el río Záncara y dibuja en parte el límite provincial entre Cuenca y Ciudad Real.

Figura 6.6. Situación geográfica de la laguna de Alcahozo (hoja 714 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del IGN)



El perímetro aproximado del vaso, según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021 (BOE, 2016), es de 3,8 km y la superficie máxima de inundación de 72,94 ha.

CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS

La laguna, de carácter endorreico y estacional, perfila un contorno suave semicircular con un radio aproximado de unos 450 m en el que su extremo suroeste se extiende algo más en detrimento del flanco sur que es más achatado (figura 6.7).

Geomorfológicamente, la laguna, con sólo algunos centímetros de profundidad, no destaca en el paisaje salvo por la presencia de una lámina de agua en época invernal y la blanca tonalidad del salitre en época estival. Con las escasas diferencias topográficas que perfilan un horizonte predominantemente llano, el humedal queda encajado entre una meseta localizada al sur y elevada unos 10 m sobre su vaso, y una alineación alomada al norte que se alza tímidamente de forma similar.

La red fluvial aledaña queda restringida al paso del río Záncara. El curso de este río serpentea al sur del humedal entre parcelas de viñedos con un encajamiento poco acusado. En menor medida, también aparecen cultivos de olivos entrelazados con zonas de vegetación esteparia que ocupa los relieves algo más acusados y abruptos.

NORMATIVA ESPECÍFICA Y FIGURAS DE PROTECCIÓN

Este humedal, al ser un espacio singular y representativo que cuenta con una riqueza natural y cultural, forma parte de la Reserva de la Biosfera de "La Mancha Húmeda" declarada por la UNESCO en 1980 y es propiedad de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. A nivel europeo, la laguna de Alcahozo se integra en la red ecológica de áreas de conservación de la biodiversidad de la Unión Europea, Red Natura 2000, siendo Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Humedales de La Mancha".

Dentro del ámbito autonómico, fue declarada Refugio de Caza en 1988 y reclasificada como Refugio de Fauna en 1993. En octubre de 2001 se aprobó su Plan

de Ordenación de Recursos Naturales, declarándose Reserva Natural, y en marzo 2010 se amplía su protección incluyendo sus terrenos en el catálogo de montes de utilidad pública (tabla 6.5).

Valores históricos y culturales

Historia

Además de los valores ambientales inherentes al ecosistema acuático de la laguna de Alcahozo (figura 6.8), también existen en su entorno relevantes vestigios del patrimonio arqueológico y etnográfico.

En cuanto al primero, son comunes los asentamientos de pequeño tamaño cercanos al humedal y a las vías de comunicación; también el antiguo camino de Pedro Muñoz a las Mesas, cuyo origen se remonta a la Prehistoria, si bien fue utilizado con mayor frecuencia durante la Edad Media y la Edad Moderna.

A nivel etnográfico se distinguen dos tipos de estructuras que aportan información sobre la ocupación del lugar a lo largo del tiempo. Por una parte, los restos de una explotación salinera y, por otra, los chozos de pastor (figura 6.9) construidos por los agricultores a partir del siglo XIX. Estos chozos son un ejemplo de arquitectura de cierto interés y revelan el pasado pastoril del entorno, especialmente ligado al paso de la trashumancia desde el Medievo, con un paisaje de pasto de ganado y monte bajo totalmente diferente al actual.



Figura 6.7. Laguna de Alcahozo en el año 2015 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

Otras construcciones importantes para la reconstrucción del paisaje cultural más remoto son las norias de sangre, repartidas por el entorno y asociadas a cultivos de huerta.

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA DE ALCAHOZO
RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA
Declaración de la UNESCO de 30 de noviembre de 1980
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Humedales de La Mancha", código ES4250010 Zona de Especial Protección para las Aves Z.E.P.A. "Humedales de La Mancha", código ES0000091
REFUGIO DE FAUNA
Decreto 65/1988, de 17 de mayo, por el que se declaran como refugios de caza las lagunas de los Patos, de Alcahozo, de la Vega o del Pueblo, del Prado, de El Tobar y de Uña, ubicadas en el ámbito territorial de Castilla-La Mancha (DOCM nº 21, de 24-05-1988). Con la aprobación de la Ley de Caza por las Cortes Regionales de Castilla-La Mancha en 1993, se reclasificaron todos los Refugios de Caza como "Refugios de Fauna"
RESERVA NATURAL
Decreto 185/2001, de 2 de octubre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del complejo lagunar de Manjavacas, Sánchez Gómez y la Dehesilla en Mota del Cuervo (Cuenca) y laguna de Alcahozo en Pedro Muñoz (Ciudad Real), y se declara la Reserva Natural del complejo lagunar de Manjavacas (DOCM nº 114, de 26-10-2001)
MONTE DE UTILIDAD PÚBLICA
Resolución de 18/03/2010, de la Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural, de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, por la que se aprueba la declaración de utilidad pública e inclusión en el Catálogo de Montes de Utilidad Pública de Ciudad Real del monte laguna de Alcahozo, perteneciente a la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y sito en el término municipal de Pedro Muñoz, provincia de Ciudad Real (DOCM nº 76, de 22-04-2010)

Tabla 6.5. Figuras de protección de la laguna de Alcahozo



Figura 6.8. Laguna de Alcahozo en febrero de 2018 (C. Camuñas)

A mediados del siglo XX, y controlados los brotes de epidemias causadas por el estancamiento del agua en las lagunas, es de resaltar la sobreexplotación y falta de protección de este hábitat por el ser humano, que provocó cambios profundos e irreversibles en el ecosistema. De hecho, de los paisajes anteriormente descritos sólo quedan pequeños retazos que con el tiempo y sin la adecuada protección están condenados a desaparecer.

El deterioro del hábitat es descrito por Cirujano (1980b) cuando detalla que el principal arroyo, que desemboca en la laguna por el oeste, sólo lleva agua de forma ocasional. Matiza, además, que durante el periodo 1965-1970 la laguna recibía agua de los manantiales cercanos, algunos de ellos considerados popularmente como medicinales y usados para el baño con este fin.

En este sentido, y según los datos aportados en el Congreso Nacional de Conservación y Restauración de los Humedales (Laguna *et al.*, 2015), la sobreexplotación de los acuíferos para regadío redujo drásticamente la extensión de la laguna de Alcahozo. Entre 1980-1990 y 2000-2010 se registraron transformaciones significativas del viñedo tradicional a viñedo en espaldera y un incremento de los cultivos de regadío.





Figura 6.9. Chozos de pastor cercanos a la laguna (F. Martín del Pozo)

Salina de interior

La explotación de la sal durante la Edad Media fue bastante relevante en algunos municipios con lagunas salobres (figura 6.10). En un manuscrito de 1823 de las salinas Espartinas y de Valdemoro se informa de la explotación económica de la laguna de Alcahozo desde el siglo XVIII, junto a otras que dependían al igual que ella de Quero. Así: "*estas lagunas se hallan acotadas por disposición que dio la Dirección General de Rentas en 5 de septiembre de 1780, y están situadas en los términos de las Villas siguientes: Las nombradas de Villacañas, Bogarra y Tírez y su charco, en el término del mismo Villacañas. La de Villafranca, en ese término. Yeguas, Larga: su charco y cerro mesado en el de Alcázar. La de Bermejuela en el de Miguel Estevan. La de Villajos en Campo de Criptana. La de Alcahozo en el de Pedro Muñoz. La de Pozos dulces en el de Lillo y en Quero la que lleva ese nombre. Todas se hallan sujetas a la Administración establecida en la Villa de Quero".*

La producción anual de este conjunto de explotaciones salineras también queda reflejada documentalmente: *"se sacan de estas lagunas en año común calculado por un quinquenio sobre 830 arrobas de sal compasto con el coste de tres reales y medio cada arroba".*

Según la investigadora local Sánchez Duque, existen restos de un asentamiento de la Edad Media, llamado El Barrancón, con estructuras de planta cuadrada y muros de mampostería de piedras calizas, que se inundaba cuando la laguna crecía y podría estar relacionado con la explotación de la sal.

Desde la época Medieval, la Mesta transportaba, entre otros productos, la sal por la Cañada de los Serranos, dando lugar a una importante actividad arriera.

Otros aprovechamientos tradicionales del entorno lagunar

María Josefa Rodríguez Mayordomo, vecina actualmente de Pedro Muñoz, recuerda el uso profiláctico de la laguna, ya que debido a las propiedades medicinales que le atribuían era frecuentado por los lugareños para darse baños de lodo con cualidades curativas para la piel, la circulación y los tejidos óseos.

Espacio de educación ambiental

En el siglo XX proliferaron en la laguna de Alcahozo las escombreras ilegales, así como diversos tipos de depósitos, provocando la destrucción de la vegetación. El escenario mejoró con el desarrollo del Proyecto LIFE "Humedales de La Mancha", gracias a la normativa de protección, convirtiéndose en un entorno propicio para la avifauna en épocas de paso, invernada o nidificación, y generando un hábitat idóneo para la educación ambiental. Con este fin, existe un observatorio de aves y una serie de paneles interpretativos. El humedal cuenta también con un vallado perimetral que permite preservar sus valores naturales frente a los efectos negativos del pastoreo y el tránsito incontrolado de personas, proporcionando a la avifauna las condiciones de tranquilidad necesarias para su desarrollo.

A causa de la distancia que la separa del núcleo urbano, la laguna no es muy visitada. Así, desde el Centro de Interpretación "El Humedal de Don Quijote" en Pedro Muñoz, se llevan a cabo diversas acciones, tales como rutas de senderismo, talleres educativos y acciones de concienciación ambiental, con el fin de poner en contacto a los ciudadanos con este entorno natural.



Figura 6.10. La salinidad de Alcahozo es apreciable a simple vista en época estival, julio de 2016 (C. Camuñas)

CONTEXTO SOCIOECONÓMICO

Con una superficie de 101,31 km² el término municipal de Pedro Muñoz cuenta con una población de 7.802 habitantes (INE, 2014), lo que supone una densidad de 77,01 hab/km² (figura 6.11).

En el nivel de estudios (tabla 6.6) entre sus habitantes predomina el segundo grado (38,2%) seguido del primer grado (24,8%) y de los que carecen de ellos (18,4%), siendo el minoritario el de analfabetos, apenas con un 4,9% y, el 13,7% restante lo forman los habitantes con estudios de tercer grado.

Tabla 6.6. Nivel de estudios (Censo de Población y Vivienda 2011. INE)

NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	**%**
Analfabetos	287	*4,9*
Sin estudios	1.076	*18,4*
1er Grado	1.447	*24,8*
2º Grado	2.230	*38,2*
3er Grado	802	*13,7*
TOTAL	**5.842**	***100***

La actividad económica se basa en el sector servicios, con un 52,9% de empresas, y en menor medida la agricultura, con un 21,7%; la industria, con un 17,9%, y la construcción, con un 7,5% (tabla 6.7). En consecuencia, los trabajadores afiliados al sector servicios son los más numerosos (49,9%), seguidos del sector industrial (30,7%) y de la agricultura y construcción, que son los minoritarios (12,7% y 6,7%, respectivamente).

Tabla 6.7. Empresas y afiliación en Pedro Muñoz (Tesorería General de la Seguridad Social 2014)

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	**%**	**Nº de empresas**	**%**
Agricultura	237	*12,7*	75	*21,7*
Industria	571	*30,7*	62	*17,9*
Construcción	124	*6,7*	26	*7,5*
Servicios	930	*49,9*	183	*52,9*
TOTAL	**1.862**	***100***	**346**	***100***



Figura 6.11. Pirámide (izquierda) y Grupos de población de Pedro Muñoz (derecha) (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha 2014. Padrón Municipal de Habitantes a 1 de enero 2014. Instituto Nacional de Estadística, INE)

La tabla 6.8 muestra la evolución del número de parados en el lapso temporal entre 2009 y 2012, manteniéndose en los dos años siguientes.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº de parados	737	927	938	1.130	1.154	1.143

Tabla 6.8. Desempleados (Paro municipal registrado. SPEE)

En cuanto a la agricultura (tabla 6.9), la mayor parte de su término municipal está ocupado por cultivos (94,6%), con predominio mayoritario de viñedos (79,4%), siendo minoritaria la presencia de los herbáceos y el olivar (16,4% y 4,2%).

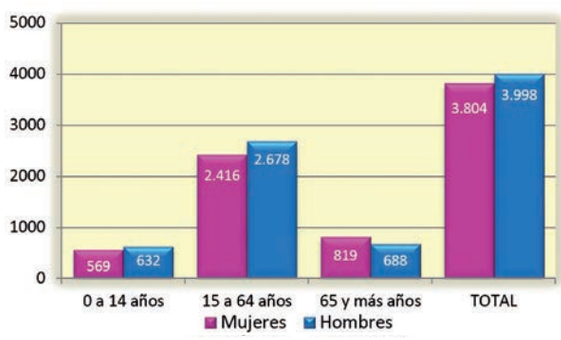
EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		**%**	
Labradas	Herbáceos	8.911	1.461	*94,6*	*16,4*
	Frutales		1		*0,0*
	Olivares		375		*4,2*
	Viñedos		7.074		*79,4*
Pastos		82		*0,9*	
Forestal		421		*4,5*	
TOTAL		**9.414**		***100***	

Tabla 6.9. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2009, INE)

La ganadería (tabla 6.10) está representada de forma mayoritaria por la avicultura, con un 75,7%, seguida de los ovinos con un 23,1%, dejando un 1,1% para el tipo caprino y el 0,1% restante, y de manera testimonial, para los equinos.

CABEZAS DE GANADO		
	Nº de cabezas	**%**
Bovinos	0	*0,0*
Ovinos	1.842	*23,1*
Caprinos	86	*1,1*
Porcinos	0	*0,0*
Aves	6.020	*75,7*
Equinos	4	*0,1*
TOTAL	**7.952**	***100***

Tabla 6.10. Cabezas de ganado (Censo Agrario 2009, INE)



Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna de Alcahozo, situada en la cuenca alta de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, se ubica en el interior de la cuenca del río Záncara cerca de su confluencia con el río Saona. Se trata de un sistema endorreico de pequeño tamaño, con apenas 682 ha, que se extiende en su mayor parte por el término municipal de Pedro Muñoz, donde se encuentra el vaso de la laguna, con una pequeña zona hacia el sur de la misma perteneciente al colindante municipio de Mota del Cuervo. En cuanto a su tamaño e importancia, la superficie máxima de inundación es de tipo medio, con aproximadamente 72,94 ha, por lo que el área drenante hacia ella es de tan solo 9 veces la del propio humedal (figura 6.12).

Esta cuenca hidrológica adquiere una morfología ligeramente triangular orientada en sentido noroeste-sureste, siendo más estrecha en su extremo septentrional, de manera que la escorrentía superficial se orienta en ese mismo sentido. Su relieve es muy suave, con unos 26 m de diferencia entre las cotas más elevadas (689,9 m s.n.m.), localizadas en el noroeste, y el fondo del humedal (664,2 m s.n.m.), lo que se corresponde con una pendiente media del 2,3%. En consecuencia, la mayor parte de sus límites son de determinación compleja y las divisorias hidrológicas son difíciles de definir, especialmente las correspondientes a la cuenca del río Záncara en la cual queda englobada.

Su red hidrográfica tampoco es especialmente significativa, ya que en ella no se distingue ningún río o arroyo, por lo que su sistema de drenaje consiste en pequeñas vaguadas apenas reconocibles en el terreno que recogen los aportes generados por las precipitaciones.

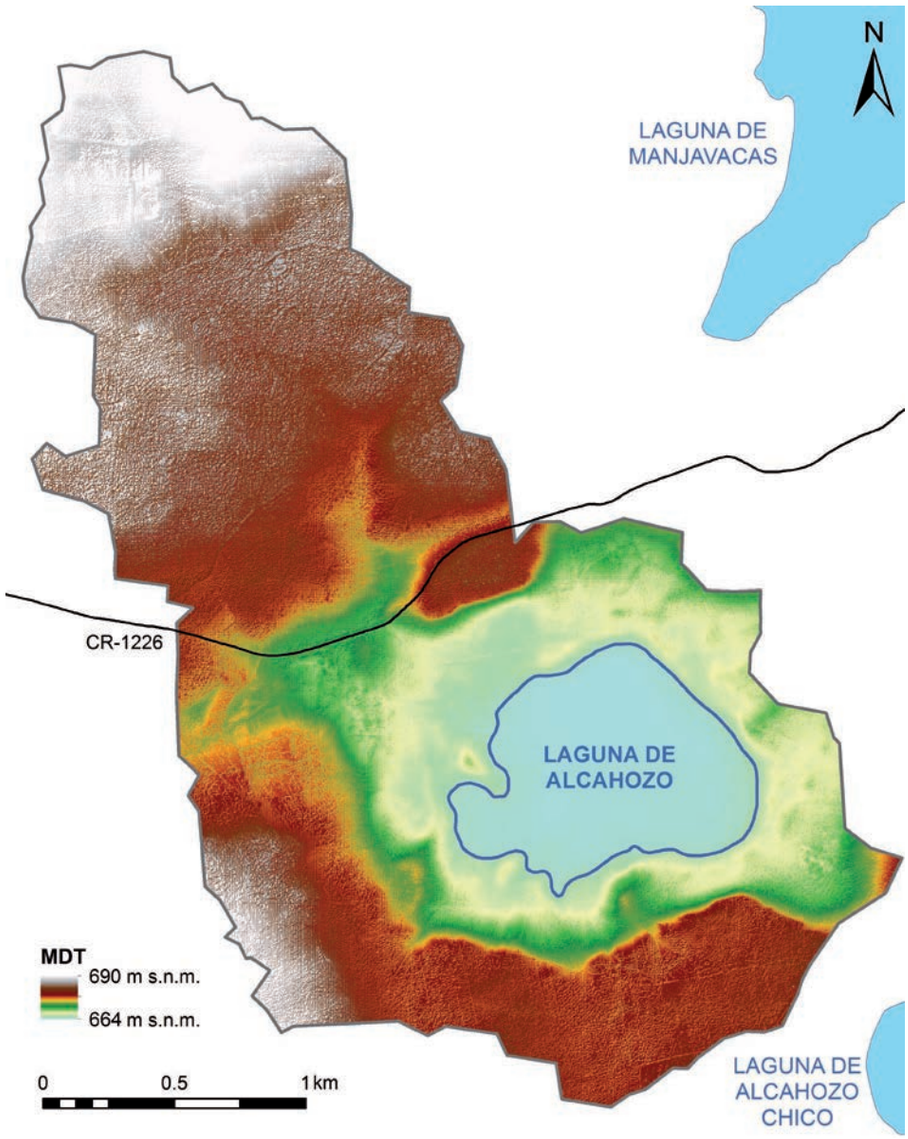


Figura 6.12. Cuenca hidrológica de la laguna de Alcahozo

Geología

En la cuenca hidrológica que vierte sus aguas a la laguna de Alcahozo, la práctica totalidad de los sedimentos son de edad miocena, periodo en el que imperaba una cierta estabilidad tectónica, generándose y desarrollándose los sistemas lacustres responsables de la creación de diferentes secuencias deposicionales con disposición tabular.

Los sedimentos más antiguos, que se extienden por la zona central de la cuenca hasta su límite centro-oriental, son de edad Mioceno inferior-medio y sobre ellos se apoya el vaso lagunar. Están constituidos por arcillas rojizas y limos con intercalaciones decimétricas de niveles granulares (arenas y gravas) y horizontes esporádicos de yeso que constituyen las facies distales de abanicos aluviales.

Dispuestos sobre esta primera formación, y con una gran extensión, afloran los sedimentos del Mioceno medio, constituidos por calizas micríticas compactas de color beige con intercalaciones de limos que, debido a la erosión de los niveles suprayacentes, perfilan unas superficies ligeramente elevadas, o páramos, tanto al norte como al sur del humedal, y definen el límite meridional de la cuenca, así como parte de su borde norte (figura 6.13).

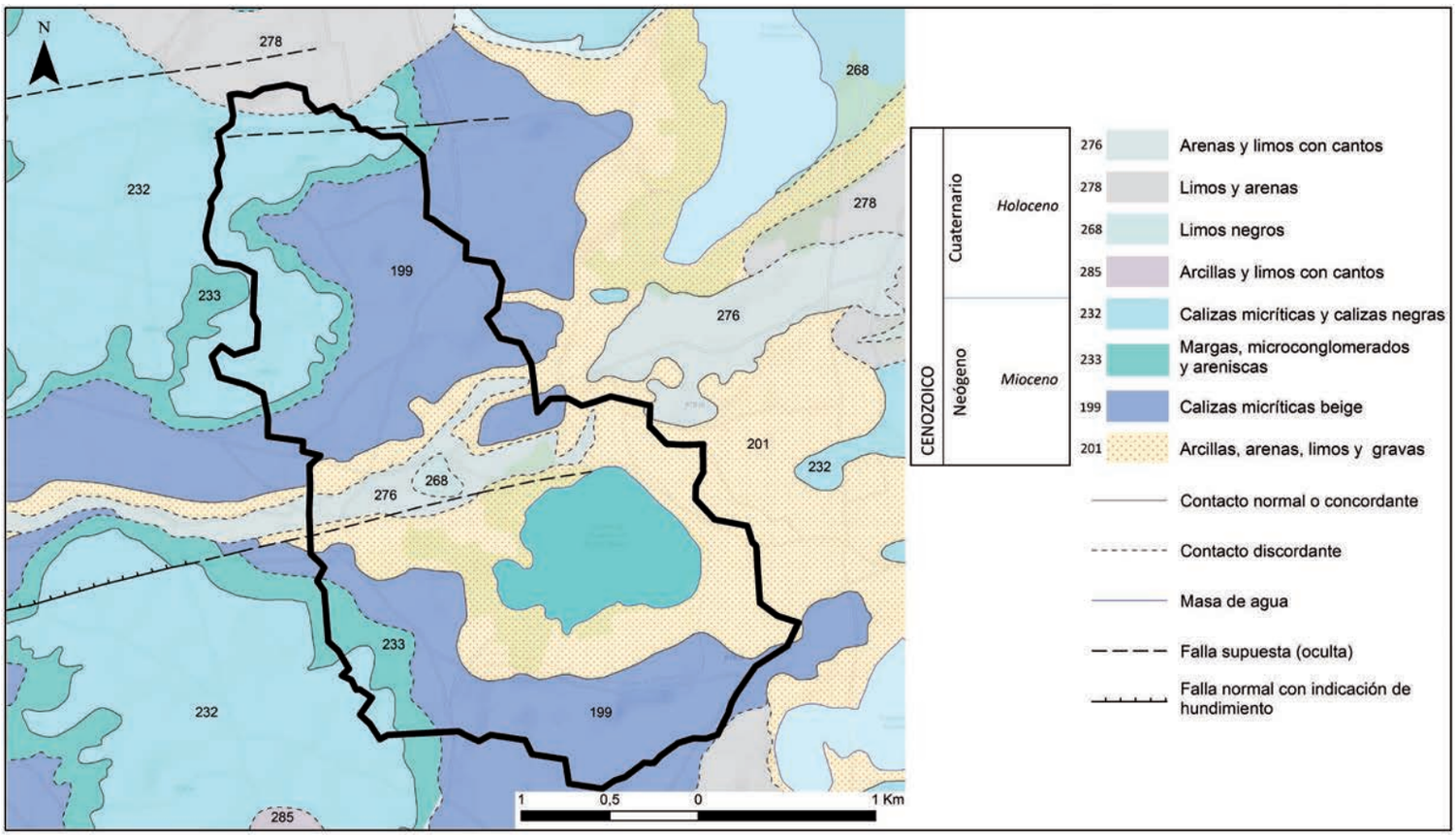


Figura 6.13. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de Alcahozo (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

Yacente sobre la formación anterior aparecen los niveles del Mioceno medio-superior, representados por una alternancia de margas blancas y margocalizas depositadas en zonas marginales de lagos someros de cierta salinidad. Lateralmente aparecen sedimentos detríticos, microconglomerados y areniscas cementadas por carbonatos depositados en un medio fluvial, cuya aparición dentro de la cuenca queda restringida a las laderas que bordean el páramo que erige la unidad suprayacente. Esta última, compuesta por las calizas del Páramo de edad Mioceno superior, se dispone mediante superficie erosiva y de forma subtabular sobre los materiales anteriores. Su espesor es escaso, ya que no llegan a superar los 5 m, y presentan cierta variabilidad litológica, con calizas micríticas algo karstificadas en bancos de 0,5 a 2 m y, de forma ocasional, delgados niveles de caliza y lutitas negras. Esta formación corresponde a depósitos de sistemas lacustres carbonáticos y someros conectados entre sí mediante canales.

Los sedimentos más recientes de la cuenca pertenecen al Cuaternario y se extienden por su zona central ocupando los fondos de las vaguadas. Están constituidos por arenas y limos con cantos depositados bajo sistemas fluviales, así como por los limos negros de tipo endorreico.

Atendiendo a su comportamiento hidrogeológico (tabla 6.11), predominan los afloramientos de ma-

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
FORMACIÓN GEOLÓGICA	Edad	Tipología	%
Calizas micríticas	Mioceno medio	A	60
Arcillas, limos, arenas y gravas	Mioceno inferior-medio	C	40
Margas, microconglomerados y areniscas	Mioceno medio-superior	C	
Limos y arenas	Cuaternario	C	
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Tabla 6.11. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de Alcahozo

teriales con permeabilidad alta (Tipología A: 60%), siendo el 40% restante a niveles configurados por sedimentos con permeabilidad baja (Tipología C). Los primeros quedan restringidos a las calizas micríticas del Mioceno medio y entre los de baja permeabilidad se encuentran las formaciones del Mioceno inferior-medio, compuestas por arcillas, limos, arenas y gravas, por las margas, microconglomerados y areniscas del Mioceno medio-superior y por los sedimentos de limos y arenas cuaternarios.

Hidrogeología

La laguna de Alcahozo se asienta sobre una formación geológica de origen continental y edad Mioceno inferior-medio, compuesta básicamente por arcillas y limos con horizontes de gravas y arenas, entre los que se encuentran ocasionales niveles de yesos. Estos sedimentos presentan una disposición tabular y su espesor puede llegar a superar los 70 m (figura 6.14).

Desde el punto de vista hidrogeológico, los materiales descritos se comportan en conjunto como una formación impermeable debido a la mayoritaria presencia de arcillas. Sin embargo, las intercalaciones de cierto espesor de gravas y arenas configuran pequeñas estructuras capaces de almacenar y permitir el flujo de agua subterránea. La presencia de estos tramos con permeabilidad media-baja permite una relación hídrica, aunque restringida, entre las aguas subterráneas y el humedal.

En las proximidades de la laguna existen también otras litologías con cierta permeabilidad, tales como los horizontes de calizas micríticas y limos del Mioceno medio, y las denominadas Calizas del Páramo del Mioceno superior, pero carecen de relación con el humedal al encontrarse en posición suprayacente según una estructura tabular y estar desconectadas, adicionalmente, de éste por los depósitos arcillosos del propio Mioceno. Por otra parte, los sedimentos de origen lacustre, normalmente arcillas y limos que ocupan el fondo del vaso, son bastante escasos y de espesor muy reducido por lo que carecen de significado hidrogeológico.

Dentro de este esquema geológico-hidrogeológico, la superficie piezométrica adquiere una morfología concéntrica respecto a la laguna. Las lecturas de nivel realizadas en noviembre de 2016 en los pozos y sondeos de su entorno muestran gradientes del orden de 1%, que se acentúan ligeramente en las proximidades de la cubeta cuyo fondo se encuentra a 664,25 m s.n.m.

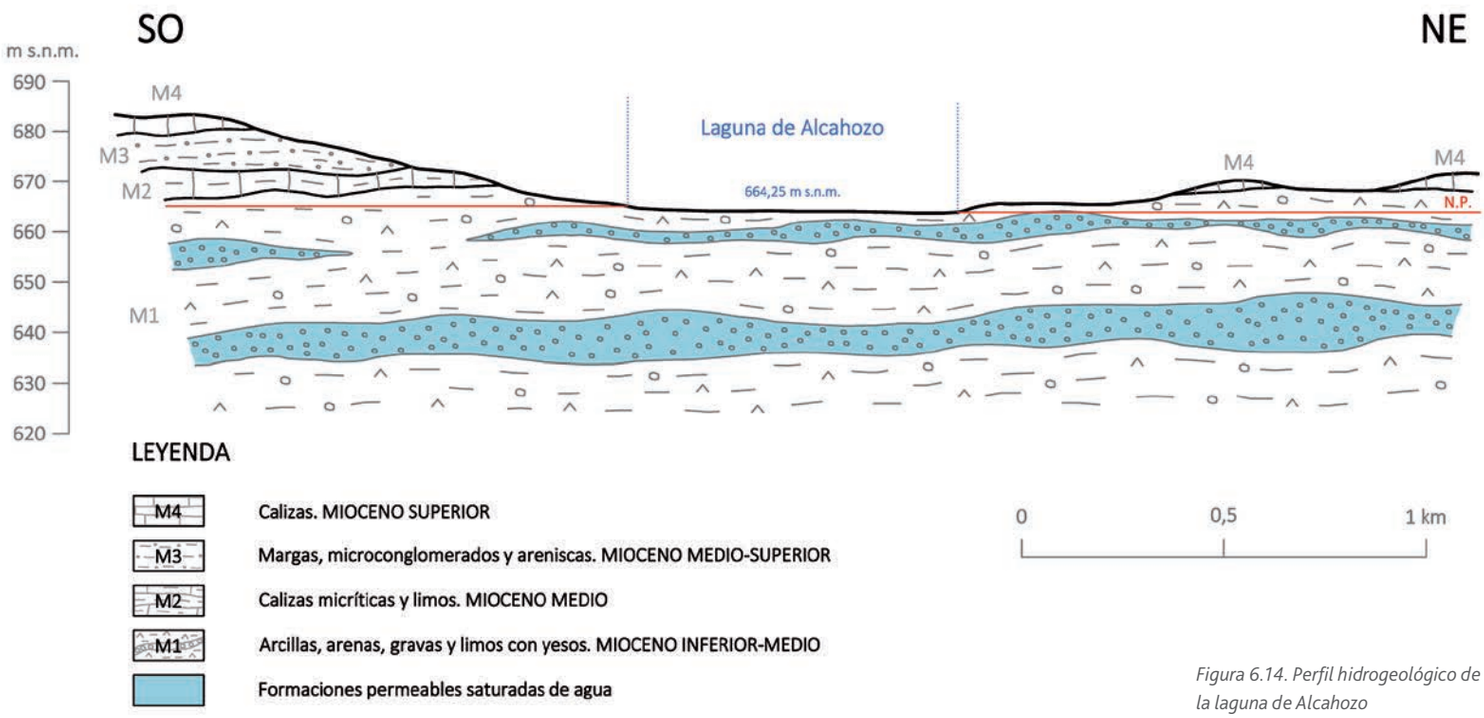


Figura 6.14. Perfil hidrogeológico de la laguna de Alcahozo

En consecuencia, el flujo subterráneo presenta una componente en sentido al humedal y tiene lugar a través de los sedimentos clásticos (gravas y arenas) intercalados entre las arcillas y limos de la formación que configuran su soporte geológico (figura 6.15).

El esquema hidrogeológico descrito también justifica la existencia de explotaciones de agua subterránea con CE entre los 1.400 y los 2.750 µS/cm, que puede ser utilizada para el riego de cultivos con cierta tolerancia a la salinidad (figura 6.16).

Figura 6.15. Mapa piezométrico (m s.n.m.) y sentido del flujo subterráneo (IGN)

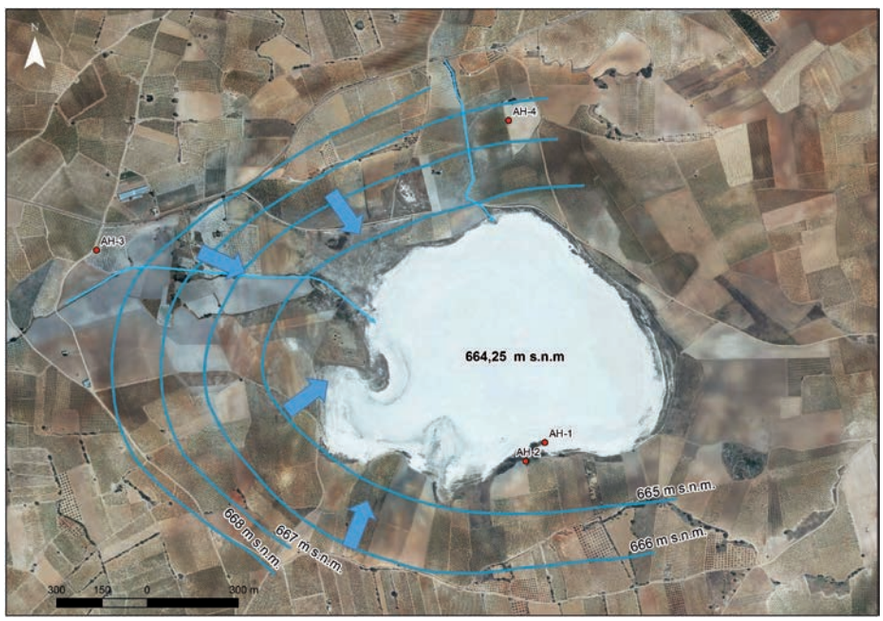




Figura 6.16. Mapa de isoconductividad eléctrica (µS/cm) de las aguas subterráneas en el entorno de la laguna de Alcahozo (IGN)

Hidroquímica

La analítica de la muestra tomada en la laguna de Alcahozo muestra un valor de CE de 21.700 µS/cm, muy superior a los valores de las aguas subterráneas de pozos cercanos, con valores máximos de 1.780 µS/cm, salvo en el punto AH-4, al norte del humedal, cuya analítica de agua aportó un valor de 17.180 µS/cm. Por su parte, el pH en la laguna es de 8,83, también superior al de los pozos.

En esta misma línea se encuentran los cloruros y los sulfatos. En las aguas subterráneas los primeros tienen concentraciones entre 87 mg/L y 104 mg/L, con un valor de 6.705 mg/L en la muestra de la laguna. Por su parte, los valores mínimos y máximos de sulfatos en los pozos varían entre 313 y 1.985 mg/L, siendo de 4.369 mg/L en la muestra de agua superficial. Esta misma tendencia es seguida también por los cationes, en los que las diferencias son aún mayores.

La facies hidroquímica predominante del agua de la laguna es clorurada magnésico-sódica (figura 6.17), mientras que la predominante en las aguas subterráneas es la sulfatada magnésica (figura 6.18). Es de destacar el aumento del catión Ca^{2+} en las analíticas de 2016 frente a las de 2014, de tal manera que las facies de las aguas subterráneas pasan a ser sulfatadas cálcicas.

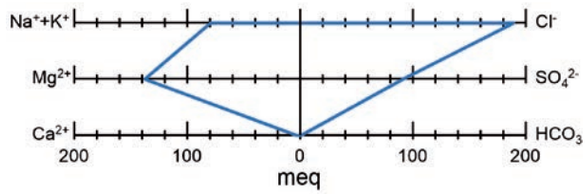


Figura 6.17. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna de Alcahozo. Fecha de análisis 25/11/2014

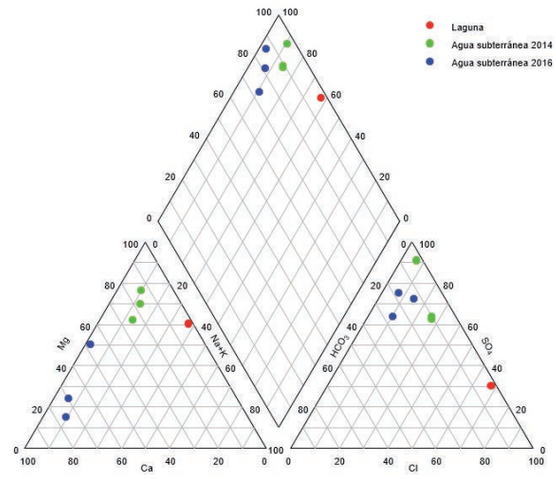


Figura 6.18. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de las muestras de la laguna de Alcahozo y su entorno

En la tabla 6.12 se compara la calidad del agua de la laguna con los valores recogidos en la normativa que regula la calidad para aguas de consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero), por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad de dicha agua.

La CE en la laguna durante el periodo de control (diciembre 2012-diciembre 2014) arroja valores medios de 25.000 µS/cm en los primeros meses de la serie hasta marcar los máximos en febrero y abril de 2014, momentos en los que se alcanzan los 110.000 y 206.000 µS/cm respectivamente, con valores intermedios entre ellos del orden de 57.000 µS/cm (figura 6.19). Los mínimos se datan a principios de noviembre de 2014 (9.620 µS/cm), tras el pico máximo, y a finales de diciembre del mismo año (15.860 µS/cm).

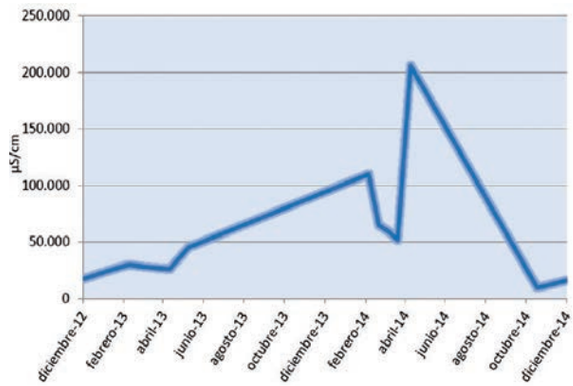


Figura 6.19. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna de Alcahozo entre diciembre de 2012 y diciembre de 2014

	Fecha de análisis			25/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA	
				Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	25,6	10
	Boro	B	mg/L	1,065	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	6.705	250
	Conductividad	CE	µS/cm	21.700	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	5,9	50
	pH	-	Ud de pH	8,83	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	1.756	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	4.369	250

Tabla 6.12. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

El funcionamiento hidrológico de la laguna de Alcahozo, como es el caso de una gran parte de las lagunas mesetarias, corresponde al de una zona húmeda hipersalina somera de carácter temporal en la que su vaso queda seco durante los estiajes mientras que durante los periodos húmedos adquiere una lámina de agua de pocos centímetros.

Su funcionamiento hidrológico está caracterizado por la escasa relevancia de los aportes generados por escorrentía superficial y por una acusada dependencia tanto de la precipitación caída directamente sobre la propia cubeta, como de los aportes de aguas subterráneas, en este caso provenientes de los niveles permeables intercalados en la formación arcillosa del Mioceno inferior sobre la que se sitúa. El pequeño acuífero que llegan a configurar, como ya ha sido comentado, permite un flujo subterráneo en dirección hacia la laguna; sin embargo, esta relación puede llegar a invertirse en períodos secos o muy secos al quedar la superficie piezométrica por debajo del fondo de su vaso. El hecho debe estar propiciado por los procesos de evaporación que tienen lugar en los primeros metros del subsuelo de la cubeta, saturado de agua, y/o como consecuencia de las extracciones en los pozos y sondeos cercanos. El esquema de funcionamiento descrito permite explicar la salinidad del humedal, al ser alimentado por aguas subterráneas con alto contenido en sulfatos, procedentes de la disolución de los yesos contenidos en los sedimentos del substrato, sometidas posteriormente a una intensa evaporación.

En consecuencia, la alimentación de la laguna tiene lugar por la precipitación caída sobre su cubeta y por los aportes de aguas subterráneas, siendo prácticamente irrelevante los generados por la escorrentía superficial debido a la escasa extensión de su cuenca hidrológica y a la permeabilidad de las formaciones geológicas que la constituyen. Por su parte, el drenaje del sistema hidrológico se verifica por la evaporación del agua acumulada en el vaso, así como, de manera ocasional, por alimentación al acuífero subyacente durante las épocas secas.

Balance hídrico

El balance hídrico de esta laguna se ha determinado mediante el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua a su vaso, según la metodología desarrollada en el proyecto Ecolake. Como se ha comentado en el apartado anterior, las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada existente en cada momento (72,94 ha), a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (682 ha) y al aporte difuso de aguas subterráneas a través del lecho de la cubeta. Por su parte, las salidas son debidas a la evapotranspiración producida sobre la lámina de agua libre, limitada igualmente por el volumen de agua disponible ya que en la estación estival la laguna llega a secarse, así como a una eventual infiltración de agua hacia el acuífero subyacente en épocas de baja pluviometría cuando el subsuelo no se encuentra saturado.

Los datos climáticos se han obtenido de la estación agroclimática El Pedernoso del SIAR para el periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por el coeficiente de cultivo kc=1, y para la determinación de la evaporación se ha tenido en cuenta la extensión de la lámina de agua.

El análisis geológico de la cuenca vertiente, según las distintas formaciones aflorantes, ha arrojado como resultado un suelo de tipo B (tabla 6.11). Por su parte, la pendiente media hallada ha sido del 1,9%, es decir, inferior al 3% (figura 6.20), mientras que al uso de la tierra se le ha asignado la tipología de labor de secano, con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 6.20). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC *(Antecedent Runoff Condition)* 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva conside-

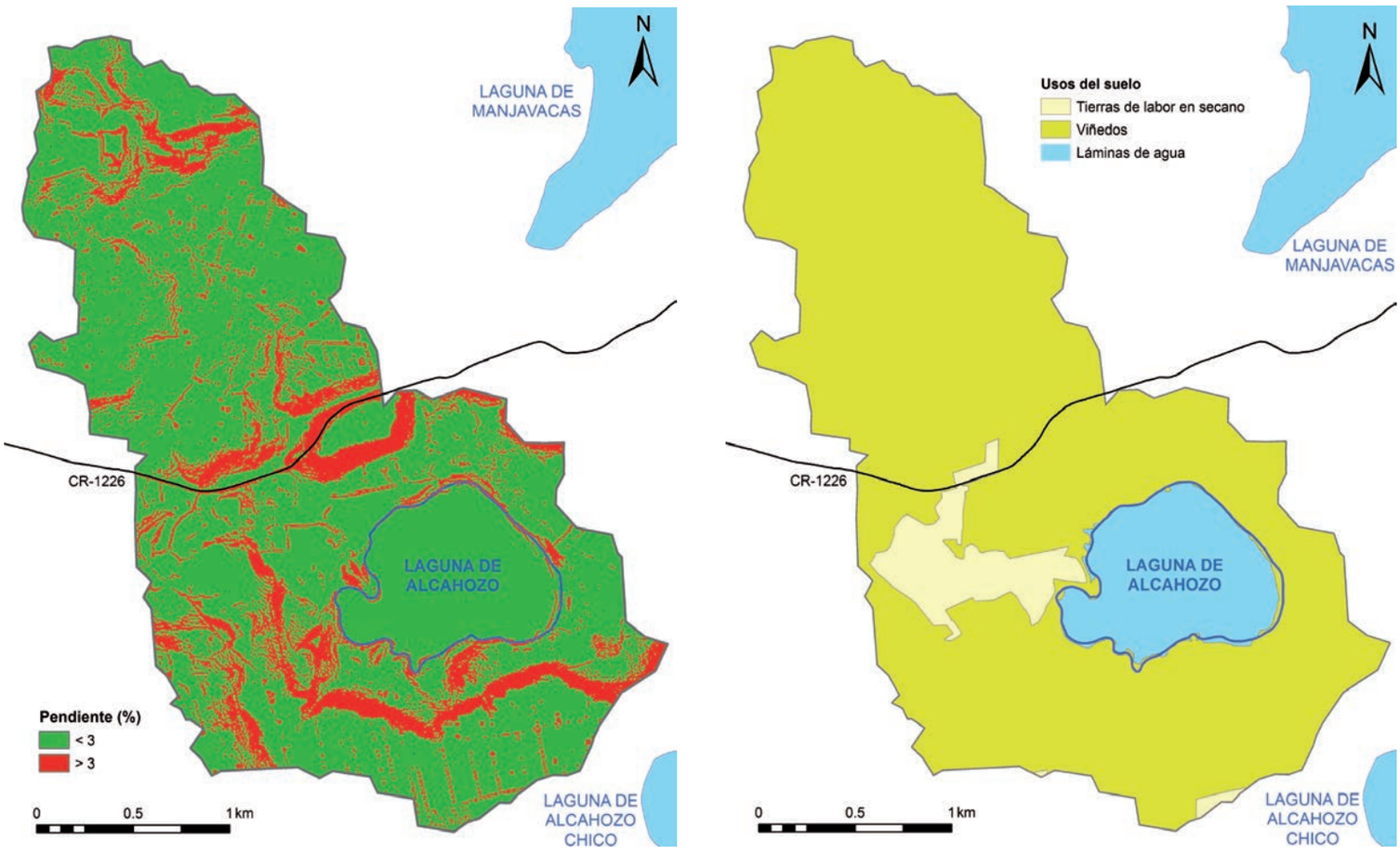


Figura 6.20. Cuenca hidrológica de la laguna de Alcahozo. Mapa de pendientes (izquierda) y Mapa de usos del suelo (derecha) (Corine Land Cover 2012)

rado para condiciones medias ha sido CN II=33, que se corresponde con un valor de CN I=17 para condiciones de humedad baja y CN III=53 para condiciones de humedad alta. Esto supone un valor umbral de escorrentía (P_0) medio de 103,10 mm, con un máximo de 259,58 mm y un mínimo de 47,24 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 6.13).

La estimación de los aportes subterráneos difusos se ha establecido a partir de la relación de proporcionalidad existente entre éstos y las precipitaciones acumuladas en la cuenca vertiente en los últimos meses. En dicha relación se ha tenido en cuenta la existencia de un cierto retardo o tiempo de respuesta, debido al lento movimiento del agua a través de las formaciones geológicas. En consecuencia, y para su cálculo, los aportes subterráneos se han considerado proporcionales a las precipitaciones ocurridas durante los 2 últimos meses, ajustando el coeficiente que define la relación a partir de los volúmenes obtenidos en la simulación del balance hídrico de la laguna, calibrados con las medidas limnimétricas del proyecto Ecolake (2012-2014).

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG se ha determinado el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación, con pasos de altura de 0,01 m. Posteriormente, se han establecido y representado las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen (figura 6.21).

La simulación realizada, aplicada al periodo 2012-2014, muestra el clásico comportamiento estacional de este tipo de humedales, habitualmente secos durante la temporada estival y con lámina de agua libre durante los meses de invierno y primavera. En concreto, para el periodo referido, la laguna contiene volúmenes de agua considerables desde noviembre de 2012 hasta junio de 2013, mientras que en el año hidrológico 2013/14 (con precipitaciones muy inferiores a la media) apenas acumula agua.

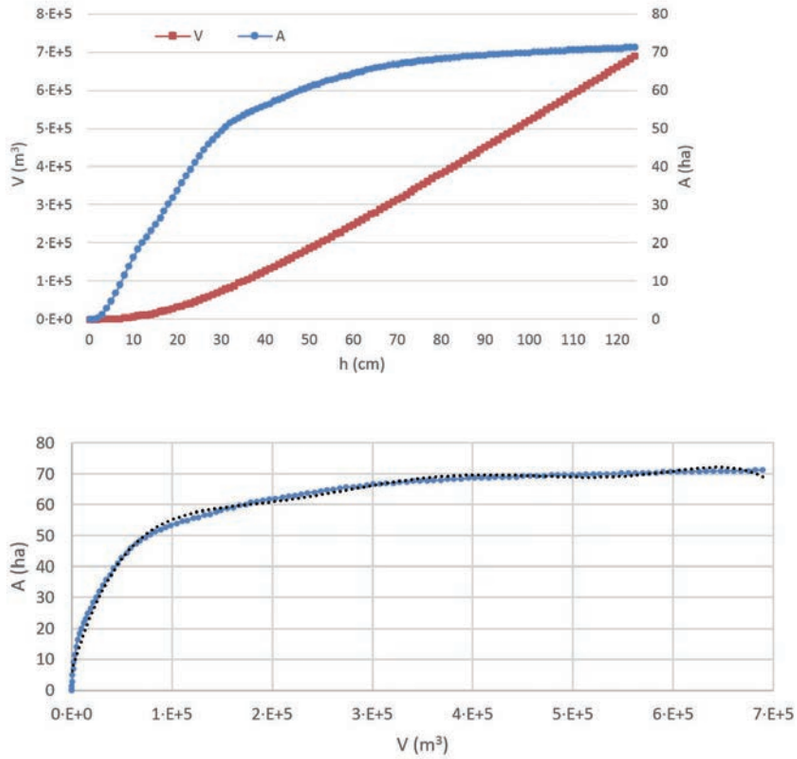


Figura 6.21. Laguna de Alcahozo. Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A) Abajo: relación entre área inundada (A) y volumen almacenado (V)

El balance hídrico medio anual obtenido para dicho periodo indica que la precipitación directa sobre la lámina de agua libre es de 70.964 m³ (35% de las entradas), mientras que los aportes difusos de aguas subterráneas suponen 134.162 m³ (65%). Es de destacar que en la cuenca vertiente no se genera alimentación por escorrentía superficial durante los dos años analizados. Por su parte, la evapotranspiración supone la pérdida de 148.141 m³ (72% de las salidas) y la infiltración el 28% restante, es decir 56.985 m³ (tabla 6.14).

Con los parámetros validados para el periodo de calibración se ha procedido a la simulación del comportamiento del humedal y la determinación del su correspondiente balance hídrico hiperanual para un periodo de 15 años (2001-2016). En dicha simulación se observa que la laguna permanece seca gran parte del tiempo, aunque consigue acumular pequeños volúmenes de agua los años hidrológicos en los que la pluviometría es relativamente alta (figura 6.22).

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
< 3	> 50% Labor de secano	Media baja	B	259,58	103,10	47,24

Tabla 6.13. Cuenca de la laguna de Alcahozo. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Tabla 6.14. Balance hídrico de la laguna de Alcahozo. Periodo 2012-2014

Año hidrológico	ENTRADAS				SALIDAS			Variación de volumen (m^3)
	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aguas subterráneas (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP (m^3/año)	Infiltración (m^3/año)	Totales (m^3/año)	
2012/13	114.504	0	164.716	279.220	241.283	36.512	277.795	1.425
2013/14	27.424	0	103.609	131.033	54.999	77.459	132.458	-1.425
Media periodo	70.964	0	134.162	205.126	148.141	56.985	205.126	0

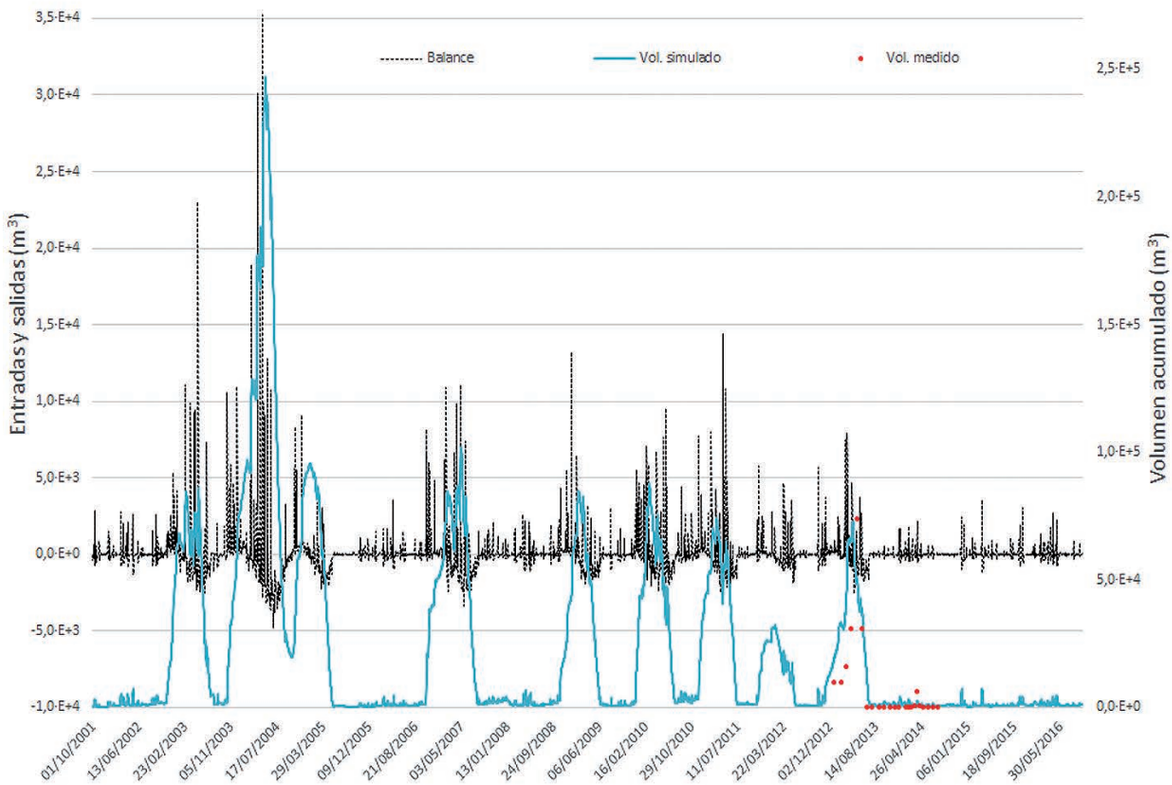


Figura 6.22. Simulación del balance hídrico para la laguna de Alcahozo. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

En consecuencia, durante la mayor parte del tiempo el área inundada es muy escasa, con un 44% de días en la que es inferior al 10% de la superficie total de la cubeta. Sobre este aspecto, la máxima inundación (65,28 ha) se alcanzó en el año hidrológico 2003/04, como resultado de un periodo excepcionalmente húmedo iniciado en octubre de 2003.

El balance hídrico hiperanual (15 años) indica que la alimentación de la laguna se debe principalmente a los aportes difusos por aguas subterráneas (175.774 m^3/año), lo que supone el 62% de las entradas, y a la precipitación directa sobre ella (109.526 m^3/año), que en este caso corresponde al 38%, al no llegarse a generar escorrentía superficial significativa en su cuenca (tabla 6.15). Por su parte, las principales salidas se deben a la evapotranspiración (217.971 m^3/año) con un 76% del total, mientras que la infiltración (67.329 m^3/año) representa el 24% de las mismas.

Tabla 6.15. Balance hídrico hiperanual de la laguna de Alcahozo. Periodo 2001-2016

DATOS			ENTRADAS				SALIDAS		
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km^2)	Área media inundada (m^2)	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aguas subterráneas (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)	Infiltración (m^3/año)	Totales (m^3/año)
371,14	6,82	196.336	109.526	0	175.774	285.300	217.971	67.329	285.300

Evolución visual del territorio

La comparativa entre las imágenes de 1957 y 2012 de la zona más inmediata a la laguna (figura 6.23) muestra que a lo largo de estos 55 años la transformación territorial y visual ha sido mínima. El múltiple fraccionamiento de las parcelas agrícolas se mantiene inalterable, con un mosaico casi exacto en ambas fotografías. De igual modo, la red de viales que las interconectan permanece prácticamente estable y sin causar mella en el entorno del humedal, hecho que puede ser atribuido a su lejanía de los principales núcleos urbanos y a las figuras de protección que posee.

Las fotografías tomadas en distintos periodos (figuras 6.24 a 6.29) atestiguan el comportamiento estacional de la laguna, en el que durante las épocas húmedas se activa la biodiversidad faunística por la presencia de una lámina de agua, mientras que, por el contrario, en los periodos estivales dibuja un paisaje más desolador.



Figura 6.23. Laguna de Alcahozo. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 6.24. Laguna en diciembre de 2013 (B.J. Ballesteros)

Figura 6.25. Panorámica desde el camino de los Pimenteros (C. Camuñas)





Figura 6.26. Laguna en época húmeda. Febrero de 2018 (C. Camuñas)



Figura 6.27. Laguna en época seca. Julio de 2016 (C. Camuñas)

Figura 6.28. Vallado perimetral y páramo nevado (C. Camuñas)





Figura 6.29. Avifauna en enero de 2018 (T. Panduro Sierra)

6.3. LAGUNA DE MANJAVACAS

Situación geográfica, coordenadas y accesos

La laguna de Manjavacas se emplaza a unos 7 km al noreste de Pedro Muñoz, muy próxima a la de Alcahozo y al noreste de la misma (figura 6.30), pero ubicada ya en el término municipal de la localidad conquense de Mota del Cuervo, unos 8 km al norte. Las coordenadas de su punto central son X: 511550, Y: 4362850 (UTM ETRS89 H30), con 668,14 m s.n.m. de altitud, según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

Las vías de comunicación para alcanzar este humedal corresponden a la carretera nacional N-420, que discurre por su flanco oeste, así como a la carretera nacional N-301 y a la autopista AP-36, que transitan al norte de la laguna por Mota del Cuervo. Por el flanco sur transcurre la carretera CR-1226 que discurre entre esta laguna y la de Alcahozo.

Teniendo en cuenta estas múltiples vías, el humedal es de fácil localización y su acceso es sencillo. La manera idónea para llegar a él es a través de la carretera comarcal CUV-1001, que nace en Mota del Cuervo y se dirige en dirección sur hacia la localidad de Las Mesas. Después de recorridos 6 km aparece el Santuario de Nuestra Señora de Manjavacas, que cuenta con una zona de aparcamiento y da acceso a la laguna. A partir de aquí se puede explorar su entorno mediante el recorrido marcado por las rutas de senderismo indicadas en paneles explicativos.

Atendiendo a la red viaria rural, cabe destacar el camino de la Rinconada y el camino de los Pimenteros, que circundan el humedal por su extremo sur y oeste. Relativamente próximos también se encuentran caminos históricos, como la Cañada Real de Andalucía, la vereda de los Serranos y las vías romanas 29, 30 y 31.

Características fisiográficas

La forma de la laguna es un tanto singular, ya que el cuerpo central proyecta un alargamiento en dirección norte-sur, con un cierto giro al suroeste que ofrece una longitud aproximada de 2 km. La zona norte es la más ancha, con 1,4 km, mientras que en la zona central pasa a ser de 0,6 km y a 0,25 km en el extremo sur (figura 6.31). Esto supone una superficie máxima de inundación de 244,20 ha, que la convierte en la mayor de las lagunas incluidas en esta publicación. Su perímetro también adquiere dimensiones relevantes, con

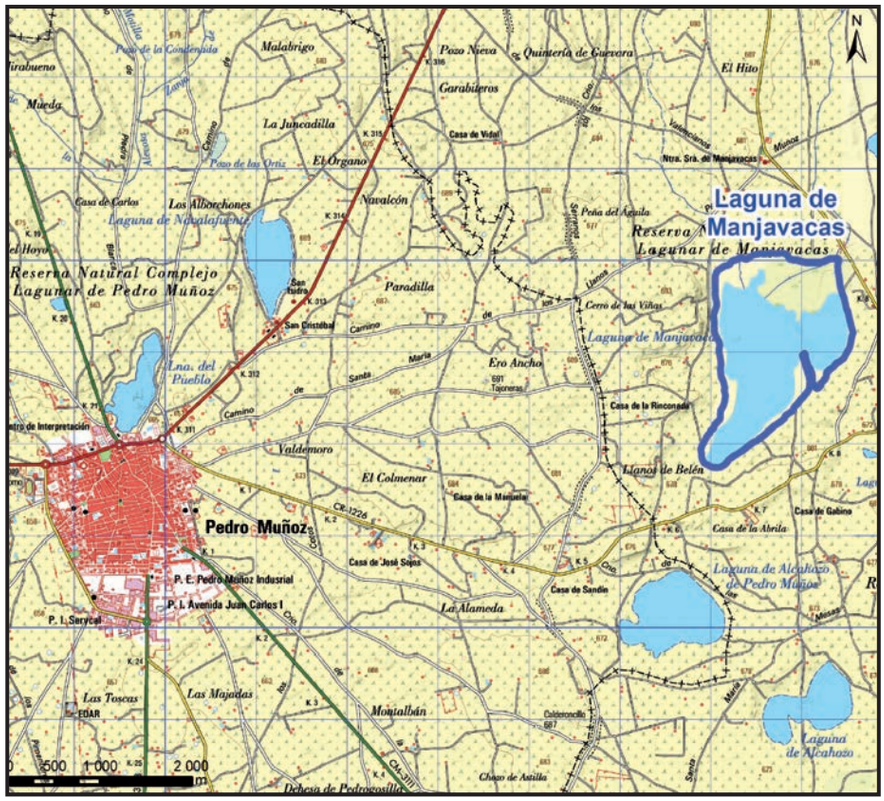


Figura 6.30. Situación geográfica de la laguna de Manjavacas (hoja 714 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del IGN)

aproximadamente 7,6 km, según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021 (BOE, 2016).

El entorno del humedal es típicamente manchego, con una morfología suave en la que irrumpen pequeñas elevaciones, como la meseta llamada La Rinconada, al oeste del mismo, en la que imperan los viñedos. Desde este lugar se divisa una de las mejores panorámicas para la observación, durante los periodos secos, de las tonalidades blanquecinas de los depósitos salinos de la cubeta, así como la extensión de la lámina de agua, en los periodos lluviosos, junto con la variada avifauna que en ella recala.

La red fluvial existente se caracteriza por un encajamiento suave y poco acusado, con dilatadas llanuras de inundación y zonas potencialmente inundables, predominantemente ocupadas por cultivos de cereal y viñedos, junto con zonas algo más abruptas de vegetación esteparia.

Normativa específica y figuras de protección

A finales del siglo XX se dota a este espacio de una amplia protección dentro de los ámbitos internacional, europeo y nacional. En este sentido, a nivel



Figura 6.31. Laguna de Manjavacas en el año 2012 (Archivo fotográfico del ayuntamiento de Mota del Cuervo)

internacional, la laguna de Manjavacas forma parte de la Reserva de la Biosfera "La Mancha Húmeda", declarada por la UNESCO en 1980, por ser un espacio que cuenta con una riqueza natural y cultural representativa. También está incluida en el Convenio Ramsar, al que se adhirió España el 4 de septiembre de 1982, por ser un espacio de conexión entre los dominios ecológicos europeos y norteafricanos en las migraciones de las aves acuáticas.

Este ecosistema también se encuentra incluido en la Red Natura 2000 y ha sido declarado Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Humedales de La Mancha". A nivel autonómico, Castilla-La Mancha la declaró Refugio de Fauna por Decreto 120/1989, de 3 de octubre y, posteriormente, se aprobó su Plan de Ordenación de Recursos Naturales por Decreto 185/2001, de 2 de octubre (tabla 6.16).

Es de propiedad de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y además cuenta con un Plan de Ordenación de Uso y Gestión desde 1996.

Valores históricos y culturales

Historia

La laguna de Manjavacas, por sus características geológicas y geográficas, ha sido desde la antigüedad un lugar de reiterados asentamientos. A vista de pájaro se vislumbran junto a la laguna unas formas circulares oscuras de distinto tamaño dispuestas irregularmente. Estas estructuras, con poca dispersión cerámica en superficie, son atribuidas a fondos de cabaña y constituyen el denominado yacimiento de Manjavacas.

Diversas prospecciones arqueológicas aportan indicios de ocupación en este lugar desde la Edad del Bronce (Sánchez, 2015), etapa en la que empiezan a configurarse las vías de comunicación que unirían el norte y sur peninsular, así como el este y el oeste; probablemente fue cuando empezaron a tomar forma las relaciones comerciales entre La Mancha con el valle de Alcudia, el valle del Duero y del Tajo

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA DE MANJAVACAS
RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA
Declaración de la UNESCO de 30 de noviembre de 1980
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Humedales de La Mancha", código ES4250010 Zona de Especial Protección para las Aves Z.E.P.A. "Humedales de La Mancha", código ES0000091
REFUGIO DE FAUNA
Decreto 120/1989, de 3 de octubre, por el que se declara Refugio de Caza la laguna de Manjavacas del término municipal de Mota del Cuervo en la provincia de Cuenca (DOCM nº 44, de 17-10-1989). Con la aprobación de la ley de Caza por las Cortes Regionales de Castilla-La Mancha en 1993, se reclasificaron todos los Refugios de Caza como "Refugios de Fauna"
RESERVA NATURAL
Decreto 185/2001, de 2 de octubre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del complejo lagunar de Manjavacas, Sánchez Gómez y la Dehesilla en Mota del Cuervo (Cuenca) y laguna de Alcahozo en Pedro Muñoz (Ciudad Real), y se declara la Reserva Natural del complejo lagunar de Manjavacas (DOCM nº 114, de 26-10-2001)
CONVENIO RAMSAR
Incluida en la Lista de Humedales de Importancia Internacional (Humedal Ramsar) desde el 26 de marzo de 1993. Sitio Ramsar 594. Listado de Humedales Ramsar en España nº 20

Tabla 6.16. Figuras de protección de la laguna de Manjavacas

y la salida al mar por Cartagena. Además, todos estos caminos ponen en contacto a Manjavacas directamente con los asentamientos más importantes del Bronce, Hierro y la Época Romana, como Mota del Cuervo, El Toboso, Vejezate, El Zagarrón o Pedro Muñoz.

A partir de la primera Edad del Hierro existe un claro desarrollo de un asentamiento humano próximo a la laguna, que indica una clara continuidad en la ocupación del territorio. Se trata de una ciudad celtibérica de cierta envergadura, un *oppidum* en toda regla. Su desarrollo, junto a una vía de comunicación importante, se verifica especialmente durante la segunda Edad del Hierro con un considerable aumento de la población y, por ende, un crecimiento de la ciudad (Sánchez y Escudero, 2014) que llega a alcanzar unas 15 ha, extendiéndose hacia el norte hasta el Carril de los Valencianos (Camino de Toledo a Murcia).

La principal característica de los asentamientos próximos al Camino de Toledo a Murcia es su mayor concentración junto a los ríos y lagunas (Domingo *et al.*, 2007), siendo los ríos Cigüela y Záncara los ejes vertebradores del poblamiento.

Varios siglos después, en la Época Romana, la población de Manjavacas se distribuye en dos lugares diferenciados, uno en el cerro de la actual ermita de la Virgen de Manjavacas y otro más cercano a la laguna. Este último se mantiene durante la época visigoda y perdura hasta la llegada de las Órdenes Militares y la repoblación cristiana del siglo XIII.

Estos asentamientos, ya desaparecidos, son citados por primera vez en 1243 en la sentencia del pleito entre el Concejo de Alcaraz y la Orden de Santiago (Chaves, 1975). Siglos más tarde, en 1468, el libro de visitas de esta orden militar recoge el estado de abandono y los últimos vestigios de población del enclave. Finalmente, en 1757, las Relaciones Topográficas de Felipe II registran el abandono de Manjavacas, por proliferación de enfermedades, y cómo su última población se reubica en Mota del Cuervo, quedando sólo la actual ermita. A partir de este momento la laguna se olvidó como recurso y lugar de poblamiento, con un cambio paisajístico por la deforestación y la sustitución de las dehesas de ganado por tierras de cultivo.

Tradiciones culturales

Construido a principios del siglo XIV y restaurado en 1942 y 1968 (figura 6.32), el Santuario de Nuestra Señora de Manjavacas se eleva sobre un suave cerro en la convergencia de la Senda de Santa María y el Carril de los Valencianos desde donde se divisa la laguna.



Figura 6.32. Ermita y Virgen de Manjavacas, en agosto de 2016 (L.A. Carreño)





Figura 6.33. Cuadro encargado por la Hermandad de la Virgen de Manjavacas y colgado en la ermita que recoge la leyenda (L.A. Carreño)

En su importancia cultural destaca la *Leyenda de la Virgen de Manjavacas,* cuyo origen de devoción, según Escudero (2012), dice que: "*portando una imagen de la Virgen una carreta de bueyes, que se dirigía a Toledo procedente de Valencia, paró a descansar en su largo camino, pernoctando sus conductores a la orilla de la laguna de Manjavacas. A la mañana siguiente, ya repuestas las fuerzas que roba el camino y estando todo dispuesto para cubrir una nueva etapa, la carreta, pese a los esfuerzos, no pudo moverse de su sitio, sólo fue posible cuando bajaron la Imagen de la Santísima Virgen* (figura 6.33). *El hecho motivó que los carreteros y las sencillas gentes de aquel lugar dejaran allí la imagen, pensando que sería su voluntad quedarse en los contornos de esta laguna. Pronto se le dedicó un templo y su devoción arraigó rápidamente entre los aldeanos…".*



Figura 6.34. La romería de la Virgen de Manjavacas en 1966 (Fondo fotográfico del ayuntamiento de Mota del Cuervo, E. Riquelme)

No puede caer en el olvido la *Romería de traída y llevada de la Virgen de Manjavacas,* declarada Fiesta de Interés Turístico Nacional desde 1977. Comienza la madrugada del primer domingo de agosto con la *traída de la Virgen* desde la ermita hasta la iglesia de Mota del Cuervo. Ese día, tras la liturgia, la Virgen es bajada de su camarín para ponerla en andas y salir en procesión a pie hasta la primera parada o hito, donde se la despoja de su corona y ornamentos cubriéndola con un manto verde de tela brocada que la resguarda del polvo del camino. Después, es llevada a la carrera por *los anderos* y vecinos hasta el pueblo a una legua de distancia (figura 6.34). A primera hora de la mañana se llega a Mota del Cuervo sin detener la carrera y se la conduce hasta el Pocillo de la Virgen para cambiar sus ornamentos y llevarla en procesión a la iglesia parroquial. En este lugar permanece quince días hasta que el tercer domingo de agosto, a mediodía y a pleno sol, es *llevada* de nuevo, también a la carrera, a la ermita de Manjavacas. Las celebraciones terminan con la degustación de la típica caldereta y el agua de limón.

Otros aprovechamientos tradicionales

La laguna fue utilizada en la época estival por los habitantes ribereños para darse baños de lodo, por sus supuestos beneficios para la salud (García, 2001). También, en su entorno, según el arqueólogo local J. Escudero, se recolectaban: setas, bayas, bellotas, leña, carrizo, cañas y esparto, que eran empleadas para el consumo, confección de cestería o para su uso en hornos de cocción alfarera. En el caso del esparto, servía de trenzado para la fabricación de todo tipo de utensilios, desde las tradicionales espuertas y alforjas, hasta respaldos de sillería o protección de cerámica y vidrios.

Espacio de educación ambiental

La protección de este ecosistema acuático favorece a la avifauna en épocas de invernada, paso o nidificación, creando un entorno propicio para la educación ambiental. No obstante, y pese a las normas de protección, entre las que se encuentra el vallado de gran parte de su perímetro, el humedal sigue recibiendo las aguas residuales depuradas de Mota del Cuervo. La observación de los valores naturales y de las aves que visitan esta reserva natural puede hacerse a pie siguiendo el recorrido de un sendero señalizado e ilustrado con paneles interpretativos. El camino cuenta con dos observatorios de aves, una torre observatorio y un parking público gratuito. Además existen varias rutas de senderismo, entre ellas, la ruta de Don Quijote y la del Camino de Santiago de Levante. De forma marginal, y como valor adicional, también cuenta con encinares abiertos en las proximidades.

Contexto socioeconómico

El municipio de Mota del Cuervo cuenta con una población de 6.361 habitantes (INE, 2014) y una extensión de 176,18 km², lo que supone una densidad de 36,10 hab/km² (figura 6.35).

En el nivel de estudios predomina el segundo grado entre los habitantes mayores de 16 años (40,5%), seguido de los que tienen el primer grado (25,5%) y de los que carecen de él (17,2%). Los analfabetos constituyen el grupo minoritario, con un 6,0%, quedando el 10,8% restante para las personas con estudios de tercer grado (tabla 6.17).

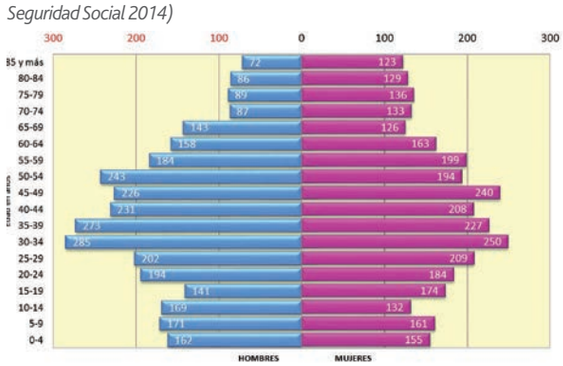
NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	%
Analfabetos	263	*6,0*
Sin estudios	756	*17,2*
1er Grado	1.116	*25,5*
2º Grado	1.775	*40,5*
3er Grado	474	*10,8*
TOTAL	**4.384**	***100***

Tabla 6.17. Nivel de estudios (Censo de Población y Vivienda 2011. INE)

El sector servicios y la agricultura constituyen el principal eje de la actividad económica (tabla 6.18) con un 56,3% y un 22,5% de empresas, respectivamente. Les sigue el sector industrial con un 12,7%, mientras que el 8,5% restante corresponde a la construcción. En consecuencia, los trabajadores afiliados al sector servicios son los más numerosos, con un 57,2%, seguido de los del sector agricultura, con un 21,2%, siendo los afiliados a la industria y construcción los minoritarios, con un 11,1% y 10,5% respectivamente.

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	383	*21,2*	64	*22,5*
Industria	200	*11,1*	36	*12,7*
Construcción	189	*10,5*	24	*8,5*
Servicios	1.031	*57,2*	160	*56,3*
TOTAL	**1.803**	***100***	**284**	***100***

Tabla 6.18. Empresas y afiliación en Mota del Cuervo (Tesorería General de la Seguridad Social 2014)



La evolución ocupacional entre 2009 y 2014 (tabla 6.19) registra un ascenso significativo al inicio de la serie y más moderado en los años siguientes, reduciéndose en el año 2014.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº de parados	470	597	585	647	732	680

Tabla 6.19. Desempleados (Paro municipal registrado. SPEE)

Territorialmente (tabla 6.20), la mayor parte de su término municipal está ocupado por cultivos (86,6%), predominando los herbáceos (49,7%) y los viñedos (45,5%), siendo minoritaria la presencia de olivar (4,6%) y casi testimonial los frutales (0,2%).

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	13.752	6.837	*86,6*	*49,7*
	Frutales		32		*0,2*
	Olivares		632		*4,6*
	Viñedos		6.251		*45,5*
Pastos		905		*5,7*	
Otras		1.222		*7,7*	
TOTAL		**15.879**		***100***	

Tabla 6.20. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2009, INE)

Por otro lado, la ganadería ovina es mayoritaria con un 98,0%. El ganado caprino y el porcino ocupan el segundo y tercer lugar con apenas el 0,9% y 0,8%, respectivamente, mientras que el porcentaje restante, del 0,3%, corresponde a la avicultura (tabla 6.21).

CABEZAS DE GANADO		
	Nº de cabezas	%
Bovinos	0	*0,0*
Ovinos	4.142	*98,0*
Caprinos	37	*0,9*
Porcinos	32	*0,8*
Aves	14	*0,3*
Equinos	1	*0,0*
TOTAL	**4.226**	***100***

Tabla 6.21. Cabezas de ganado (Censo Agrario 2009, INE)



Figura 6.35. Pirámide (izquierda) y Grupos de población de Mota del Cuervo (derecha) (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha 2014. Padrón Municipal de Habitantes a 1 de enero 2014. Instituto Nacional de Estadística, INE)



Complejo lagunar del Alto Záncara 6

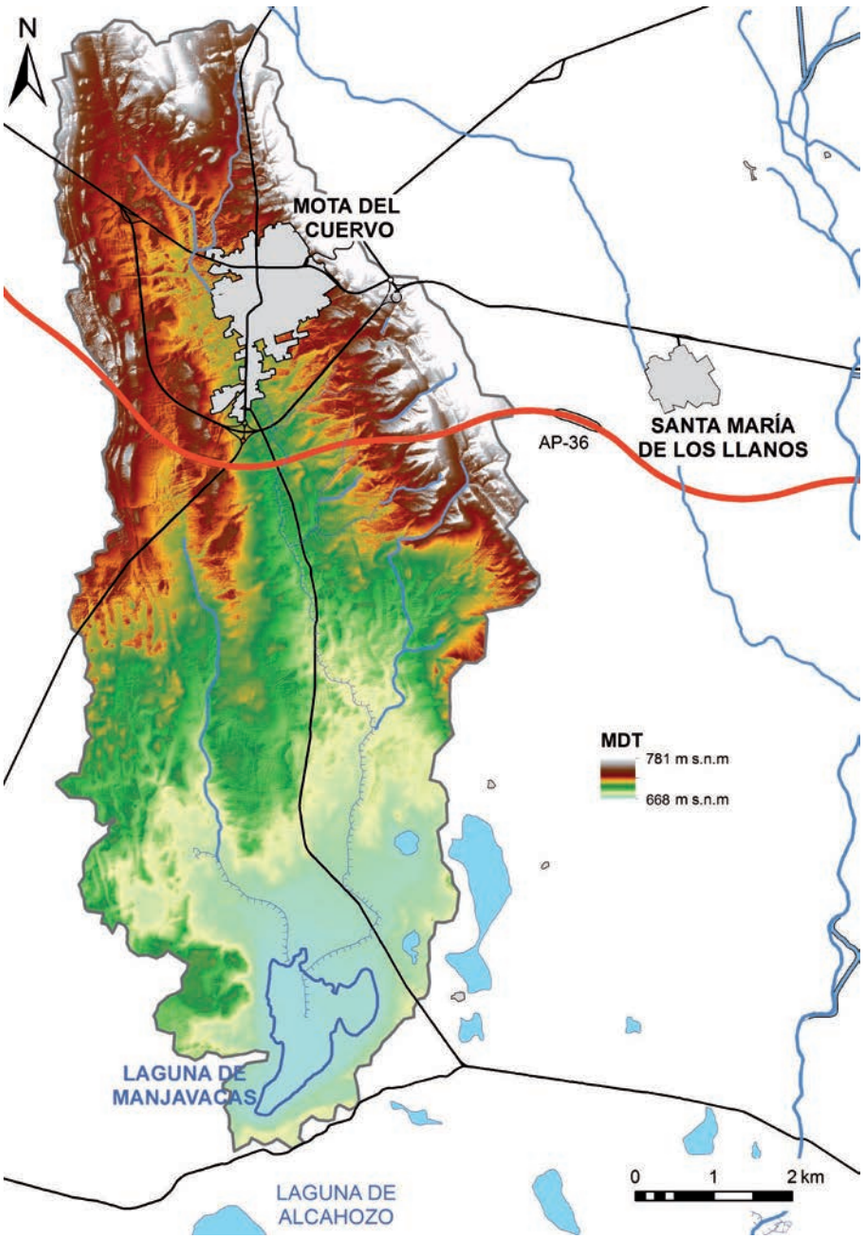


Laguna de Manjavacas al anochecer
(D. López Bellón)

Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna de Manjavacas, de carácter endorreico al igual que el resto de las lagunas descritas en este libro, se sitúa dentro de la cuenca alta de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana y, en concreto, en el interior de la cuenca del río Záncara, al este del curso del río Saona. Desde un punto de vista administrativo, y pese a contar con una extensión de 5.733 ha, se encuentra casi en su totalidad dentro del término municipal de Mota del Cuervo, con pequeñas extensiones en los términos de Santa María de los Llanos y Pedro Muñoz.

Figura 6.36. Cuenca hidrológica de la laguna de Manjavacas



Por lo que respecta a la propia laguna, la superficie máxima inundada es también considerable, con más de 244 ha; la relación entre ésta y la superficie del área que vierte sus aguas hacia ella es del orden de 23 (figura 6.36).

Este sistema hidrológico presenta una morfología alargada, con una dirección norte-sur coincidente con el sentido del principal curso de agua que se dirige hacia la cubeta localizada en su extremo meridional. Su parte más amplia la alcanza en la zona central, cuya anchura se reduce progresivamente hacia sus extremos septentrional y meridional.

El relieve de la cuenca es relativamente suave, con 112,5 m de diferencia entre las cotas más elevadas (780,6 m s.n.m.), localizadas en el noreste, y el fondo del humedal (668,1 m s.n.m.), siendo la altitud media de 702,4 m s.n.m. y la pendiente media del 4,0%. En consecuencia, la mayor parte de sus límites son de difícil determinación, especialmente los de la mitad meridional, donde no existen divisorias hidrológicas fácilmente reconocibles.

En cuanto a la red hidrográfica, en el interior de la cuenca se distinguen dos arroyos de dirección norte-sur, cuyo funcionamiento queda reducido a la ocurrencia de periodos lluviosos importantes, así como pequeñas vaguadas de difícil distinción sobre el terreno, que recogen los aportes generados por la precipitación del agua de lluvia caída principalmente sobre los relieves de la zona norte.

Geología

A diferencia de la otra laguna del complejo, la cuenca vertiente de Manjavacas está ocupada por sedimentos que cubren un amplio lapso temporal a escala geológica, ya que afloran materiales que abarcan desde el Jurásico, dispuestos en los flancos centro-oeste y centro-este de la cuenca, hasta los sedimentos de edad cuaternaria que ocupan una gran extensión (figura 6.37).

La mayor parte de los afloramientos (tabla 6.22) corresponden a formaciones de media a baja permeabilidad. Concretamente, las formaciones de cierta permeabilidad (Tipología B: 40%) están constituidas por la Formación Arenas de Utrillas de edad Albiense y por las calizas, areniscas, conglomerados, limos y arcillas del Eoceno-Oligoceno. A los limos y arenas del Cuaternario se les atribuye una baja permeabilidad (Tipología C: 40%). En menor proporción, se presentan sedimentos de alta permeabilidad (Tipología A: 15%) correspondientes en este caso a las calizas oolíticas del Jurásico medio (Dogger), así como otros materiales de carácter carbonático pertenecientes al

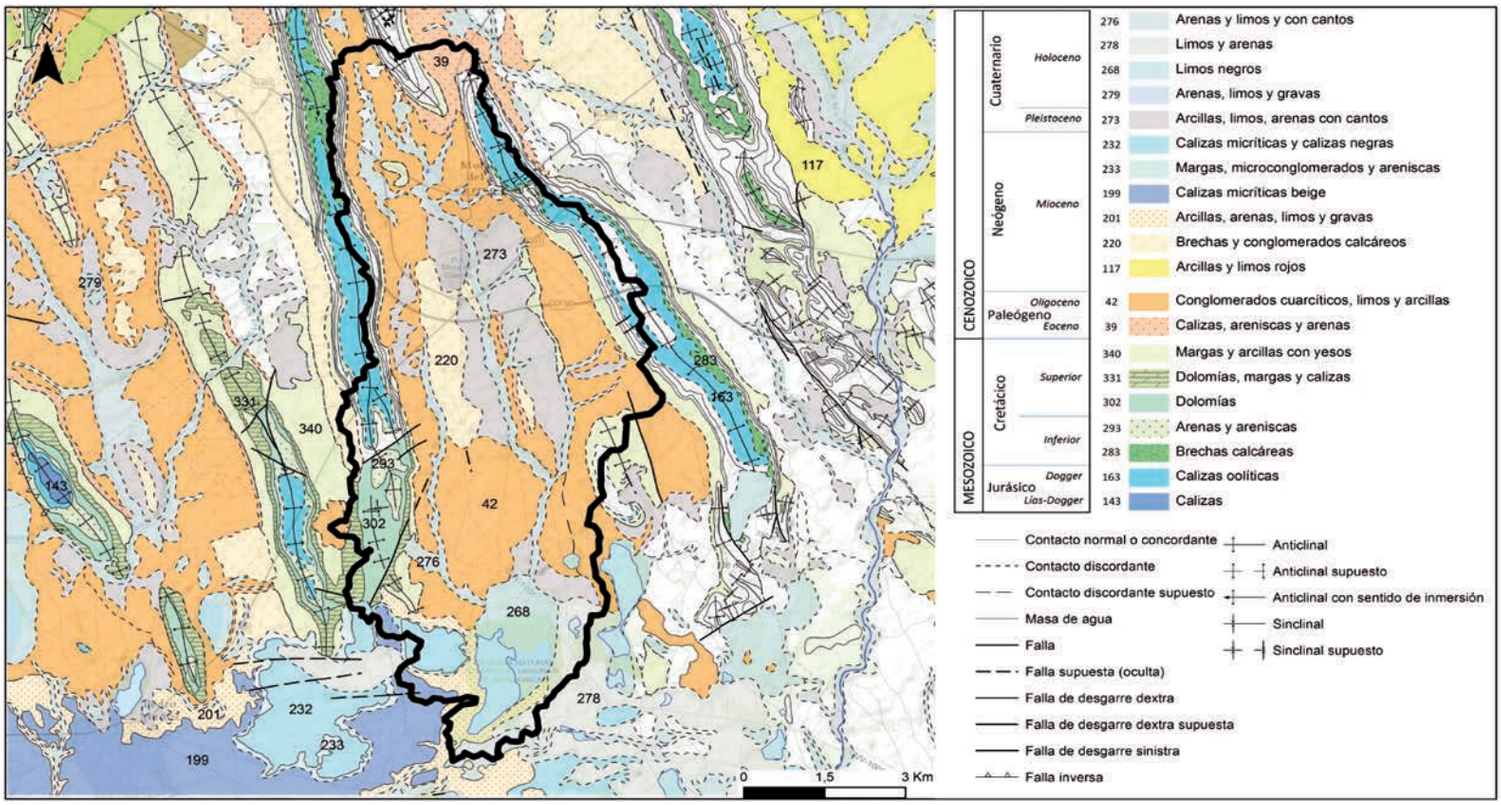


Figura 6.37. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de Manjavacas (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

Cenomaniense-Turoniense (dolomías) y al Mioceno medio-superior (calizas micríticas). Por último, aparecen de forma minoritaria las margas y arcillas con yesos del Senoniense y las margas y margocalizas con yesos del Mioceno inferior-medio, ambas formaciones de carácter impermeable (Tipología D: 5%).

Las formaciones más antiguas, depositadas en un medio de plataforma somera de alta energía, se corresponden con las calizas oolíticas del Dogger (Jurásico medio) de color gris con tonalidades claras y oscuras que se encuentran en los núcleos de los anticlinales, dispuestas en bancos de 0,1 m a 1 m de potencia.

De forma discordante sobre los niveles jurásicos aparece la Formación Arenas de Utrillas del Albiense, constituida por arenas y areniscas de color blanquecino depositadas en un medio continental fluvial. Sobre éstas aparece un conjunto, no muy potente, de limolitas dolomíticas y dolomías estratificadas de color beige y amarillento pertenecientes al Cenomaniense-Turoniense. Superpuesto a la formación anterior, se encuentra un paquete de margas y arcillas con yesos de tonos blancos a grisáceos de edad Senoniense.

Los depósitos paleógenos, dispuestos en discordancia angular, representan las condiciones continentales que im-

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
FORMACIÓN GEOLÓGICA	Edad	Tipología	%
Calizas oolíticas	Jurásico medio (Dogger)	A	15
Dolomías	Cretácico superior (Cenomaniense-Turoniense)	A	
Calizas micríticas	Mioceno medio-superior	A	
Arenas	Cretácico inferior (Albiense)	B	40
Calizas, areniscas, conglomerados, limos y arcillas	Paleógeno (Eoceno-Oligoceno)	B	
Limos y arenas	Cuaternario	C	40
Margas y arcillas con yesos	Cretácico superior (Senoniense)	D	5
Margas y margocalizas con yesos	Mioceno inferior-medio	D	
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Tabla 6.22. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de Manjavacas

peraron en la zona durante esa edad geológica. Los tramos inferiores están constituidos por calizas rosáceas y areniscas blancas a amarillentas, con potencias entre 60 y 90 m, quedan limitados al extremo norte de la cuenca. Los tramos superiores, apoyados de manera concordante sobre los anteriores, ocupan gran parte de los afloramientos de la cuenca y están formados por limos y arcillas rojizas con intercalaciones de conglomerados, cuyo espesor varía entre 50 y 80 m.

Las arcillas rojas, limos, arenas, margas y margocalizas correspondientes al Mioceno inferior-medio, que constituyen las facies distales de los abanicos aluviales, dan apoyo a gran parte del vaso del humedal y quedan emplazados al extremo sur de la cuenca, al igual que las calizas micríticas beige del Mioceno medio, dispuestas sobre la formación anterior, que perfilan unas superficies con cierta elevación.

Por último, los depósitos cuaternarios están ampliamente representados por arcillas, limos y arenas que rellenan las zonas más deprimidas, limos negros en el fondo del vaso de la laguna y depósitos fluviales, arenas y limos que cubren los fondos de vaguada.

El esquema estructural recae en el extremo suroccidental de la Sierra de Altomira, donde aparecen estructuras anticlinales separadas por sinclinales cuyos núcleos se encuentran ocupados por formaciones del Paleógeno y Neógeno. Concretamente, parte de los límites occidental y oriental de la cuenca vienen definidos por dos anticlinorios de dirección N-NO de marcada vergencia oeste, con capas verticales en sus flancos occidentales y afectados por superficies de cabalgamiento. Las litologías de edad cuaternaria, depósitos aluviales y de ladera, se sitúan sobre las formaciones anteriores y aparecen tapizando zonas deprimidas y fondos de lagunas.

Hidrogeología

La laguna de Manjavacas participa de la mayor parte de las características hidrogeológicas de la cercana laguna de Alcahozo, de la cual dista apenas algo más de un kilómetro. Este ecosistema acuático se asienta de forma mayoritaria sobre los sedimentos de arcillas, arenas, gravas y limos con yesos pertenecientes al Mioceno inferior (M1), que se extienden sobre las tres cuartas partes de su vaso con una disposición subtabular. La potencia de dichos sedimentos está sobre los 25-30 m en la parte central y occidental, decreciendo progresivamente hasta desaparecer en el extremo nororiental. En este último sector la base geológica de la cubeta viene determinada por los conglomerados, margas, arenas y arcillas del Eoceno-Oligoceno (EO). Esta formación, situada en posición infrayacente y en discordancia erosiva con la anterior, se encuentra plegada y afectada por procesos erosión y desmantelamiento, por lo que su espesor es variable, siendo de unos 30 m en la vertical del humedal (figura 6.38).

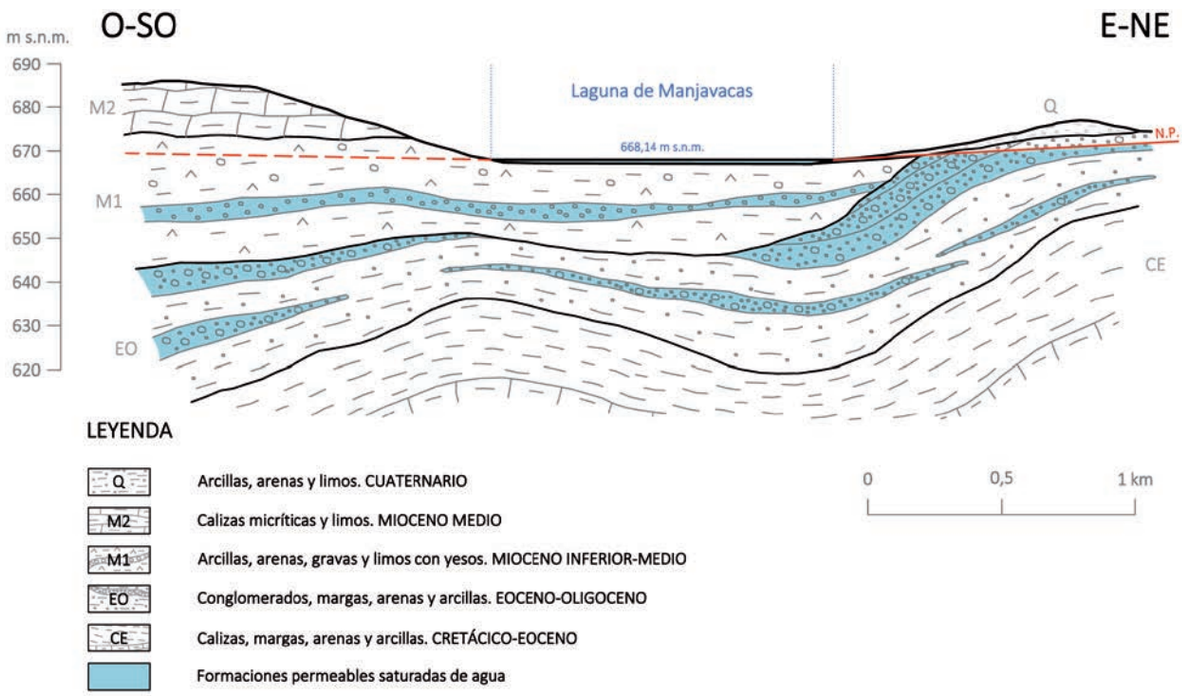


Figura 6.38. Perfil hidrogeológico de la laguna de Manjavacas

En conjunto, las dos formaciones descritas, con una potencia de 55-60 m en el entorno de la cubeta, tiene carácter impermeable por su importante contenido arcilloso, si bien los tramos de granulometría gruesa (conglomerados y arenas) adquieren cierta permeabilidad y permiten la existencia de pequeños flujos de agua. En consecuencia, este esquema hidrogeológico hace posible que la laguna sea alimentada por las aguas subterráneas procedentes de los niveles permeables intercalados en la formación arcillosa del Mioceno inferior (M1), así como, especialmente, de los horizontes de conglomerados cuarcíticos pertenecientes al Oligoceno (EO) que definen el subsuelo en el sector más septentrional del humedal.

Infrayacentes a los materiales anteriores se localizan, también mediante discordancia estratigráfica, formaciones de edad cretácica con potencias elevadas y frecuentes litologías margosas que propician la desconexión hídrica con los sedimentos cenozoicos.

Por otra parte, existen otras litologías permeables en el entorno, como es el caso de los horizontes de calizas micríticas y limos del Mioceno medio, y de las denominadas Calizas del Páramo del Mioceno superior, pero que no tienen relación hídrica con la laguna debido a su situación elevada y disposición tabular. Por otro lado, los sedimentos recientes de origen lacustre, compuestos normalmente por arcillas y limos negros, a veces salinos, que ocupan el fondo de la cubeta, son bastante escasos y de espesor muy reducido, por lo que también carecen de significado hidrogeológico.

La superficie piezométrica adquiere una cierta morfología convergente hacia la laguna (figura 6.39). Las lecturas de nivel realizadas en noviembre de 2016 en los pozos y sondeos de su entorno muestran gradientes del orden de 0,2% que se acentúan ligeramente en las proximidades del vaso (668,14 m s.n.m.). En consecuencia, el flujo subterráneo presenta una componente en dirección al humedal, especialmente visible al norte del mismo, donde se detecta la influencia de la infiltración de las aguas residuales de Mota del Cuervo, que son conducidas hacia él por medio de una zanja sin revestir excavada en el terreno.

Por otra parte, la calidad del agua de los ocasionales pozos artesanales existentes en los alrededores es bastante deficiente, con una conductividad eléctrica (CE) normalmente próxima a los 4.000 µS/cm, salvo



Figura 6.39. Mapa piezométrico (m s.n.m.) y sentido del flujo subterráneo (IGN)

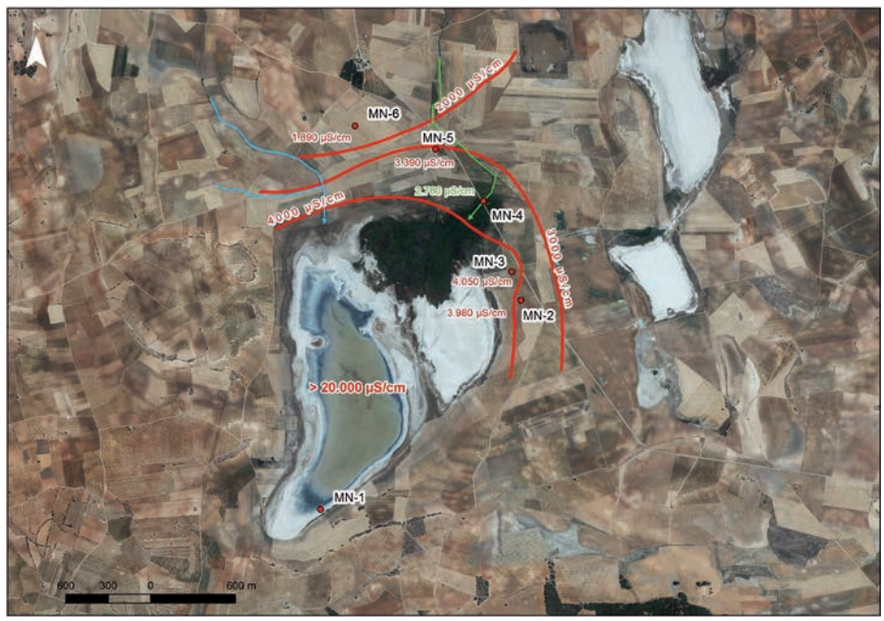


Figura 6.40. Mapa de isoconductividad eléctrica (µS/cm) de las aguas subterráneas en el entorno de la laguna de Manjavacas (IGN)

en el área localizada al norte del humedal donde es menor, con valores en este caso del orden de los 1.900 µS/cm, posiblemente debido al efecto provocado por la infiltración de las aguas residuales (figura 6.40).

La calidad del agua de la laguna presenta un carácter hipersalino, con facies clorurada, si bien su contenido en sales es inferior al que debía de tener en régimen natural a causa de los aportes de las aguas residuales de Mota del Cuervo.

Hidroquímica

La analítica de la muestra tomada en la laguna arroja un valor para la CE de 64.100 µS/cm y un pH de 8,45. Por su parte, las muestras de aguas subterráneas y residuales adquieren valores máximos de 4.480 µS/cm con un pH inferior a 8,0 en las aguas subterráneas y ligeramente superior en la analítica de aguas residuales que es de 8,52.

De igual manera, los aniones mayoritarios son mucho más elevados en la laguna que en las aguas subterráneas. Las diferencias más notables las aportan los cloruros y los sulfatos. En las aguas subterráneas los primeros arrojan valores entre 170 y 316 mg/L y los segundos entre 544 y 1.610 mg/L, mientras que en la laguna se obtienen de 20.455 mg/L para los cloruros y de 12.417 mg/L para los sulfatos.

Los cationes sodio, magnesio y potasio se mantienen en proporciones similares a los aniones, esto es, en cantidades muy elevadas en la laguna frente a las registradas en las aguas subterráneas. Destaca el calcio, que aparece en proporciones bajas en las muestras de 2014 y muy elevadas en las del 2016. En consecuencia, la facies hidroquímica en la laguna es clorurada magnésico-sódica (figura 6.41) mientras que en las aguas subterráneas es sulfatada magnésica en 2014 y sulfatada cálcico-magnésica en 2016 (figura 6.42).

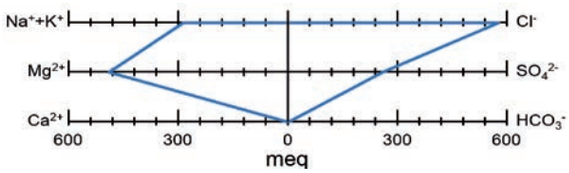


Figura 6.41. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna de Manjavacas. Fecha de análisis 25/11/2014

La comparativa entre los principales parámetros del agua de la laguna y los recogidos en la normativa que regula la calidad para aguas de consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero), por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, se exponen en la tabla 6.23.

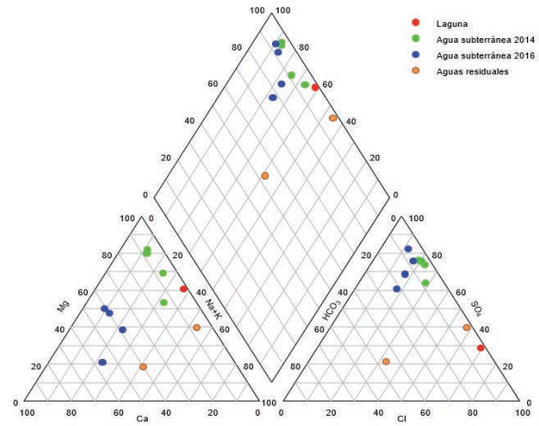


Figura 6.42. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de las muestras de la laguna de Manjavacas y de los pozos aledaños

La CE del agua de la laguna (periodo diciembre 2012-diciembre 2014, figura 6.43) registra valores mínimos entre 3.660 y 6.340 µS/cm desde el inicio de la serie hasta marzo de 2013, momento en el que se inicia un ascenso progresivo, con picos puntuales hasta los 68.000 µS/cm en diciembre de 2013, fecha a partir de la cual la CE varía entre 29.500 y 38.150 µS/cm, hasta alcanzar su valor máximo en junio de 2014 con 144.400 µS/cm. Tras este registro, la CE experimenta un descenso brusco hasta valores de 7.820 y 19.000 µS/cm en noviembre y diciembre de 2014.

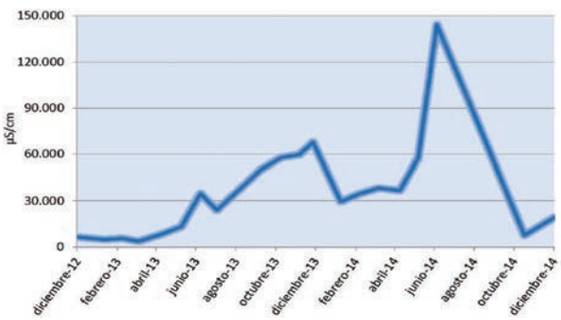


Figura 6.43. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna de Manjavacas entre diciembre de 2012 y diciembre de 2014

	Fecha de análisis			25/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA	
				Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	37	10
	Boro	B	mg/L	7,905	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	20.455	250
	Conductividad	CE	µS/cm	64.100	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	275	50
	pH	-	Ud de pH	8,45	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	5.986	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	12.417	250

Tabla 6.23. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO Y BALANCE HÍDRICO

Modelo conceptual de funcionamiento

El funcionamiento hidrológico de esta laguna viene determinado, al igual que el resto de los humedales estudiados, por la extensión y morfología de su cuenca vertiente, por la estructura geológica-hidrogeológica de ésta y por las condiciones climáticas a la que se encuentra sometida. En régimen natural estos factores generaron una zona húmeda hipersalina de carácter temporal, que durante las épocas con precipitaciones relativamente abundantes llegaba a tener una lámina de agua de escasos centímetros de altura, mientras que en los estiajes el vaso quedaba seco. Sin embargo, esta situación cambió al recibir las aguas residuales depuradas de la vecina población de Mota del Cuervo, circunstancia que ha propiciado que los periodos con presencia de agua sean los más habituales, siendo ocasionales aquéllos en los que no la hay.

Por otra parte, aunque la laguna carece de surgencias, su configuración hidrogeológica permite la existencia de una cierta interrelación con las aguas subterráneas que, básicamente, se establece en forma de drenaje difuso hacia ella.

De conformidad con lo expuesto, la presencia de agua en la cubeta está condicionada especialmente por la precipitación directa caída sobre ella, por la alimentación difusa de aguas subterráneas y por los aportes de origen antrópico, siendo de escasa relevancia la escorrentía superficial generada en su cuenca hidrológica. Respecto a los aportes subterráneos, proceden de los niveles permeables intercalados en las formaciones del Mioceno inferior (M1) y, especialmente, del Eoceno-Oligoceno (EO) que configuran el pequeño acuífero de baja permeabilidad existente en el subsuelo de la laguna.

El esquema descrito justifica también la salinidad del humedal, que estaría alimentado por aguas subterráneas cargadas en sulfatos, consecuencia de la disolución de los yesos contenidos en los sedimentos de la formación miocena, sometidas posteriormente a evaporación.

En consecuencia, el funcionamiento hidrológico actual del humedal está fuertemente modificado por la acción humana, lo cual dificulta definir la importancia y magnitud de los diferentes elementos que intervienen en la génesis de este sistema hidrológico.

Balance hídrico

La determinación del balance hídrico de esta laguna presenta una elevada complejidad al recibir los aportes de las aguas residuales tratadas de la población de Mota del Cuervo y tener, al mismo tiempo, aportes de aguas subterráneas. Por este motivo la calibración del modelo de simulación no ha resultado tan ajustada como se hubiera deseado.

Al igual que en el resto de los humedales, su balance hídrico se ha obtenido mediante la metodología expuesta en el capítulo 5 basada en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua a su vaso. Las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada existente en cada momento (244 ha), al aporte difuso de aguas subterráneas a través del lecho de la cubeta y a los vertidos de aguas residuales tratadas en la estación depuradora de Mota del Cuervo, siendo escasamente relevante la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (5.733 ha). Por su parte, las salidas son debidas a la evaporación producida sobre la lámina de agua libre, limitada igualmente por el volumen de agua disponible, ya que en la estación estival el área inundada se reduce sustancialmente y puede llegar a desaparecer.

Los datos climáticos se han obtenido de la estación agroclimática El Pedernoso del SIAR para el periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por el coeficiente de cultivo kc=1, escogido en este caso como más adecuado, y para la determinación de la evaporación se ha tenido en cuenta la extensión de la lámina de agua libre en cada momento.

El análisis geológico de la cuenca vertiente, según las distintas formaciones aflorantes, ha arrojado como resultado un suelo de tipo B (tabla 6.22). Por su parte, la pendiente media hallada ha sido del 4,0%, es decir, superior al 3% (figura 6.44), mientras que al uso de la tierra se la ha asignado la tipología de labor de secano con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 6.44). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

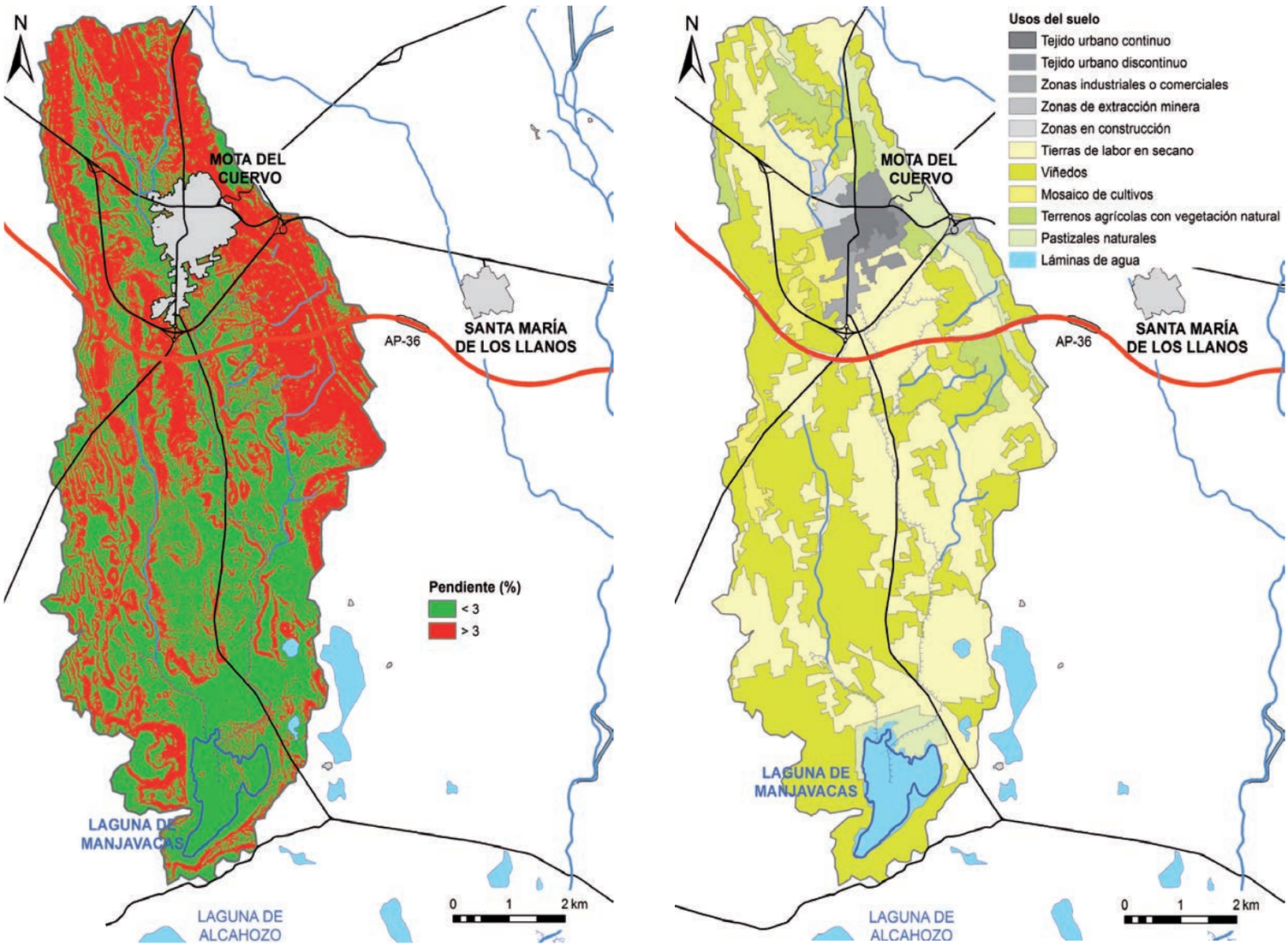


Figura 6.44. Cuenca hidrológica de la laguna de Manjavacas. Mapa de pendientes (izquierda) y Mapa de usos del suelo (derecha) (Corine Land Cover 2012)

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC (*Antecedent Runoff Condition*) 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=46, que se corresponde con un valor de CN I=27 para condiciones de humedad baja y CN III=66 para condiciones de humedad alta. Esto supone unos valores umbral de escorrentía (P_0) medio de 59,63 mm, con un máximo de 142,16 mm y un mínimo de 26,35 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 6.24).

En cuanto a los aportes por aguas residuales tratadas de la estación depuradora de Mota del Cuervo, se han estimado unas entradas anuales a la laguna de

Tabla 6.24. Cuenca de la laguna de Manjavacas. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
> 3	> 50% Labor de secano	Media baja	B	142,16	59,63	26,35

264.000 m³/año, correspondientes a unos 723 m³/día. Dicha cifra se ha obtenido a partir del volumen de vertido autorizado por la Confederación Hidrográfica del Guadiana (528.000 m³/año), el cual ha sido reducido a la mitad por el hecho de que estas autorizaciones suelen estar sobredimensionadas, pero sobre todo debido a las pérdidas por evapotranspiración y, especialmente, por infiltración que sufren durante su conducción desde la mencionada estación depuradora hasta el humedal a través de una canalización sin revestir de unos 8 km de longitud.

Por lo que se refiere a la estimación de los aportes difusos por aguas subterráneas, la calibración de los volúmenes simulados con los obtenidos de las medidas limnimétricas del proyecto Ecolake ha arrojado un valor de 300 m³/día (109.500 m³/año).

La batimetría de la cubeta se ha definido a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG se ha establecido el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación, con pasos de altura de 0,01 m. También se han obtenido y representado las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen (figura 6.45).

Finalmente, los resultados de la simulación para el periodo 2012-2014 muestran un comportamiento estacional en el que existe almacenamiento de agua durante los meses de invierno y primavera, sin llegar a producirse un secado completo durante la temporada estival a causa del continuo aporte de aguas residuales. En concreto, para el periodo referido, la laguna contiene un volumen de agua considerable (más de 100.000 m³) desde noviembre de 2012 hasta julio de 2013, y desde diciembre de 2013 hasta mayo de 2014. Es de resaltar que en el año hidrológico 2013/14, clasificado como seco, el agua acumulada es claramente inferior a la de 2012/13.

El balance hídrico medio anual obtenido para el mencionado periodo indica que los aportes por precipitación directa (375.311 m³) alcanzan el mismo orden de magnitud que el volumen conjunto de aguas subterráneas (109.500 m³) y aguas residuales tratadas (264.000 m³), mientras que la escorrentía en la cuenca vertiente ha sido nula como consecuencia de la escasa pluviometría registrada durante

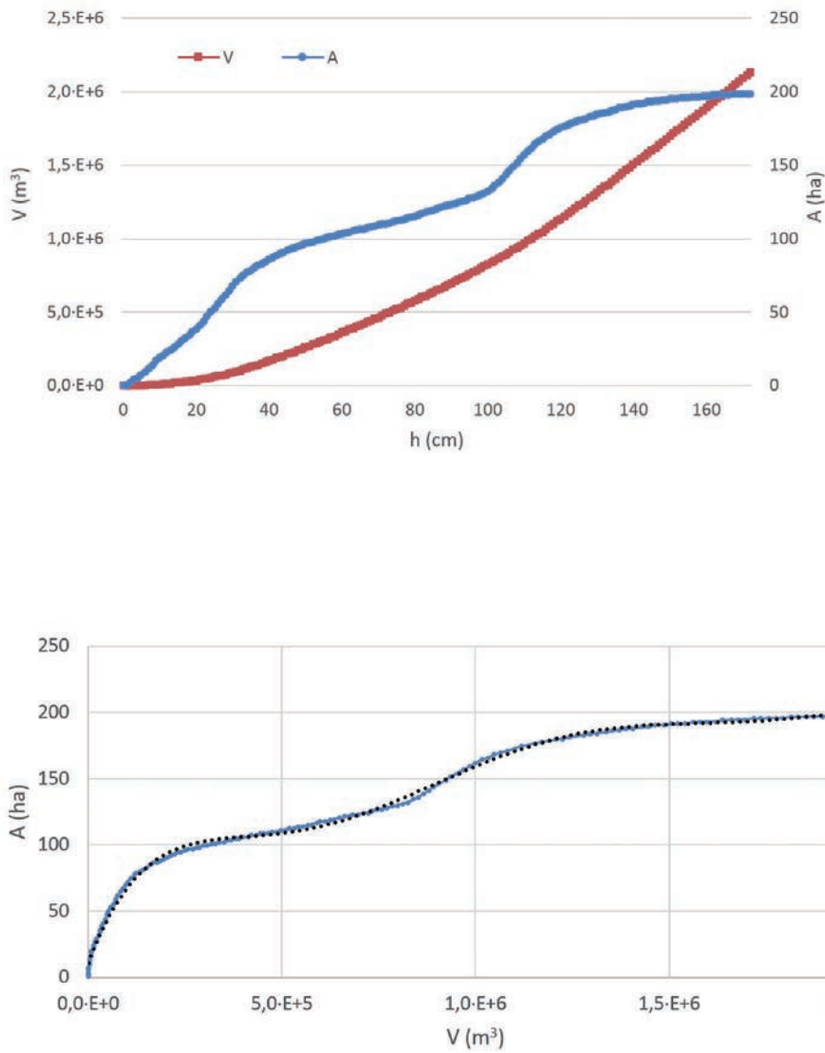


Figura 6.45. Laguna de Manjavacas. Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A). Abajo: relación entre área inundada (A) y el volumen almacenado (V)

esos dos años. Por su parte, la evapotranspiración supone la pérdida de 748.811 m³, es decir, el total de las salidas (tabla 6.25).

Con los parámetros validados para el periodo de calibración, se ha procedido a la determinación del balance hídrico hiperanual del humedal para un periodo de 15 años (2001-2016). En esta simulación se observa que la laguna tiene un estiaje bastante pronunciado, si bien lo habitual es que no llegue a secarse completamente y por lo que la mayoría de los años hidrológicos consigue acumular volúmenes de agua significativos, especialmente en los de pluviometría elevada (figura 6.46).

En este último aspecto, los resultados de la simulación muestran que la laguna alcanzó su mayor superficie de inundación (127,29 ha) en mayo de 2004 como

Tabla 6.25. Balance hídrico de la laguna de Manjavacas. Periodo 2012-2014

Año hidrológico	ENTRADAS					SALIDAS	Variación de volumen (m^3)
	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aguas subterráneas (m^3/año)	EDAR (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP (m^3/año)	
2012/13	455.914	0	109.500	264.000	829.414	819.479	9.935
2013/14	294.708	0	109.500	264.000	668.208	678.143	-9.935
Media periodo	375.311	0	109.500	264.000	748.811	748.811	0

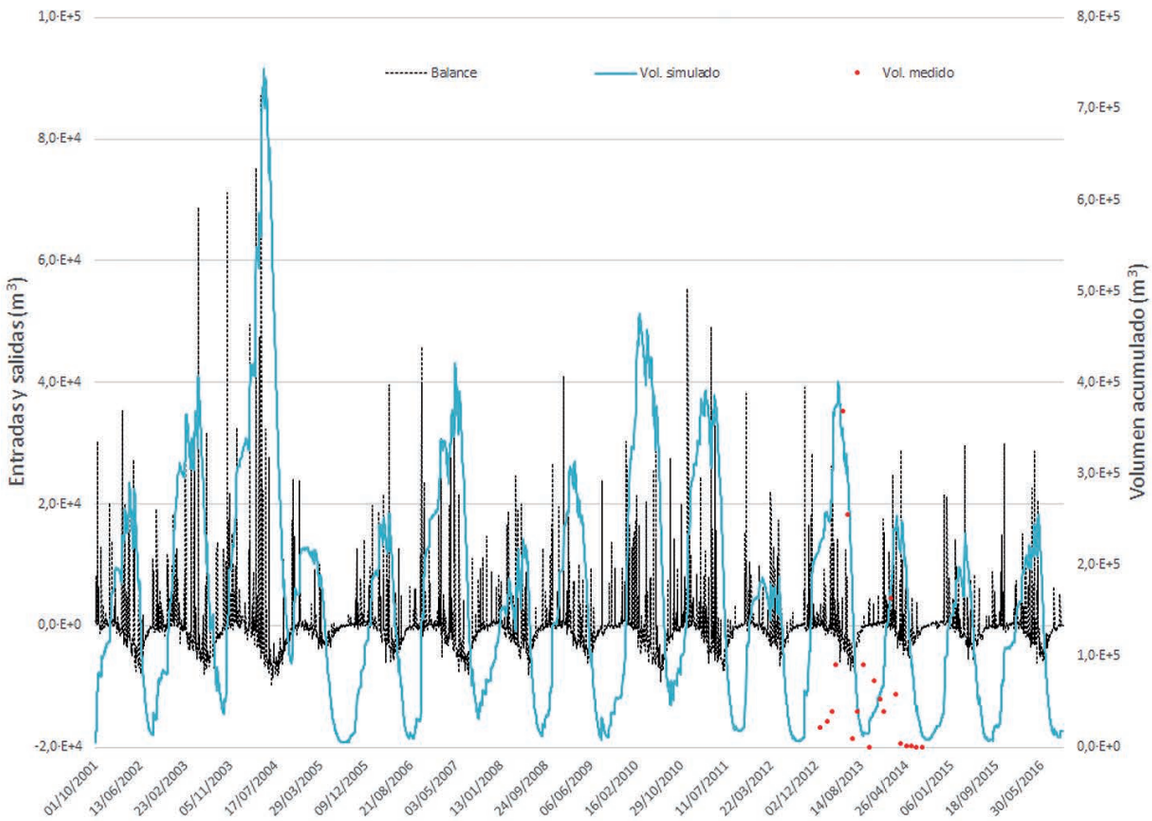


Figura 6.46. Simulación del balance hídrico para la laguna de Manjavacas. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

resultado de un periodo excepcionalmente húmedo iniciado en octubre de 2003.

El balance hídrico hiperanual (15 años) muestra que su alimentación se debe principalmente a la precipitación directa sobre el propio humedal (485.808 m^3/año), lo que supone el 56% de las entradas, a los aportes difusos de aguas subterráneas (109.500 m^3/año), equivalentes al 13%, y a los vertidos de aguas residuales tratadas (264.000 m^3/año), correspondientes al 31%. En este aspecto, es de resaltar la escasa significación de la escorrentía superficial (tabla 6.26).

Por su parte, las únicas salidas se deben a la evapotranspiración sufrida en la superficie ocupada por la cubeta (859.908 m^3/año).

Tabla 6.26. Balance hídrico hiperanual de la laguna de Manjavacas. Periodo 2001-2016

DATOS			ENTRADAS					SALIDAS
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km^2)	Área media inundada (m^2)	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aguas subterráneas (m^3/año)	EDAR (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)
371,14	57,33	725.016	485.808	600	109.500	264.000	859.908	859.908

Evolución visual del territorio

El paso del tiempo deja huella casi sin excepción, pero en la laguna de Manjavacas, al igual que ocurre con su hermana de complejo, no se aprecian cambios relevantes en los últimos años. En las dos imágenes de la figura 6.47, separadas por 55 años, se hace patente la semejanza del entorno más inmediato al humedal, con un enjambre parcelario mínimamente alterado, al igual que la red de caminos rurales y la carretera que lo flanquea por el noreste.

En comparación con el resto de los humedales estudiados, el gran vaso lagunar de Manjavacas proyecta una extensa lámina de agua (figuras 6.48 a 6.53) que da cobijo a un gran número de aves que llenan de vida este ecosistema durante el invierno y la primavera, dejando los tonos grisáceos y blanquecinos para el periodo estival.



Figura 6.47. Laguna de Manjavacas. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 6.48. Laguna en periodo estival (C. Camuñas)



Figura 6.49. Avifauna sobre la lámina de agua (Oficina de Información Turística. Ayuntamiento de Mota del Cuervo)



Figura 6.50. Vaso lagunar en febrero de 2018 (C. Camuñas)

Figura 6.51. Laguna en época húmeda. Diciembre de 2013 (B.J. Ballesteros)



Figura 6.52. Pasarela al norte del humedal en agosto de 2018 (C. Camuñas)



Figura 6.53. Atardecer de Manjavacas (Oficina de Información Turística. Ayuntamiento de Mota del Cuervo)

Capítulo 7



LAGUNA DE MERMEJUELA

MIGUEL ESTEBAN (TOLEDO)





7. LAGUNA DE MERMEJUELA

Situación geográfica, coordenadas y accesos

La laguna de Mermejuela, también llamada La Laguna, es el humedal con menor superficie de los incluidos en la presente publicación; está ubicada a unos 5 km al noroeste de la localidad toledana de Miguel Esteban (figura 7.1) y a unos 85 km de la capital provincial. Las coordenadas de su punto central son X: 488150, Y: 4376625 (UTM ETRS89 H30), cuya altitud es de 664,9 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

El acceso a la zona es libre. Para llegar a ella se debe tomar la carretera CM-3130, que une Quero con Miguel Esteban, y girar aproximadamente en el p.k. 24,200, en

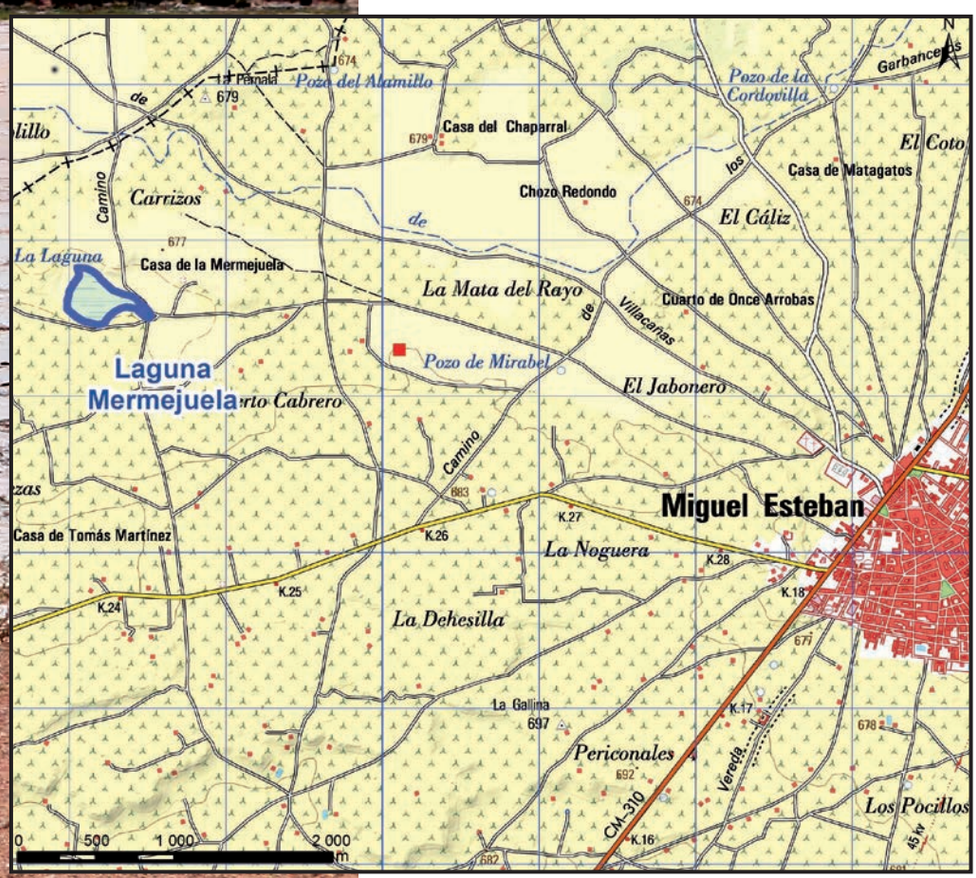


Figura 7.1. Situación geográfica de la laguna de Mermejuela (hoja 688 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)



Figura 7.2. Laguna de Mermejuela en el año 2015 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

sentido norte, donde intersecta una vía de tierra denominada senda de los Frailes. A partir de aquí, y después de recorridos 1,8 km, se alcanza el humedal.

En el paraje que rodea la laguna discurren multitud de caminos que dibujan un intrincado enjambre que da paso a infinidad de parcelas agrícolas, casas de campo y huertos, destacando el camino de Maribel que nace en las cercanías de Miguel Esteban y que, con una dirección ondulante este-oeste, bordea el flanco sur del humedal para terminar en la cercana laguna de Palomares, distante unos 1,8 km de Mermejuela en la misma dirección. El camino del Medio conecta el humedal con la localidad de La Puebla de Almoradiel, al norte del mismo. Otros caminos de la periferia del humedal son el camino del Hoyo, el camino de los Cardadores y el camino de Campo de Criptana a La Puebla de Almoradiel; próximo al humedal también se encuentra el antiguo camino Real de Toledo a Valencia.

Características fisiográficas

La morfología de la laguna se asemeja a un embudo con su lado más ancho, de unos 280 m, al noroeste y el más estrecho, unos 50 m, al sureste (figura 7.2). El perímetro aproximado es de 1,5 km y cuenta con una superficie máxima de inundación de 9,45 ha, según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021 (BOE, 2016).

Su entorno más inmediato perfila un paisaje llano, donde no se elevan cerros con la importancia suficiente para ser destacados. La red fluvial queda circunscrita al río de La Blanca, a 1,8 km al norte de la laguna, y al río Gigüela al noroeste, más alejado del humedal, del que dista 5,4 km.

La laguna es de carácter estacional y posee algunos centímetros de agua de profundidad. El suelo periférico es eminentemente agrícola, con parcelas de cultivos que se extienden hasta la orilla de la zona húmeda.

Normativa específica y figuras de protección

En la actualidad la laguna de Mermejuela es de propiedad privada y desde 1980 forma parte de la Reserva de la Biosfera de "La Mancha Húmeda" declarada por la UNESCO; además está protegida por las figuras jurídicas de ámbito europeo incluidas en la Red Natura 2000, declarada Zona Especial de Conservación (ZEC) por Decreto 187/2015, de 07/08/2015, por el que se declaran como Zonas Especiales de Conservación de la Red Natura 2000 en Castilla-La Mancha 13 Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) (tabla 7.1).

Pese a estas figuras de protección, a nivel regional no tiene aprobado ningún Plan de Ordenación de Recursos Naturales, ni ha sido declarada Reserva Natural por la administración territorial de Castilla-La Mancha.

En este humedal, poco transitado por vecinos o visitantes, quedan restos de plásticos de las balsas de su antigua explotación salina ya que las administraciones no han tomado medidas para su recuperación. Como informa D. Vicente Torres, vecino del municipio, en su entorno encontramos una antigua quintería de ganado, sin uso desde finales del siglo XX, que aprovechaba las plantaciones limítrofes, y los restos de una zanja artificial para la cría y pesca del cangrejo americano.

Climatología

Las características climáticas se han determinado a partir de la estación meteorológica TO10, La Puebla de

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA DE MERMEJUELA
RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA
Declaración de la UNESCO de 30 de noviembre de 1980
ESPACIO RED NATURA 2000
Zona Especial de Conservación ZEC-ZEPA "Humedales de La Mancha", código ES4250010-ES0000091

Tabla 7.1. Figuras de protección de la laguna de Mermejuela

Almoradiel, situada al noroeste de esta localidad toledana, perteneciente a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha (tabla 7.2).

La precipitación media anual de la zona en los últimos 15 años (2001/02-2015/16) ha sido de 344,1 mm, con un máximo de 571,4 mm en el año 2003/04 y un mínimo de 162,8 mm en el año hidrológico posterior. A nivel diario el hecho más destacado es el intenso episodio de lluvia torrencial ocurrido el 16 de enero de 2003 en el que se acumularon 100,6 mm. Los datos de precipitación más significativos se muestran en la tabla 7.3.

Los registros mensuales reflejan que en todos los meses se superan los 30 mm de lluvia, salvo en los de verano (junio, julio, agosto y septiembre), siendo el más húmedo el de abril y el más seco el de julio con valores de 48,6 mm y 4,7 mm, respectivamente.

Registros climáticos anteriores a los de la estación TO10 del SIAR se han obtenido de la estación meteorológica Miguel Esteban (nº 4062), de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que abarca un lapso temporal de 40 años desde 1960/61 a 1999/2000 (tabla 7.4). Su análisis comparativo permite concluir que la precipitación media anual en los últimos 15 años ha sufrido un descenso de 35 mm respecto a los 40 años precedentes.

Por su parte, la temperatura media anual es de 13,7 °C (tabla 7.5) y las medias de las máximas y mínimas diarias de 21,2 °C y 6,4 °C, respectivamente.

Valores ambientales

Valoración global

Se trata de una pequeña laguna rodeada de cultivos, relativamente bien conservada, que presenta un particular interés por la presencia de tapetes microbianos que muestran un estado de conservación algo deteriorado, en la que no es abundante la presencia de invertebrados ni de avifauna debido a su elevada salinidad. Los campos de cultivo se extienden prácticamente hasta la orilla de la laguna, por lo que la orla de vegetación halófila está muy mermada.

Biodiversidad: flora y fauna

A diferencia de otras lagunas próximas de similares características como la de Salicor, Mermejuela no presenta playas para el desarrollo de helófitos u otra vegetación propiamente palustre (Gosálvez *et al*., 2012). En su lugar encontramos cultivos agrícolas que conforman el estrato herbáceo que circunda la laguna (figura 7.3).

En cuanto a la avifauna, debido a su reducida superficie y elevada salinidad, la laguna exhibe una moderada densidad de individuos. La riqueza de especies observada durante los censos llevados a cabo en el proyecto Ecolake fue inferior a 3 especies, con abundancias generalmente bajas (menos de 10 individuos), aunque en periodos puntuales pueden llegar a la centena, debido a la presencia ocasional de pagaza piconegra *(Gelochelidon nilotica)*. También es característica la avoceta común *(Recurvirostra avosetta)* con máxi-

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
TO10	La Puebla de Almoradiel	488433	4384582	698	01/10/2001	30/09/2016

Tabla 7.2. Datos de ubicación y periodo de registro temporal empleado (SIAR)

PRECIPITACIÓN (mm)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**344,1**	**1,0**	**33,6**	**31,2**	**36,6**	**48,6**	**36,4**	**21,9**	**4,7**	**8,2**	**16,5**	**45,9**	**34,3**	**33,4**
Máxima absoluta	571,4	100,6	128,8	67,6	115,0	102,4	105,6	85,2	17,9	34,8	44,2	103,6	91,7	115,4
Fecha	2003/04	16/01/2003	2003	2010	2013	2016	2007	2010	2014	2003	2012	2003	2012	2009
Mínima absoluta	162,8	0,0	0,0	2,6	6,3	0,8	0,0	2,2	0,0	0,0	0,6	20,8	9,6	0,0
Fecha	2004/05	-	2005	2002	2014	2014	2014	2012	2005 y 2009	Varios años	2011	2009	2007	2015

Tabla 7.3. Valores de precipitación más relevantes registrados en la estación termo-pluviométrica TO10 La Puebla de Almoradiel (SIAR)

Tabla 7.4. Datos de ubicación, registro temporal y valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica nº 4062 Miguel Esteban (AEMET)

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
4062	Miguel Esteban	493148	4375116	681	1960/61	1999/2000

PRECIPITACIÓN (mm)		
	Precipitación anual	Fecha
Media	**379,2**	1960/61 - 1999/2000
Máxima absoluta	614,3	1961/62
Mínima absoluta	204,2	1994/95

Tabla 7.5. Valores de temperatura más relevantes registrados en la estación termo-pluviométrica TO10 La Puebla de Almoradiel (SIAR)

TEMPERATURA (°C)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**13,7**	**-**	**4,2**	**5,3**	**8,8**	**12,2**	**16,5**	**22,0**	**25,0**	**24,2**	**19,5**	**14,2**	**7,9**	**4,4**
Máxima media	21,2	-	10,6	12,1	15,9	19,2	23,9	30,2	33,9	33,3	28,0	21,7	14,6	11,0
Mínima media	6,4	-	-1,2	-0,9	1,9	5,2	8,4	13,1	15,0	14,9	11,4	7,6	2,1	-1,0
Máxima absoluta	-	42,1	20,5	23,3	26,0	29,7	37,8	39,2	40,7	42,1	39,9	33,8	26,0	19,1
Fecha	-	10/08/12	27/01/03	27/02/10	24/03/02	08/04/11	17/05/06	29/06/05	06/07/15	10/08/12	07/09/16	02/10/04	01/11/09	05/12/15
Mínima absoluta	-	-13,3	-13,3	-10,2	-8,6	-3,5	-1,2	0,0	0,0	5,5	0,0	-3,5	-10,0	-13,3
Fecha	-	15/12/09	28/01/05	23/02/12	08/03/05	02/04/16	04/05/02	03/06/03	31/07/08	27/08/11	11/09/02	27/10/10	18/11/07	15/12/09

mos al final del invierno e inicio de la primavera (Gonçalves *et al.*, 2016). Por su parte, los campos del entorno constituyen un dormidero importante de grulla común *(Grus grus)*.

Biodiversidad microbiana y del plancton

La extrema salinidad que de forma regular presentan las aguas de esta laguna impide el establecimiento de poblaciones de macrófitos sumergidos y limita notablemente el desarrollo de invertebrados acuáticos. Así, la inspección del sedimento ha permitido constatar la presencia de huevos de anostráceos, aunque nunca se llegó a observar la eclosión de los mismos. La biota es por tanto eminentemente microbiana. El bentos de la laguna destaca por la presencia, al menos en épocas recientes, de un tapete microbiano bien estructurado (figura 7.4) con una superficie pardo-rojiza pasando a

Figura 7.3. Entorno de la laguna de Mermejuela con los cultivos hasta la orilla (C. Rochera)





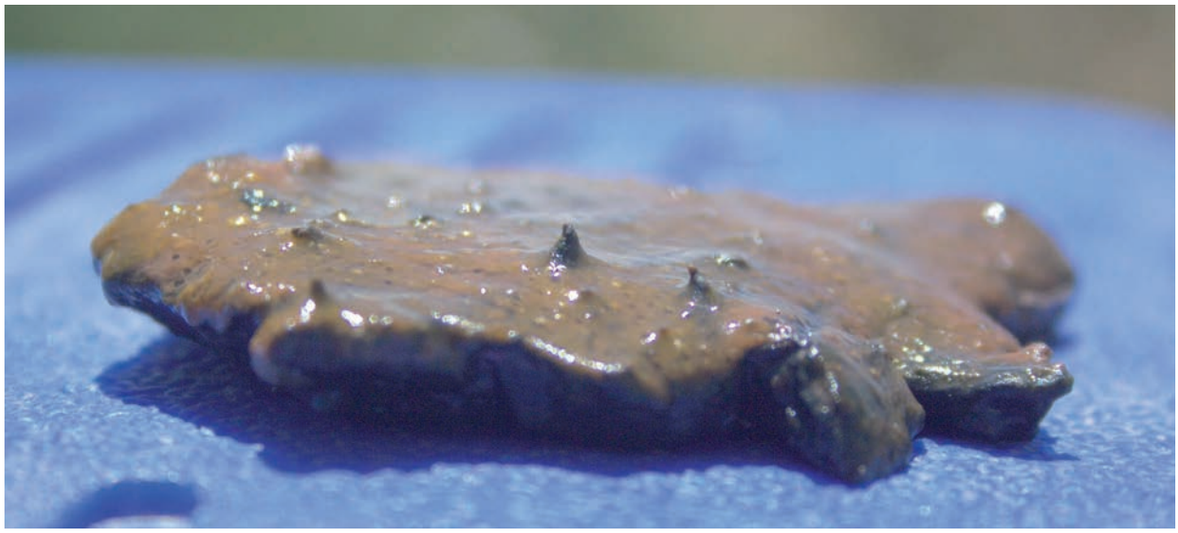


Figura 7.4. Tapete microbiano que recubre el lecho de Mermejuela formado principalmente por cianobacterias (C. Rochera)

verdosa por debajo de la misma, evidenciando la presencia de un estrato fotosintéticamente más activo sobre el que se sobreponen poblaciones de cianobacterias y diatomeas con mayor producción de pigmentos fotoprotectores que en las capas más verdosas. En contraposición a este dominio del bentos microbiano, el cual no siempre tiene lugar por el deterioro que puede sufrir el tapete microbiano, la laguna puede mostrar también elevadas densidades algales en la columna de agua. En este caso, lo que suele darse es una comunidad del plancton dominada por la clorófita *Dunaliella* sp., alga típica de ambientes hipersalinos, la cual puede mostrar elevadas tasas de producción primaria (Florín, 1994; Florín y Montes, 1999). La presencia destacada de pigmentos fotosintéticos como la clorofila-b y la luteína en la columna de agua durante los muestreos realizados evidencian la persistencia de las clorófitas en la comunidad del plancton.

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos más destacables de esta laguna son:

- Servicios de abastecimiento: materias primas de origen mineral, acervo genético.
- Servicios de regulación: climática, hídrica y de ciclos biogeoquímicos.
- Servicios culturales: conocimiento científico, identidad cultural, disfrute estético, ecoturismo, educación ambiental.

Estado ecológico e impactos

Esta laguna no está considerada como masa de agua superficial según el Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, constituyendo un problema para su conservación ya que su buen estado ecológico no es un objetivo directo de la planificación hidrológica, aunque está amparada por diversas figuras de protección ya citadas.

A diferencia de otras lagunas próximas, como la de Quero o las del complejo de Alcázar de San Juan, el aislamiento de la laguna de Mermejuela respecto a núcleos urbanos evita algunos focos de contaminación que pudiesen afectar a su estado de conservación, aunque existen menciones a cierta actividad relacionada con la explotación salina (Florín, 2001). También se detectan otras fuentes de contaminación como la presencia de residuos plásticos en las heces de la avifauna que alberga la laguna (Gil-Delgado *et al.*, 2017).

Con respecto a las variables indicadoras del estado trófico de la laguna, la concentración total de fósforo en el agua ha mostrado durante el bienio 2013-2014 valores generalmente superiores a 40 µM, evidenciando un cierto nivel de eutrofización. En correspondencia, los niveles de clorofila-a fueron también generalmente elevados durante ese periodo, en muchas ocasiones superiores a 50 µg/L. No obstante, cabe mencionar también cómo la salinidad puede ser un factor de control de la biomasa algal, de tal modo que las concentraciones de clorofila-a durante las fases de secado estival y recarga otoñal, periodos de extrema salinidad, pueden llegar a ser bajas (<10 µg/L) comparadas con otras fases menos severas del hidroperiodo.

Valores históricos y culturales

Historia

A pesar de que se han encontrado vestigios romanos, principalmente monedas, que podrían datar el origen de este enclave, se desconoce la época en la que nace el municipio de Miguel Esteban. Algunas fuentes lo identifican con Alcés, la antigua población situada en la vía que unía Caesaraugusta con Lusitania.

Según se recoge en un documento del Archivo Histórico Nacional, su origen es anterior al siglo XIII, ya que en un manuscrito fechado el 18 de febrero del año 1243 en Valladolid, sobre un litigio entre el Concejo de Alcaraz y la Orden de Santiago en relación con el reparto de tierras conquistadas, la resolución es firmada por el rey Don Fernando III el Santo, y se cita como "Miguel Esteban" (AHN, 1243).

Posteriormente, según las Relaciones de Felipe II en 1575, se recoge que el municipio pertenecía al Priorato de Uclés y a la jurisdicción de Quintanar de la Orden, donde describe la buena comunicación de la que gozaba la villa, próxima al camino Real que iba de Toledo a Valencia y también a los caminos que la comunicaban con la Alcarria (Guadalajara), Vizcaya y Andalucía.

En el siglo XIX, se menciona el camino próximo a la laguna en el Catastro del Marqués de la Ensenada (1749-1759), donde indica "el camino de la Mermejuela" a medio cuarto de legua de la villa, para referenciar geográficamente el lugar llamado de los "Burgos de la Paz", que en aquella época era una expresión referida a los barrios donde se asentaban los inmigrantes árabes, posiblemente procedentes de las expulsiones de Andalucía y Levante.

En cuanto a su representación gráfica, Mermejuela o La Laguna ya aparece en los mapas y planos topográficos del Instituto Geográfico Nacional de 1886 (figura 7.5), en los que aparecen cartografiados también los pozos próximos al humedal.

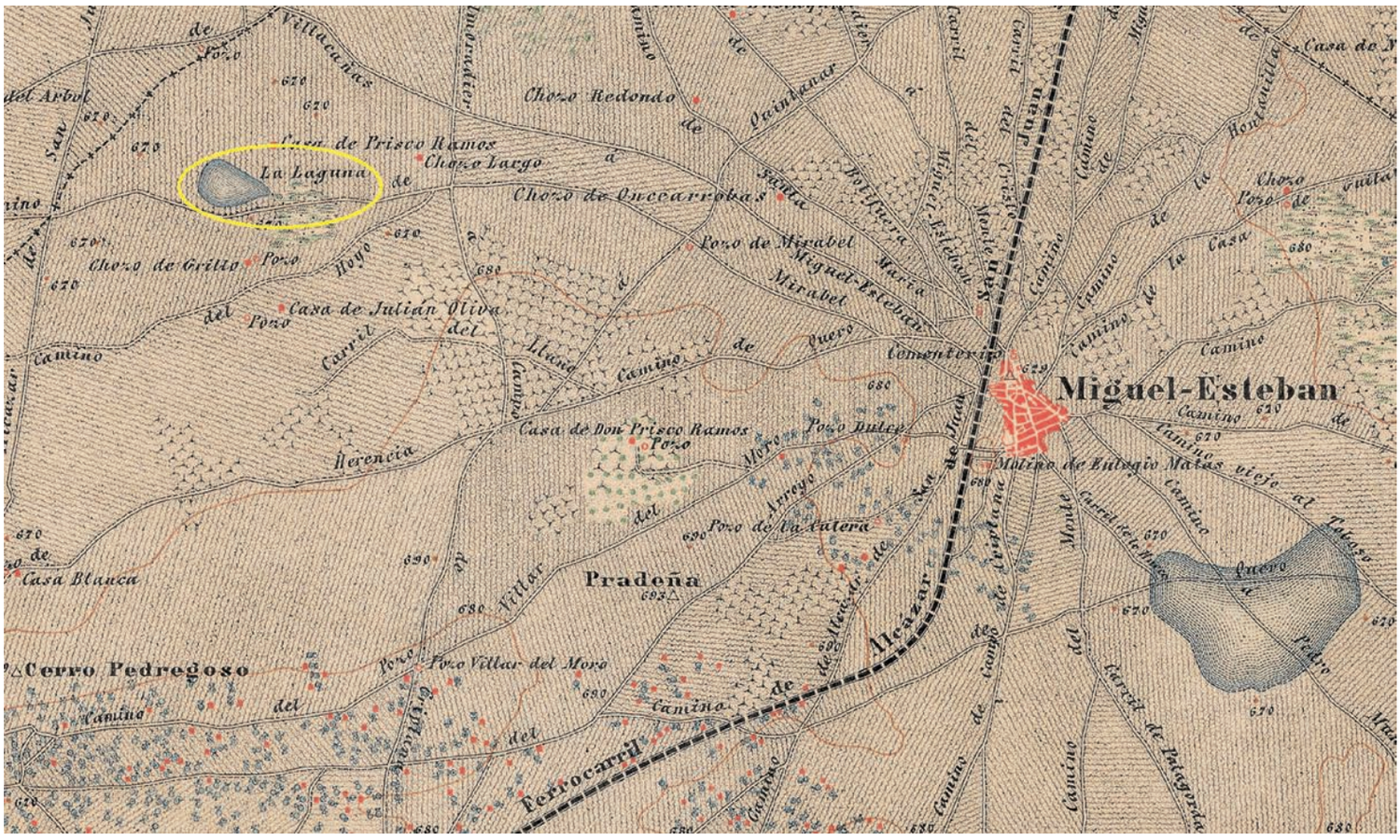


Figura 7.5. Detalle de la laguna en la Hoja Topográfica 688 a escala 1:50.000, año 1886 (modificado del Instituto Geográfico y Estadístico. Cartoteca del IGN)

Salina de interior

Pese su pequeño tamaño, la laguna de Mermejuela ha sido explotada durante siglos como salina de interior. En un manuscrito del año 1823 de las salinas Espartinas y de Valdemoro se informa de la explotación económica de esta laguna salobre desde el siglo XVIII, junto a otras que dependían, al igual que ella, de Quero, así: *"En la salina de Quero se recoge todos los años a su debido tiempo la porción de sal purgante que permite la estación y se vende de cuenta de la Hacienda Pública según práctica desde muy antiguo. Estas lagunas se hallan acotadas por disposición que dio la Dirección General de Rentas en 5 de septiembre de 1780, y están situadas en los términos de las Villas siguientes: Las nombradas de Villacañas, Bogarra y Tírez y su charco, en el término del mismo Villacañas. La de Villafranca, en ese término. Yeguas, Larga: su charco y cerro mesado en el de Alcázar. La de Bermejuela en el de Miguel Estevan. La de Villajos en Campo de Criptana. La de Alcaozo en el de Pedro Muñoz. La de Pozos dulces en el de Lillo y en Quero la que lleva ese nombre. Todas se hallan sujetas a la Administración establecida en la villa de Quero"*.

En el citado documento también se aportan datos sobre la calidad de la sal y su uso, así: *"Las aguas de dichas lagunas tienen en disolución las mismas sales que las del manantial de Carcaballana, aunque con la notable diferencia de que aquellas abundan y están más recargadas de sales purgantes; así que las mueras y la sal que producen son muy amargas e insalubres para los usos domésticos y diarios, y únicamente se gastan algunas cantidades en la medicina en dosis proporcionadas, y en la elaboración de agua fuerte, descomponiendo el salitre o nitrato de poroso en el sulfato de magnesio y de sosa, que llaman impropiamente compacto"*.

La sal era un bien muy apreciado y para evitar saqueos, las lagunas eran custodiadas durante el tiempo en el que se recolectaba la sal: *"…cuyos dependientes tiene el cargo de visitarlas y poner y quitar los guardas de su resguardo a los tiempos preciso e indispensables de sus cuajes, que se pagan por la Hacienda Pública para impedir el uso de dichas sales y de sus aguas, cuya administración dista de la general de Valdemoro a 14 leguas"*.

No obstante, pese al valor de la sal, la producción de este recurso no era rentable y se propone la eliminación de estas salinas: *"Por cuyos datos y por su producto, siendo honerosa a la Renta, combendria suprimir ésta salina dando salida a unas aguas estancadas, cuyos vapores en tiempo de calor infectan la atmósfera y originan los males que insensiblemente van despoblando la Villa de Quero"*.



Figura 7.6. La sal depositada en los meses estivales de 2016 (B.J. Ballesteros)

La explotación de Mermejuela dura hasta finales del siglo XX cuando, según información vecinal, se cambiaron las tradicionales técnicas de extracción del salitre (figura 7.6) por la utilización de máquinas excavadoras. Finalmente, el producto era transportado a Barcelona para la elaboración de medicamentos.

Durante siglos, en la mayoría de los humedales manchegos el aprovechamiento de este recurso se realizó de forma sostenible, sin inferir en su funcionamiento, pero en el siglo XX la explotación sigue otras pautas, tanto técnicas como estéticas, con grandes movimientos de tierras, construcción de zanjas y balsas, y la aplicación de elementos no degradables que dejaron en su vaso abundantes residuos metálicos y plásticos. Este proceso merma las cubetas lagunares, agravando la amenaza de su desaparición.

CONTEXTO SOCIOECONÓMICO

Con una superficie de 93 km² el término municipal de Miguel Esteban cuenta con una población de 5.243 habitantes (INE, 2014), lo que supone una densidad de 56,38 hab/km² (figura 7.7).

El nivel de estudios (tabla 7.6) entre sus habitantes predomina el segundo grado (33,7%) seguido del primer grado (29,9%) y de los que carecen de ellos (22,1%), siendo el minoritario el de analfabetos apenas con un 3,7% y, el 10,6% restante lo forman los habitantes de tercer grado.

Tabla 7.6. Nivel de estudios (Censo de Población y Vivienda 2011. INE)

NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	%
Analfabetos	144	*3,7*
Sin estudios	860	*22,1*
1er Grado	1.165	*29,9*
2º Grado	1.313	*33,7*
3er Grado	411	*10,6*
TOTAL	**3.893**	***100***

La actividad económica se basa en el sector servicios, con un 50,9% de empresas, le sigue la agricultura con un 26,0%, la construcción con un 15,0% y la industria con un 8,1% (tabla 7.7). En consecuencia, los trabajadores afiliados al sector servicios son los más numerosos (47,6%), seguidos de la agricultura (21,3%) y de la construcción y el sector industrial, que son los minoritarios (18,2% y 12,9% respectivamente).

Tabla 7.7. Empresas y afiliación en Miguel Esteban (Tesorería General de la Seguridad Social 2014)

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	214	*21,3*	45	*26,0*
Industria	129	*12,9*	14	*8,1*
Construcción	183	*18,2*	26	*15,0*
Servicios	478	*47,6*	88	*50,9*
TOTAL	**1.004**	***100***	**173**	***100***



Figura 7.7. Pirámide (izquierda) y Grupos de población de Miguel Esteban (derecha) (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha 2014. Padrón Municipal de Habitantes a 1 de enero 2014. Instituto Nacional de Estadística, INE)

La evolución ocupacional (tabla 7.8) en el lapso temporal entre 2009 y 2013 experimenta un incremento en el número de parados, con una reducción en el año 2014.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº de parados	532	551	661	763	848	757

Tabla 7.8. Desempleados (Paro municipal registrado. SPEE)

En cuanto al territorio (tabla 7.9), prácticamente la totalidad del término municipal está ocupado por cultivos (99,0%), con predominio mayoritario de viñedos (76,4%), siendo minoritaria la presencia de los herbáceos y el olivar (13,0% y 10,6%).

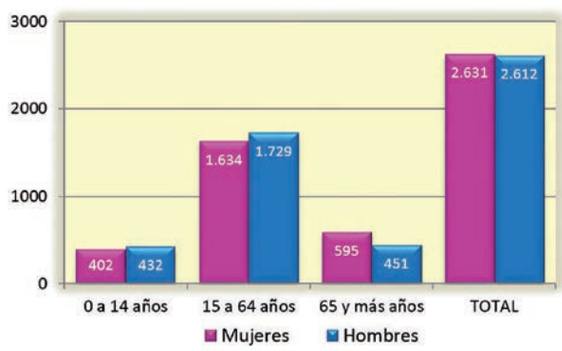
EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	7.791	1.012	*99,0*	*13,0*
	Frutales		1		*0,0*
	Olivares		826		*10,6*
	Viñedos		5.952		*76,4*
Pastos		18		*0,3*	
Otras		58		*0,7*	
TOTAL		**7.867**		***100***	

Tabla 7.9. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2009, INE)

Por otro lado, la práctica totalidad de la cabaña ganadera (tabla 7.10) está constituida por la tipología porcina (99,5%), dejando únicamente el 0,5% restante para aves.

CABEZAS DE GANADO		
	Nº de cabezas	%
Bovinos	0	*0,0*
Ovinos	0	*0,0*
Caprinos	0	*0,0*
Porcinos	5.500	*99,5*
Aves	25	*0,5*
Equinos	0	*0,0*
TOTAL	**5.525**	***100***

Tabla 7.10. Cabezas de ganado (Censo Agrario 2009, INE)



Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna de Mermejuela, situada dentro de la cuenca alta de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, se localiza en el interior de la cuenca del río de La Blanca, afluente del río Gigüela por su margen izquierda. Se trata de una cuenca de carácter endorreico de pequeño tamaño, con apenas 301 ha, localizadas íntegramente en el término municipal de Miguel Esteban. Por otra parte, la superficie máxima inundada de la laguna es también de tamaño reducido, con aproximadamente 9,45 ha, por lo que la superficie de la cuenca vertiente representa 31 veces la de la propia laguna (figura 7.8).

El flujo principal de las aguas superficiales se establece en sentido sureste-noroeste, estrechándose la cuenca en su extremo noroeste donde se encuentra la cubeta de la laguna. Su relieve es muy suave, con 17 m de diferencia entre las cotas más elevadas (681,9 m s.n.m.) localizadas al sureste, y el fondo de la cubeta donde se encuentra la zona húmeda (664,9 m s.n.m.), siendo la altitud media de 674,2 m s.n.m. La pendiente media del área vertiente es del 1,7%, en consecuencia, la mayor parte de sus límites son de difícil determinación y no existen divisorias fácilmente reconocibles entre esta cuenca y la del río de La Blanca, en cuyo interior se encuentra.

En cuanto a su red hidrográfica, no se distingue ningún río o arroyo. Únicamente existe una canalización excavada con una longitud inferior a 500 m que conduce los aportes de un manantial hacia la laguna en dirección este-oeste. El resto de la red de drenaje consiste en pequeñas vaguadas apenas distinguibles sobre el terreno que recogen los aportes generados por la precipitación del agua de lluvia, principalmente sobre los relieves de la zona sur.

Geología

La representación geológica de los materiales que afloran en la cuenca vertiente de la laguna de Mermejuela no es muy amplia, tanto por la reducida superficie que ocupan, comparada con otras de su entorno, como por el lapso temporal al que pertenecen. Así, sus forma-

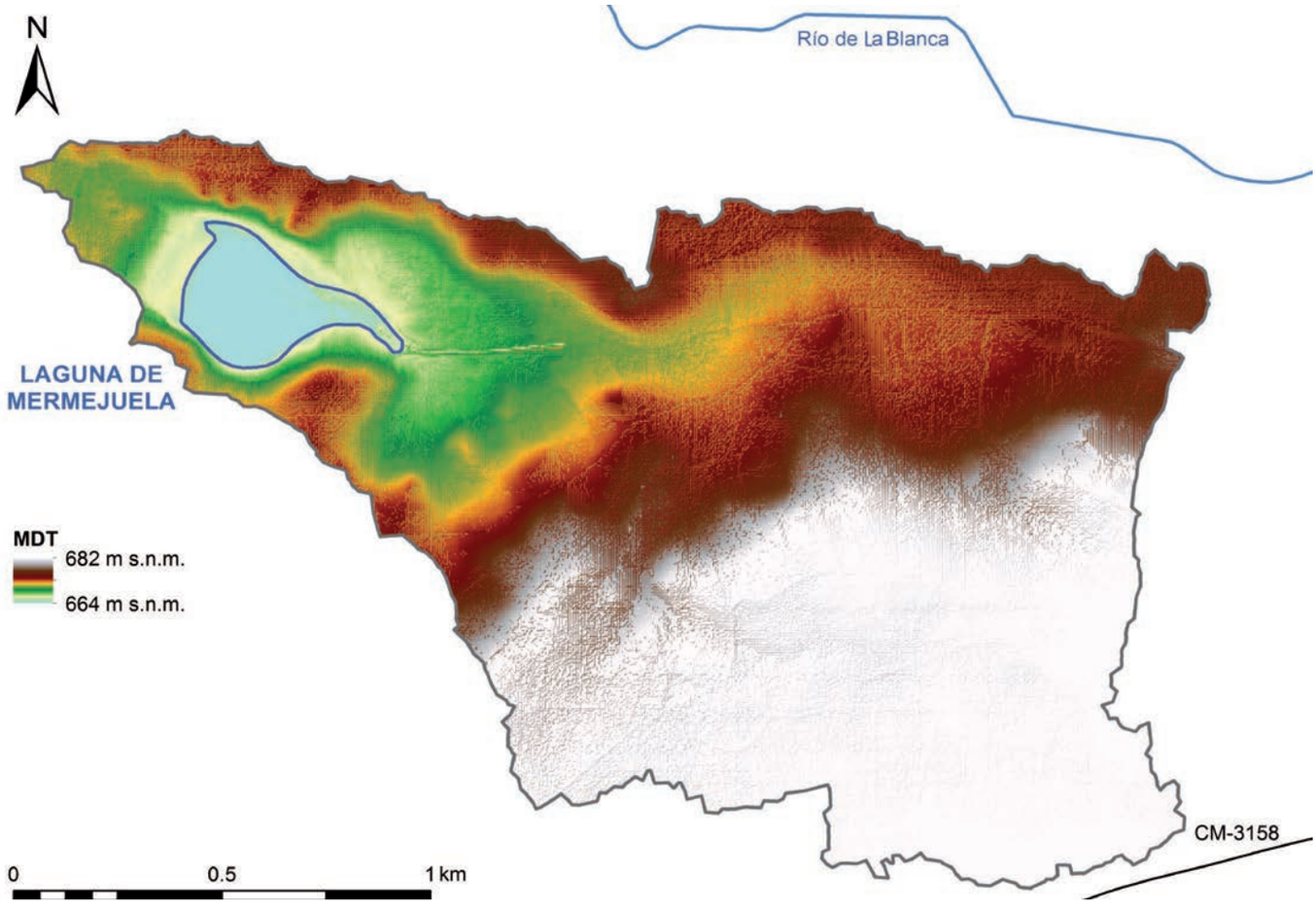


Figura 7.8. Cuenca hidrológica de la laguna de Mermejuela

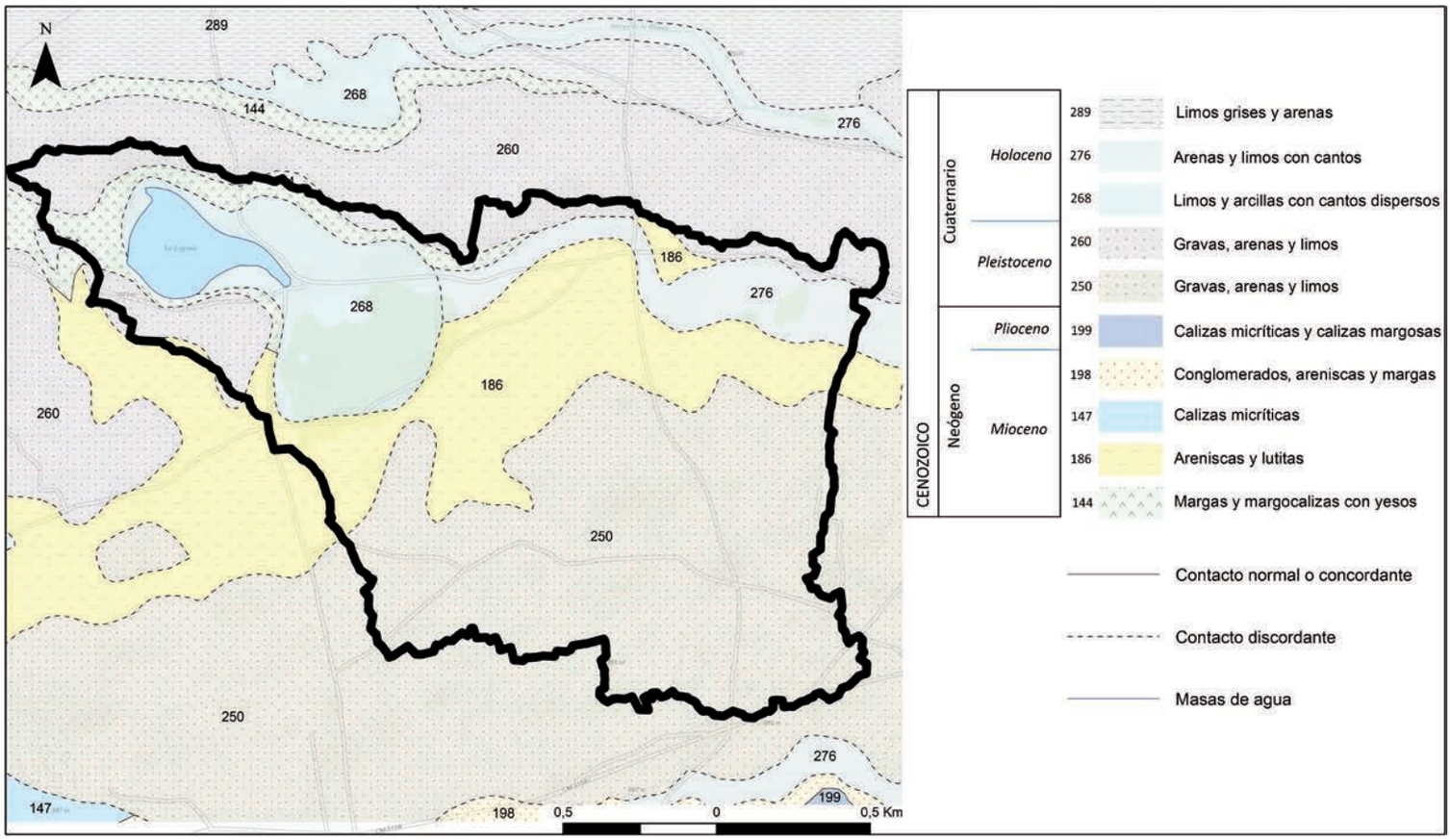


Figura 7.9. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de Mermejuela (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

ciones, dispuestas subhorizontalmente, quedan representadas en su práctica totalidad por el Mioceno y por el Cuaternario. Los afloramientos miocenos descansan sobre una tercera parte de la superficie de la cuenca, dispuestos en su zona central y en su flanco norte según una pseudo-alineación, mientras que las dos terceras partes restantes están ocupadas por sedimentos cuaternarios (figura 7.9).

En cuanto a la permeabilidad de los materiales geológicos (tabla 7.11), los más abundantes, gravas, arenas y limos del Pleistoceno, debido a su carácter detrítico presentan una permeabilidad media (Tipología B: 60%). En menor proporción se encuentran los sedimentos de cierta permeabilidad (Tipología C: 37%), correspondientes en este caso a las areniscas y lutitas del Mioceno junto con los limos y arenas del Holoceno. Por último, de forma minoritaria y con carácter impermeable (Tipología D: 3%), aparecen las margas y margocalizas con yesos del Mioceno medio.

Dentro del contexto geológico descrito, la laguna de Mermejuela se asienta sobre la formación miocena, cuya potencia ronda los 20 m, compuesta por margas y margocalizas yesíferas de tonos blanquecinos y beiges que engloban nódulos de yeso, propia de un ambiente de sedimentación de un lago salino de escasa profundidad, con episodios de sequía junto con otros de avenidas, que evidencian un clima seco.

Tabla 7.11. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de Mermejuela

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
FORMACIÓN GEOLÓGICA	**Edad**	**Tipología**	**%**
Gravas, arenas y limos	Pleistoceno	B	60
Areniscas y lutitas	Mioceno medio	C	37
Limos y arenas	Cuaternario	C	
Margas y margocalizas con yesos	Mioceno medio	D	3
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Siguiendo un orden cronológico, y dispuesta sobre la unidad evaporítica anterior, aparece una formación miocena de areniscas y lutitas rojas, la cual posee una gran convergencia de facies, que pasan de forma lateral a unidades carbonáticas. Esta unidad, que es la más y mejor representada en la cuenca hidrológica, litológicamente se caracteriza por contener un mayor número de intercalaciones de areniscas.

En posición suprayacente aparecen sedimentos pleistocenos, también ampliamente representados en la cuenca, constituidos por terrazas de gravas y arenas, con algún nivel limoso hacia su techo, de colores blancos a amarillentos y anaranjados. El espesor de estos sedimentos, depositados en un ambiente fluvial, varía entre 2 y 5 m.

Por último, cabe citar los depósitos holocenos de fondo endorreico, formados por limos negros ricos en materia orgánica, así como los fondos de valle integrados por arenas y limos pardos con cantos correspondientes a flujos poco energéticos.

Hidrogeología

La laguna de Mermejuela se encuentra inmersa dentro de un contexto hidrogeológico condicionado por los depósitos miocenos que configuran varias formaciones geológicas con diferente comportamiento hidrodinámico (figura 7.10).

La cuenca vertiente de este humedal es reducida y está ocupada casi en su totalidad por sedimentos de carácter detrítico con permeabilidad por porosidad intergranular media (60%) a media-baja (37%). Estas formaciones, con una disposición subhorizontal y un espesor que varía entre los 15 y los 30 m, corresponden a las arenas y lutitas del Mioceno medio (M3), a los limos y arenas del Holoceno (Q) y a las gravas y arenas del Pleistoceno (Q). Esta última formación, de mayor conductividad hidráulica que las dos anteriores, se presenta en niveles aterrazados suprayacentes al resto de materiales con la excepción de los depósitos holocenos de fondo de valle.

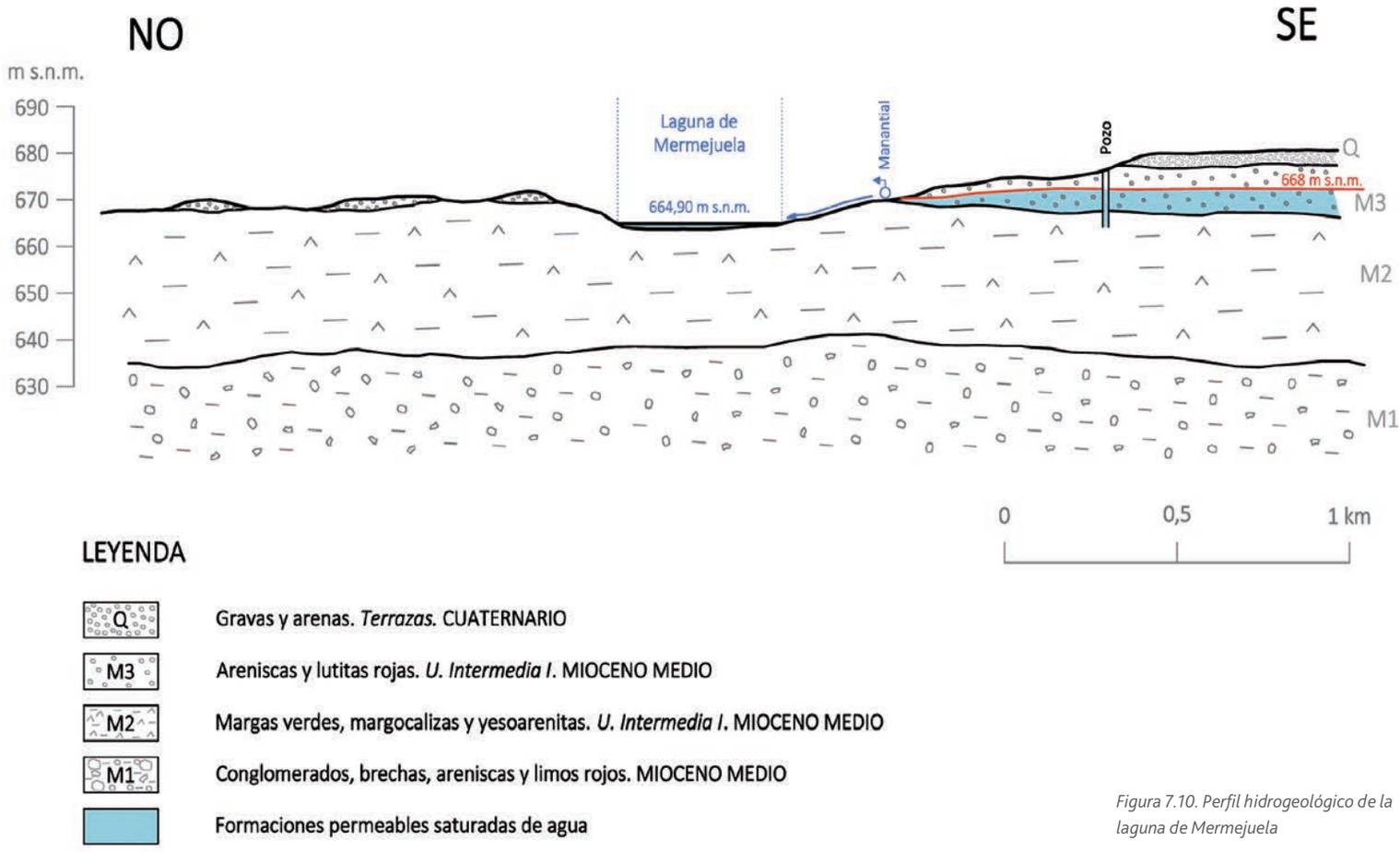


Figura 7.10. Perfil hidrogeológico de la laguna de Mermejuela

En posición infrayacente a las anteriores formaciones, y a veces en cambio lateral de facies, se encuentra un horizonte de unos 20 m de espesor compuesto por margas y margo-calizas yesíferas de edad Mioceno medio (M2). Finalmente, bajo estos sedimentos aparece un tramo de igual edad y permeabilidad media compuesto por unos 40 m de conglomerados, brechas, areniscas y limos (M1).

La configuración geológica referida ha dado lugar al desarrollo de un pequeño acuífero instalado en las arenas y lutitas miocenas que es captado por algunos pozos debido a la escasa profundidad a la que se encuentra su zona saturada. Dicho acuífero drena de forma natural hacia el manantial que alimenta a la laguna (figura 7.10), cuya cota (666,2 m s.n.m.) se encuentra solamente 1,3 m por encima del fondo de ésta (664,9 m s.n.m.).

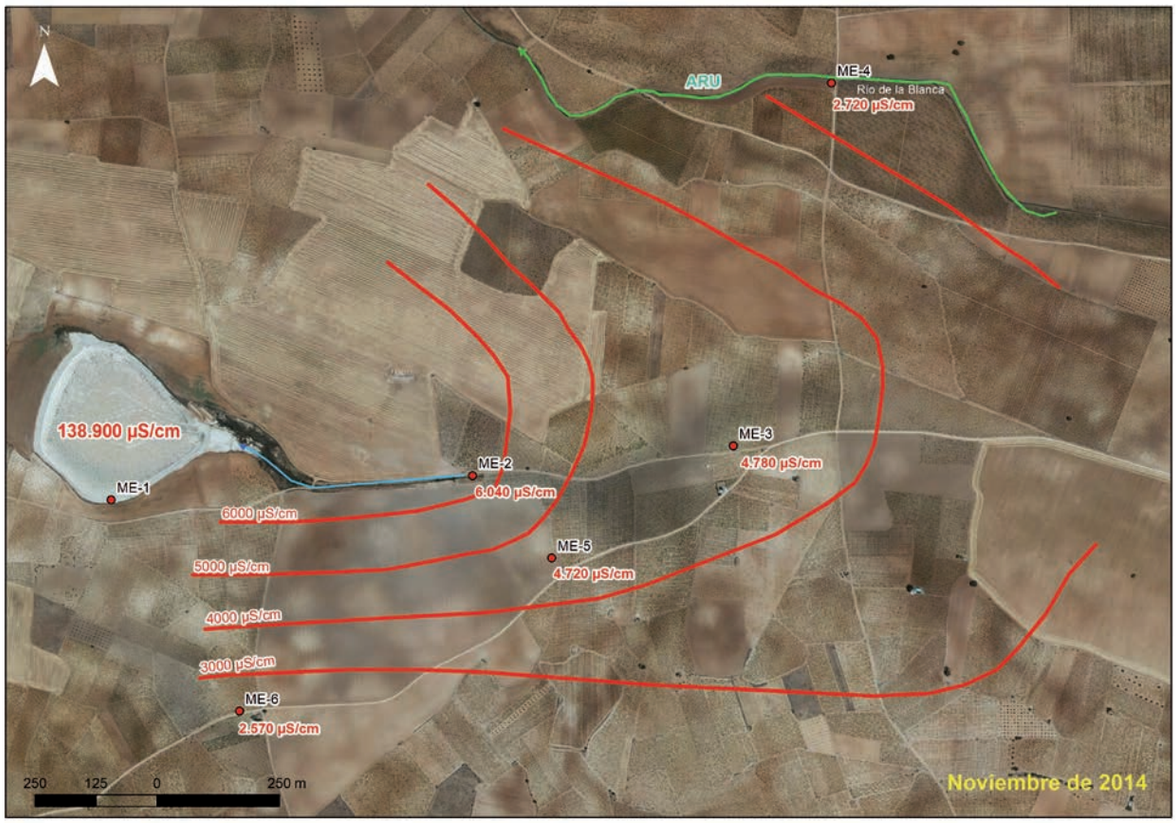
Las lecturas piezométricas realizadas en noviembre de 2016 en los pozos del entorno muestran un gradiente hidráulico muy bajo, del orden del 0,2%, coherente con el suave relieve de la zona (figura 7.11), con un sentido general del flujo subterráneo este-oeste, y según una morfología ligeramente concéntrica de las líneas equipotenciales hacia el mencionado manantial.

El impermeable de base del acuífero viene dado por las margas y margo-calizas con yesos, formación geológica de carácter netamente impermeable que, a su vez, constituye el receptáculo de la laguna y provoca la desconexión del referido acuífero con el horizonte permeable infrayacente (M1).

Las captaciones de agua subterránea presentan contenidos salinos poco aceptables para su uso agrícola, con CE entre los 2.700 y los 4.800 µS/cm durante la estación húmeda y hasta 7.500 µS/cm en la estación seca. En cuanto al manantial que alimenta a la laguna, la CE de sus aguas fluctúa normalmente entre los 6.000 y los 9.300 µS/cm, dependiendo de la época del año (figura 7.12).



Figura 7.11. Mapa piezométrico (m s.n.m.) y sentido del flujo subterráneo (noviembre de 2016) (IGN)



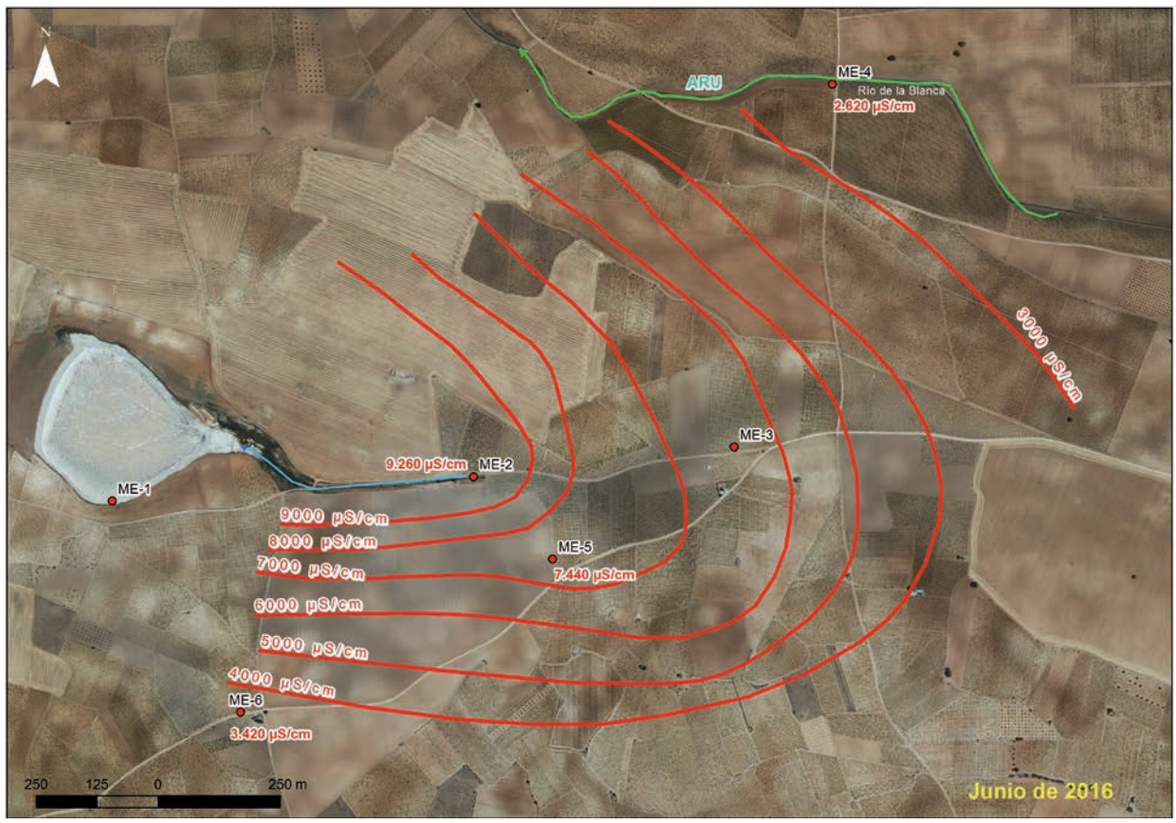


Figura 7.12. Mapas de isoconductividades eléctricas (µS/cm) de las aguas subterráneas (IGN). Arriba: estación húmeda. Abajo: estación seca

Hidroquímica

El agua de la laguna de Mermejuela es extremadamente salina y presenta una conductividad eléctrica (CE) de 138.900 µS/cm, muy superior a los valores hallados tanto en el manantial como en las aguas subterráneas del entorno, con valores máximos en este caso de 6.040 µS/cm. El pH medido en la laguna y en el manantial es de 8,05, valor ligeramente superior al medido en los pozos cercanos, con un pH medio de 7,58.

En esta misma línea se encuentran los sulfatos y los cloruros. Los primeros presentan un valor de 84.707 mg/L en la laguna, con valores entre 857 y 1.864 mg/L en las aguas subterráneas. Por su parte, los cloruros varían entre 152 y 798 mg/L en estas últimas, siendo de 108.639 mg/L en la laguna.

Los cationes sodio, magnesio y potasio se mantienen en proporciones similares a los aniones, esto es, en cantidades muy elevadas en la laguna frente a las registradas en las aguas subterráneas. Destaca el calcio, que en las muestras de 2014 aparece en proporciones bajas, mientras que en las del 2016 es muy superior al resto de cationes.

En consecuencia, la facies hidroquímica en la laguna es clorurada-sulfatada magnésica (figura 7.13), mientras que en el manantial y en las aguas subterráneas es sulfatada magnésica en 2014 y sulfatada cálcico-magnésica en 2016 (figura 7.14).

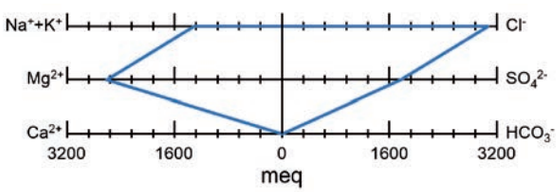


Figura 7.13. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna de Mermejuela. Fecha de análisis 25/11/2014

La tabla 7.12 recoge la comparativa entre los principales parámetros del agua de la laguna y los recogidos en la normativa que regula la calidad para aguas de consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero), por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

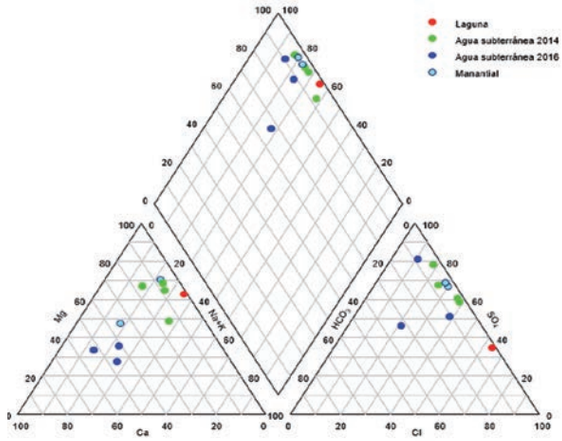


Figura 7.14. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de las muestras de la laguna de Mermejuela, manantial y de los pozos aledaños

La CE del agua de la laguna para el periodo diciembre de 2012 a junio de 2014 (figura 7.15), aunque con oscilaciones importantes, registra valores medios del orden de 237.000 µS/cm, con máximos cercanos a los 600.000 µS/cm en octubre de 2013 y mayo de 2014, seguidos de valores mínimos que rondan los 150.000 µS/cm. El valor mínimo se da al inicio de la serie, diciembre de 2012, con 115.000 µS/cm.

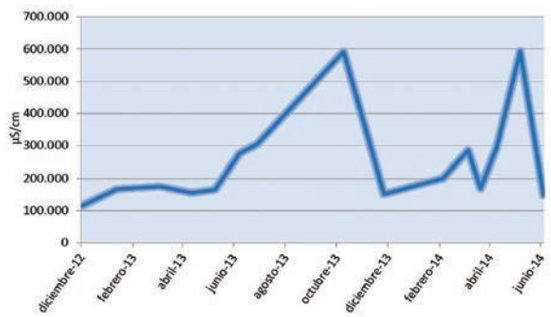


Figura 7.15. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna de Mermejuela entre diciembre de 2012 y junio de 2014

	Fecha de análisis			25/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA	
				Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	172	10
	Boro	B	mg/L	4,991	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	108.639	250
	Conductividad	CE	µS/cm	138.900	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	325	50
	pH	-	Ud de pH	8,05	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	29.927	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	84.707	250

Tabla 7.12. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

La laguna de Mermejuela, como otras de la región, es una zona húmeda hipersalina somera de carácter temporal en la que su vaso mantiene una pequeña lámina de agua de escasos centímetros durante buena parte del año, disimulada en parte por los depósitos salinos, que en periodos especialmente húmedos adquiere mayor relevancia. Por ello, el aspecto que presenta habitualmente es el de una superficie blanca formada por una costra de depósitos de sales que aparecen según una disposición en grandes tortas.

En cuanto a su funcionamiento hidrológico, y a diferencia de otras lagunas mesetarias, reúne unas características singulares. En este sentido, viene condicionado por la pequeña extensión de su cuenca vertiente y, por tanto, por la escasa entidad de la escorrentía de origen superficial. Por el contrario, la relación con las aguas subterráneas es muy estrecha, ya que sus aportes hídricos proceden esencialmente del manantial que surge unos 500 m hacia el este, conducidos hacia la laguna por medio de una canalización excavada en el terreno. Este esquema de funcionamiento está, sin duda, en el origen de la elevada salinidad de la laguna (hasta 600.000 µS/cm), y en la importante acumulación de sales existente, debido al elevado contenido en sulfatos (1.603 a 3.850 mg/L) y cloruros (485 a 1.110 mg/L) del agua del manantial, sometida posteriormente a una intensa evaporación. A este proceso tampoco es ajena la composición salina de la formación sobre la que se localizada el vaso del humedal.

En consecuencia, la laguna es alimentada básicamente por aguas subterráneas y por la precipitación directa, siendo muy baja la importancia de la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente. Como se comenta más adelante, el conjunto de estos aportes es drenado exclusivamente por evaporación.

Balance hídrico

Como se ha procedido para el conjunto de los ecosistemas estudiados, el balance hídrico se ha determinado mediante el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua a su vaso, según la metodología desarrollada en el proyecto Ecolake. Las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento (máx. 9,62 ha), a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (301 ha) y a los aportes de aguas subterráneas canalizados hacia la cubeta, mientras que las salidas son debidas únicamente a la evapotranspiración producida sobre la lámina de agua libre, limitada por el volumen de agua disponible en cada momento.

El análisis geológico de la cuenca vertiente, según las distintas formaciones aflorantes, ha arrojado como resultado un suelo de tipo B (tabla 7.11). Por su parte, la pendiente media calculada ha sido del 1,7%, es decir, inferior al 3% (figura 7.16), mientras que al uso de la tierra se le ha asignado la tipología de labor de secano con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 7.16). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

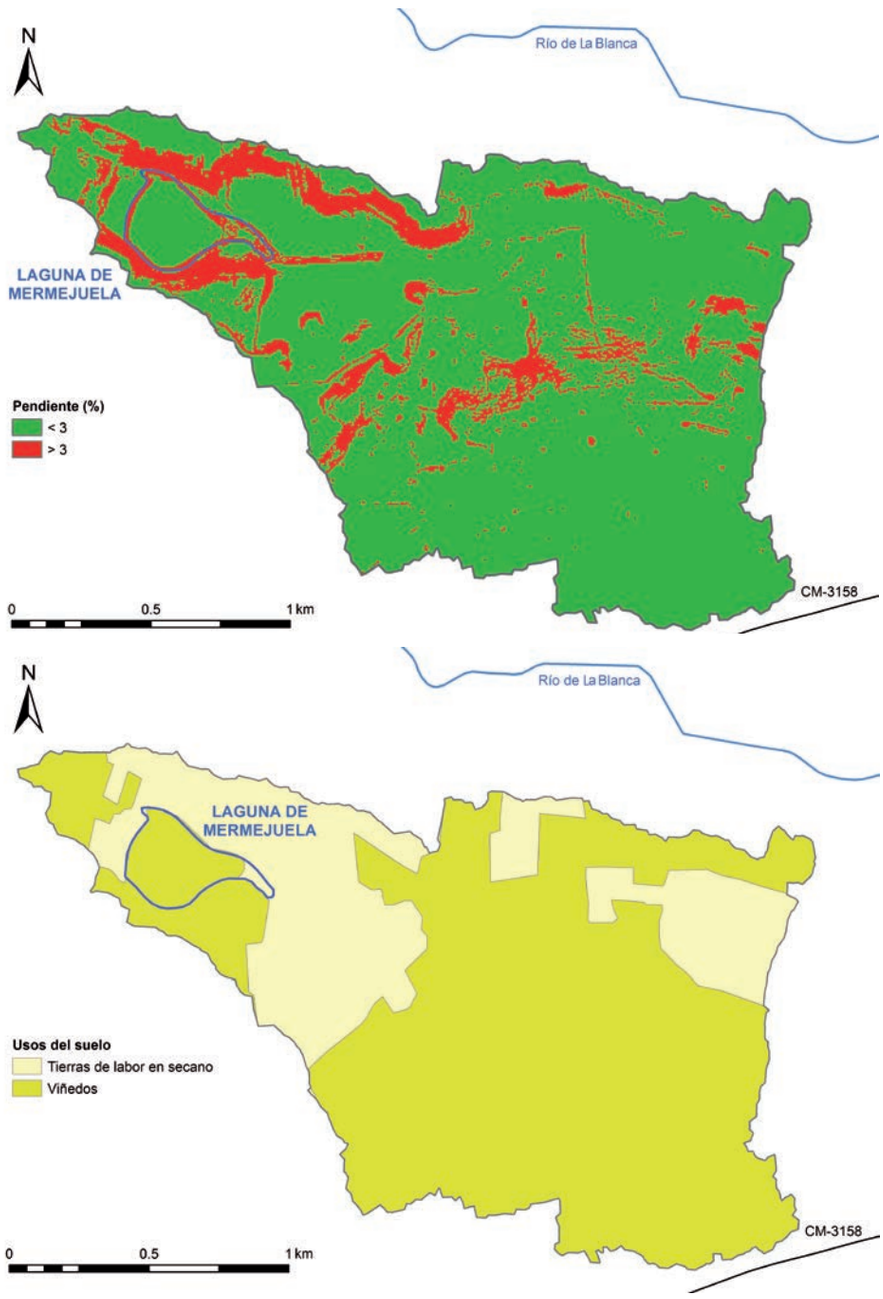


Figura 7.16. Cuenca hidrológica de la laguna de Mermejuela. Mapa de pendientes (arriba) y Mapa de usos del suelo (abajo) (Corine Land Cover 2012)

Los datos climáticos se han obtenido de la estación agroclimática de La Puebla de Almoradiel del SIAR (periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016). El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo que para este caso se ha elegido el valor kc=1, y para la determinación de la evaporación se ha tenido en cuenta la extensión de la lámina de agua de la laguna en cada momento.

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC *(Antecedent Runoff Condition)* 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=48, que se corresponde con un valor de CN I=29 para condiciones de humedad baja y CN III=68 para condiciones de humedad alta. Esto supone unos valores umbral de escorrentía (P_0) medio de 55,03 mm, con un máximo de 130,09 mm y un mínimo de 24,13 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 7.13).

Para la estimación de los aportes de aguas subterráneas, se ha establecido la relación entre la precipitación y el caudal del manantial que alimenta la laguna. En esta relación se ha tenido en cuenta la existencia de un tiempo de respuesta del manantial respecto a la lluvia debido al lento movimiento del agua a través de las formaciones geológicas. En consecuencia, y para su cálculo, los aportes del manantial se han considerado proporcionales a las precipitaciones ocurridas durante los 3 últimos meses, ajustando el coeficiente que define dicha relación a partir de los volúmenes obtenidos en la simulación del balance hídrico de la laguna, calibrados con las medidas limnimétricas del proyecto Ecolake (2012-2014). El valor arrojado por este coeficiente es de 0,02, es decir, el equivalente al 2% de la precipitación.

La batimetría de la cubeta se ha obtenido del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG, se ha determinado el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación, con pasos de altura de 0,02 m. Posteriormente, se han establecido y representado las líneas de tendencia de las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen (figura 7.17).

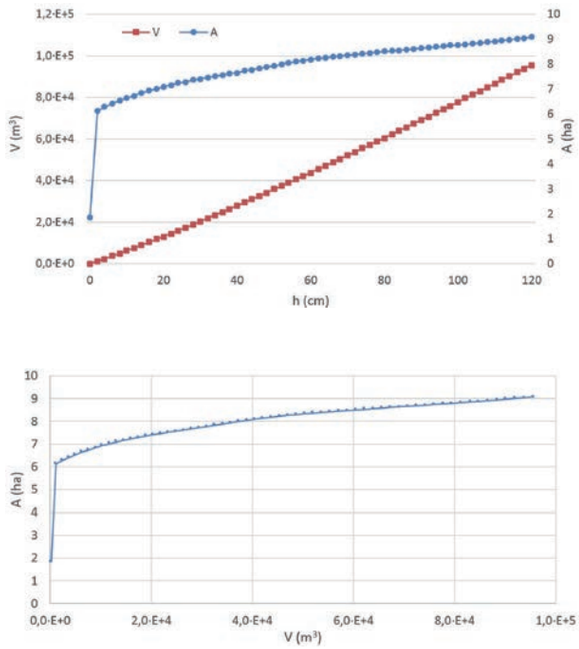


Figura 7.17. Laguna de Mermejuela. Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A) Abajo: relación entre área inundada (A) y volumen almacenado (V)

Los resultados de la simulación aplicada al periodo 2012-2014 muestran un comportamiento estacional, en el que la laguna normalmente está seca durante la temporada estival y almacena agua en los meses de invierno y primavera. En concreto, para el periodo referido, la laguna contiene volúmenes de agua considerables desde noviembre de 2012 hasta julio de 2013 (debido a un año hidrológico relativamente húmedo), y volúmenes menores entre enero y abril de 2014.

El balance hídrico medio anual obtenido para dicho periodo indica que la precipitación directa sobre la lámina de agua libre de la laguna es de 34.680 m^3 (61% del total de entradas), los aportes de aguas subterráneas suponen 21.239 m^3 (38%), mientras que la escorrentía generada en la cuenca vertiente representa solo 415 m^3 (1%), si bien solo se produce en el primer año hidrológico (2012/13).

Tabla 7.13. Cuenca de la laguna de Mermejuela. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
< 3	> 50% Labor de secano	Media baja	B	130,09	55,03	24,13

Año hidrológico	ENTRADAS				SALIDAS	Variación de volumen (m^3)
	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aguas subterráneas (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)	
2012/13	47.205	830	28.051	76.086	73.173	2.913
2013/14	22.155	0	14.426	36.581	39.494	-2.913
Media periodo	34.680	415	21.239	56.334	56.334	0

Tabla 7.14. Balance hídrico de la laguna de Mermejuela. Periodo 2012-2014

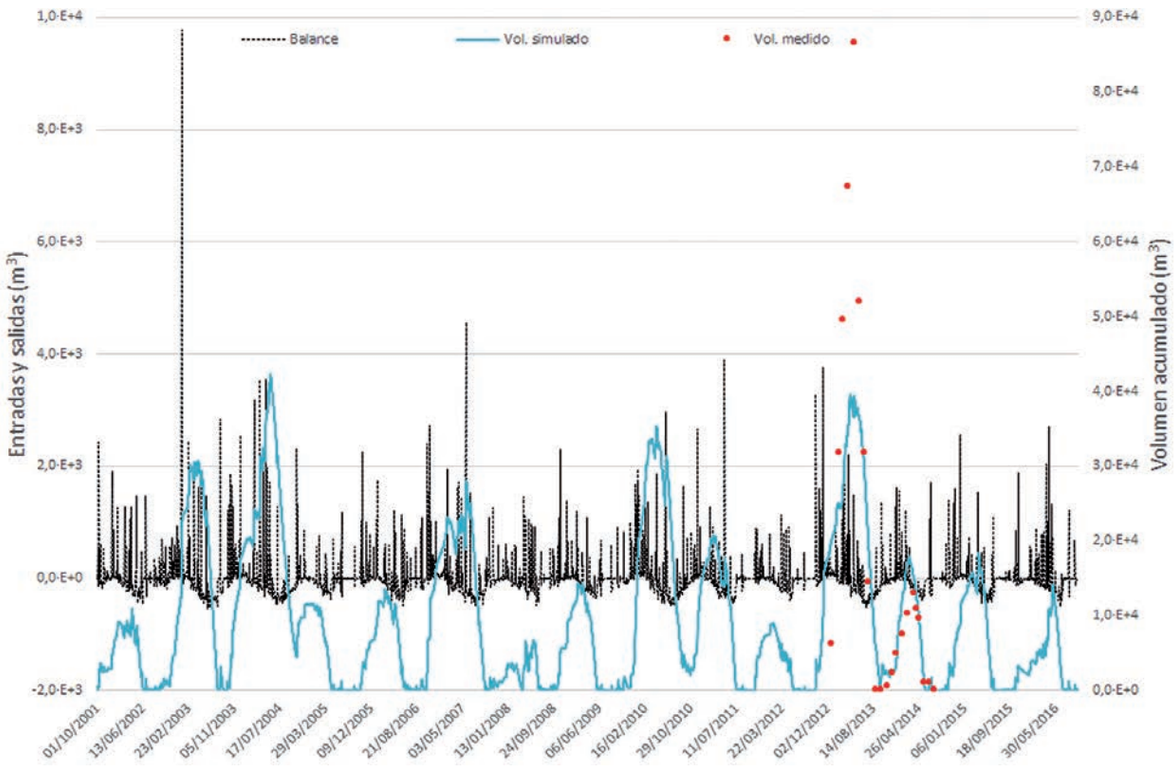


Figura 7.18. Simulación del balance hídrico para la laguna de Mermejuela. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

Por su parte, la evapotranspiración supone la pérdida de 56.334 m^3 (tabla 7.14).

Con los parámetros validados para el periodo de calibración se ha procedido a la determinación del balance hídrico hiperanual del humedal para un periodo de 15 años (2001-2016). En esta simulación se observa que la laguna consigue acumular un pequeño volumen de agua prácticamente todos los años hidrológicos gracias a los aportes de aguas subterráneas (figura 7.18).

Los resultados de la simulación muestran que la superficie máxima de inundación (81,34 ha) se alcanzó en el año hidrológico 2003/04 como resultado de un periodo excepcionalmente húmedo iniciado en octubre de 2003. El balance hídrico hiperanual (15 años) muestra que sus aportes se deben principalmente a precipitación directa (34.307 m^3/año, 63% de las entradas) y a las aguas subterráneas (20.484 m^3/año, 37% de las entradas), ya que los aportes por escorrentía representan menos del 1% (tabla 7.15).

DATOS			ENTRADAS				SALIDAS
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km^2)	Área media inundada (m^2)	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aguas subterráneas (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)
356,63	3,01	54.866	34.307	57	20.484	54.848	54.848

Tabla 7.15. Balance hídrico hiperanual de la laguna de Mermejuela. Periodo 2001-2016

Evolución visual del territorio

Las imágenes aéreas de los años 1957 y 2012 (figura 7.19) aportan testimonio de cómo el paso del tiempo, a pesar de los 55 años que las separan, apenas ha modificado ni el perímetro lagunar ni el entorno más cercano a la laguna, en gran medida achacable a su lejanía de los núcleos urbanos. Sólo algunos de los viales agrarios han sido ligeramente perfilados y mejorados, generando alteraciones puntuales del parcelario agrícola.

Las fotografías expuestas (figuras 7.20 a 7.25) muestran el carácter estacional del humedal y su rasgo más sobresaliente. Este es el de presentar durante los periodos secos una gruesa costra de sal agrietada y dispuesta en grandes tortas, con tonos blanquecinos, grisáceos y rojizos que en ocasiones se mimetizan con los de su entorno eminentemente agrícola.

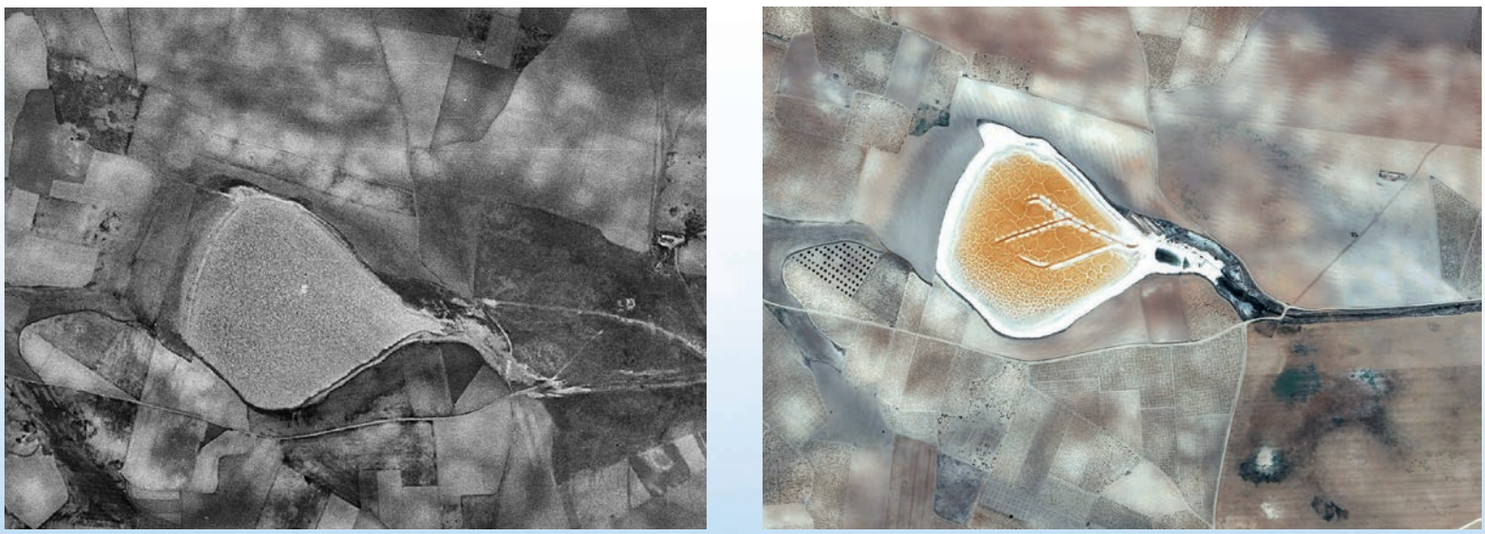


Figura 7.19. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 7.20. Laguna en época húmeda. Abril de 2018 (C. Camuñas)



Figura 7.21. Manantial que alimenta a la laguna de Mermejuela (C. Camuñas)

Figura 7.22. Laguna en febrero de 2018 (C. Camuñas)



Figura 7.23. Laguna en periodo estival en junio de 2016 (B.J. Ballesteros)

Figura 7.24. Laguna en julio de 2016 (C. Camuñas)



Figura 7.25. Restos de plásticos empleados en la explotación de sal (C. Camuñas)

Capítulo 8



LAGUNA DE SALICOR

CAMPO DE CRIPTANA (CIUDAD REAL)





8. LAGUNA DE SALICOR

SITUACIÓN GEOGRÁFICA, COORDENADAS Y ACCESOS

La laguna de Salicor, ubicada en el término municipal de Campo de Criptana en la provincia de Ciudad Real, se encuentra a unos 110 km al norte de esta ciudad y a otros tantos al sur de la de Toledo. Su localización es sencilla, si bien se encuentra algo alejada del núcleo urbano, del que dista 11 km (figura 8.1).

El acceso a la zona es libre. Para llegar a ella se debe tomar la carretera CM-310, que une Miguel Esteban y Alcázar de San Juan, y girar en sentido noroeste en la intersección existente en el p.k. 7,100, donde se

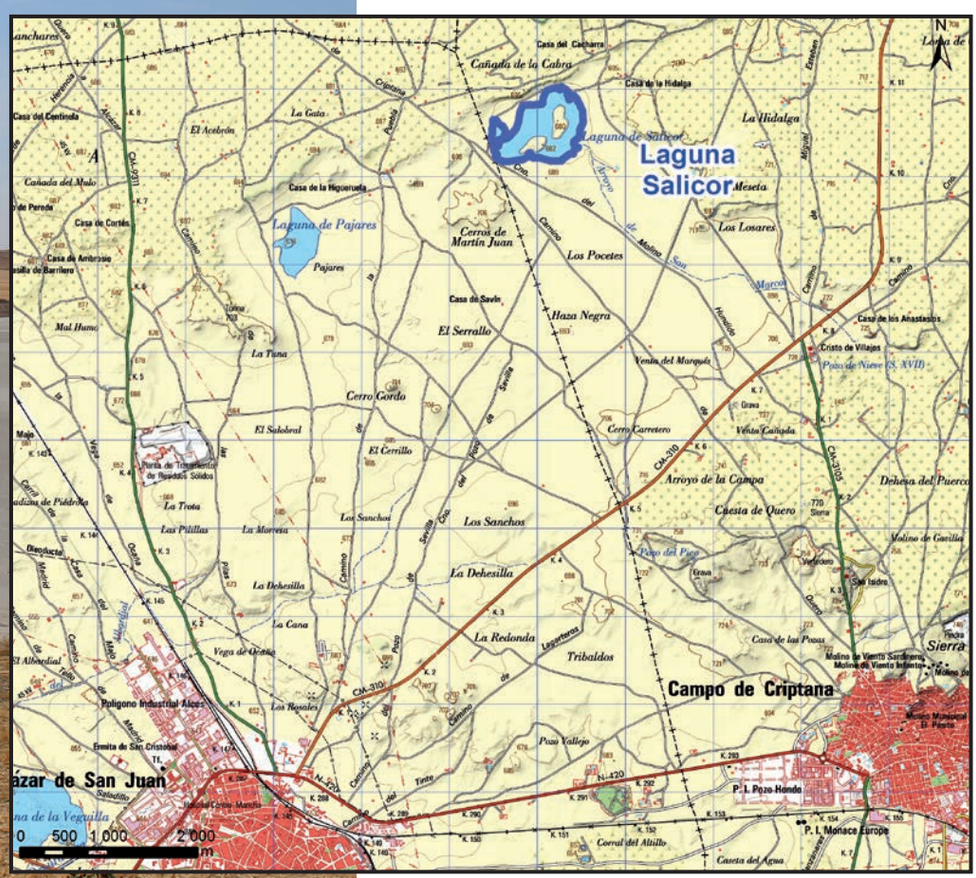


Figura 8.1. Situación geográfica de la laguna de Salicor (hojas 713 y 714 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)



Figura 8.2. Laguna de Salicor en el año 2012 (Archivo Fundación Global Nature)

inicia una vía pecuaria sin asfaltar denominada camino del Molino Hundido. A partir de aquí, y después de recorridos unos 4 km, se alcanza el humedal. Las coordenadas de su punto central son X: 485000, Y: 4368600 (UTM ETRS89 H30), y su altitud de 676,6 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

Con una dirección similar al camino del Molino Hundido, son varias las vías que circundan la laguna, entre las que destaca el camino de Quero. Por el oeste discurre el camino de los Carros de Madrid, mientras que el flanco norte está bordeado por la senda de los Cantareros que, al tener cierta elevación, proporciona una magnífica visión del humedal.

Características fisiográficas

El humedal, de carácter estacional y tipo endorreico, tiene un contorno suave que se asemeja a un rectángulo de esquinas redondeadas de 750 por 1.000 m de lado. El perímetro aproximado del vaso es de 6,7 km y la superficie máxima de inundación de 47,87 ha (Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021, BOE, 2016), siendo la característica más singular la presencia en su interior de dos islas que se elevan entre los 2 y los 3 m por encima de la zona inundable.

La morfología imperante en el territorio es la de una amplia llanura, si bien en ella destaca una lineación en el extremo norte del humedal que se alza unos 15 m sobre el vaso, así como también los denominados Cerros de Martín Juan, emplazados al suroeste. El suelo circundante es eminentemente agrícola, con parcelas de cultivos y vegetación esteparia restringida a los relieves más acusados (figura 8.2).

Normativa específica y figuras de protección

La laguna de Salicor forma parte de la Reserva de la Biosfera de "La Mancha Húmeda", declarada por la UNESCO en 1980. Además, está protegida por las figuras jurídicas de ámbito europeo incluidas en la Red Natura 2000, declarada Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Humedales de La Mancha". También, a nivel regional, fue declarada Reserva Natural por Decreto 183/2000 (tabla 8.1) y en la actualidad es propiedad de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA DE SALICOR
RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA
Declaración de la UNESCO de 30 de noviembre de 1980
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Humedales de La Mancha", código ES4250010 Zona de Especial Protección para las Aves Z.E.P.A. "Humedales de La Mancha", código ES0000091
RESERVA NATURAL
Decreto 183/2000, de 19 de diciembre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la laguna de Salicor, en Campo de Criptana (Ciudad Real), y se declara la Reserva Natural de la laguna de Salicor (DOCM nº 6, de 16-01-2001)

Tabla 8.1. Figuras de protección de la laguna de Salicor

Pese a la normativa de protección ambiental, el Plan de Ordenación del año 2000 de este paraje natural informa de la existencia de factores de alteración reseñables. Es el caso de la red de caminos de servicio para la actividad agrícola, que supone un factor de perturbación importante debido a su excesiva densidad y a que discurren próximos a la laguna e, incluso, también sobre su propio vaso, junto a las zonas más frecuentadas por las aves esteparias. Esta actividad origina molestias a la avifauna y provoca la degradación del hábitat. Por otro lado, en la cuenca vertiente existen zanjas de drenaje para la desecación de terrenos encharcados, y la cubeta lagunar se encuentra sometida a un fuerte proceso de colmatación debido a la roturación de pastizales y a la extensión de los cultivos hasta el mismo borde del área encharcada.

Climatología

Las características climáticas se han determinado a partir de una estación virtual confeccionada con los datos de las estaciones meteorológicas CR08, Herencia, y TO10, La Puebla de Almoradiel, ambas pertenecientes a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha (tabla 8.2).

La precipitación media anual de la zona en los últimos 15 años (2001/02-2015/16) ha sido de 348,2 mm, con un máximo de 554,9 mm en el 2003/04 y un mínimo de 151,7 mm en el 2004/05. A escala diaria el hecho más destacable es un episodio de lluvia torrencial ocurrido el 16 de enero de 2003 en el que se acumularon 50,3 mm en un solo día.

Los registros mensuales reflejan que en todos los meses se superan los 30 mm de lluvia, salvo en los de verano (junio, julio, agosto y septiembre) y el mes de enero con 28,9 mm, siendo el más húmedo el de abril y el más seco el de julio con valores de 49,7 mm y 3,8 mm, respectivamente (tabla 8.3). En este periodo la precipitación máxima acumulada en un solo mes fue de 122,6 mm (diciembre de 2009).

Los registros climáticos anteriores a los de la estación virtual desarrollada se han obtenido de la estación meteorológica Miguel Esteban (nº 4062), de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que cuenta con un lapso temporal de 40 años desde 1960/61 a 1999/2000 (tabla 8.4). Un análisis comparativo de los datos muestra que la precipitación media anual en los últimos 15 años ha sufrido un descenso de 31 mm respecto a los 40 años precedentes.

Por su parte, la temperatura media anual es de 14,1 °C (tabla 8.5) y las medias de las máximas y mínimas diarias de 21,3 °C y 6,8 °C, respectivamente.

Valores ambientales

Valoración global

Salicor es una laguna endorreica estacional hipersalina ubicada en una depresión pseudokárstica, siendo la única importante del término municipal de Campo de Criptana. En contraste con la mayoría de lagunas de su entorno, presenta dos islas en su interior, constituidas por sedimentos eólicos, que adquieren especial interés como potencial asentamiento para la avifauna.

DATOS DE LAS ESTACIONES		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
CR08	Herencia	471540	4358890	659	01/10/2001	30/09/2016
TO10	La Puebla de Almoradiel	488433	4384582	698	01/10/2001	30/09/2016

Tabla 8.2. Datos de ubicación y periodo de registro temporal empleado (SIAR)

PRECIPITACIÓN (mm)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**348,2**	**1,0**	**28,9**	**30,4**	**36,8**	**49,7**	**37,2**	**19,8**	**3,8**	**6,2**	**19,1**	**46,0**	**35,1**	**35,3**
Máxima absoluta	554,9	50,3	71,2	71,9	110,2	101,7	107,7	68,5	10,4	21,4	43,1	94,7	90,4	122,6
Fecha	2003/04	16/01/2003	2003	2014	2013	2016	2004	2010	2004	2003	2012	2003	2012	2009
Mínima absoluta	151,7	0,0	0,7	1,9	8,0	12,2	1,5	1,5	0,0	0,0	2,0	23,5	9,0	2,5
Fecha	2004/05	-	2005	2002	2005	2005	2015	2012	2009	Varios años	2011	2009	2009	2015

Tabla 8.3. Valores de precipitación más relevantes registrados en la estación termo-pluviométrica virtual a partir de las estaciones CR08 Herencia y TO10 La Puebla de Almoradiel (SIAR)

Tabla 8.4. Datos de ubicación, registro temporal y valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica nº 4062 Miguel Esteban (AEMET)

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
4062	Miguel Esteban	493148	4375116	681	1960/61	1999/2000

PRECIPITACIÓN (mm)		
	Precipitación anual	Fecha
Media	**379,2**	1960/61 - 1999/2000
Máxima absoluta	614,3	1961/62
Mínima absoluta	204,2	1994/95

Tabla 8.5. Valores de temperatura más relevantes registrados en la estación termo-pluviométrica virtual a partir de las estaciones CR08 Herencia y TO10 La Puebla de Almoradiel (SIAR)

TEMPERATURA (°C)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**14,1**	**-**	**4,5**	**5,7**	**9,1**	**12,4**	**16,7**	**22,4**	**25,5**	**24,7**	**20,0**	**14,6**	**8,2**	**4,7**
Máxima media	21,3	-	10,7	12,3	16,0	19,3	24,1	30,6	34,2	33,4	28,0	21,8	14,6	11,0
Mínima media	6,8	-	-0,7	-0,3	2,3	5,4	8,6	13,4	15,4	15,3	11,9	8,1	2,7	-0,4
Máxima absoluta	-	42,3	20,4	25,9	25,9	29,9	38,5	39,8	41,1	42,3	39,6	32,9	26,1	19,2
Fecha	-	10/08/12	27/01/03	24/02/14	31/03/15	08/04/11	17/05/06	29/06/15	06/07/15	10/08/12	07/09/16	02/10/04	01/11/09	15/12/15
Mínima absoluta	-	-12,3	-11,7	-8,4	-8,3	-2,8	0,0	4,5	5,3	7,2	2,6	-2,8	-9,5	-12,3
Fecha	-	15/12/09	28/01/05	23/02/12	09/03/05	02/04/16	19/05/11	01/06/13	31/07/08	21/08/04	19/09/05	27/10/10	17/11/07	15/12/09

Biodiversidad: flora y fauna

El entorno inmediato del ecosistema resulta ser bastante selectivo en la flora debido a la elevada salinidad y a la reducida disponibilidad hídrica. Las formaciones de vegetación halófila distribuidas en su cinturón vegetal están muy asociadas al hábitat de interés comunitario prioritario 1510, esto es, a las estepas salinas mediterráneas *(Limonietalia)* (De La Cruz, 2009). En estas zonas abundan especies de plantas, algunas endémicas, del género *Limonium*, así como el almajo dulce (*Suaeda vera*; figura 8.3), las cuales presentan una cierta zonación en función de la proximidad a la cubeta y, por tanto, del grado de salinidad.

En cuanto a la avifauna, la laguna resulta importante para algunas especies de anátidas (Gosálvez *et al*., 2012), como la malvasía cabeciblanca (*Oxyura leucocephala*) o el porrón europeo (*Aythya ferina*), también



Figura 8.3. Almajo dulce (C. Rochera)



Figura 8.4. Cerceta pardilla (R.U. Gosálvez)

denominado porrón común. Está considerada como dormidero en época de migración de especies invernantes como la grulla común (*Grus grus*) (Prieta y Del Moral, 2008) o bien de especies poco comunes en la región, como la cerceta pardilla (*Marmaronetta angustirostris*; figura 8.4), la cual no nidifica en la zona desde los años 70 (Gosálvez *et al.*, 2012).

Biodiversidad microbiana y del plancton

El plancton de la laguna muestra una comunidad moderadamente diversa pero representativa de estos medios. El análisis de la composición pigmentaria de la comunidad del fitoplancton llevado a cabo durante el proyecto Ecolake permite reconocer un general dominio de las algas clorofíceas. En particular, cabe destacar la mención hecha en informes de la Confederación Hidrográfica del Guadiana a la presencia de la especie de clorofícea cocal planctónica *Lobocystis inconspicua*, para la cual sólo existía una cita previa en la laguna salina albaceteña de Mojón Blanco (Fanés *et al.*, 2010) que constituyó el hallazgo de una nueva especie para la ciencia. También es de resaltar la presencia de pigmentos marcadores de bacilariofíceas (diatomeas) que podrían tener un origen más bien bentónico (tycoplankton). Por otra parte, y al igual que en otras lagunas hipersalinas del entorno, hay descripciones sobre una comunidad del zooplancton dominada por copépodos, tanto al inicio como al final del ciclo hidrológico (Boronat *et al.*, 2001), con una baja proporción de cladóceros, entre los que destaca *Alona salina*. En lo referente al dominio de copépodos, coincide con observaciones más actuales realizadas por la Universidad de Valencia durante el proyecto Ecolake. Por otra parte, estudios recientes, también dentro del contexto de dicho proyecto, muestran a su vez una comunidad de ostrácodos dominadas por especies cosmopolitas como *Heterocypris barbara*, o de distribución más restringida como *Candelacypris aragonica* (Castillo-Escrivà *et al.*, 2017).

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos más destacables de esta laguna son:

- Servicios de abastecimiento: materias primas de origen mineral, acervo genético.
- Servicios de regulación: climática, hídrica y de ciclos biogeoquímicos.
- Servicios culturales: conocimiento científico, identidad cultural, disfrute estético, ecoturismo, educación ambiental.

Estado ecológico e impactos

El tipo de contaminación que afecta de forma más relevante a la laguna proviene de la actividad agrícola, principalmente por la disolución de fertilizantes (Serrano, 2015), si bien su afección parece ser de grado bajo. No obstante, la superficie de la vegetación natural en la cuenca vertiente se ha visto muy mermada por la puesta en cultivo los lechos y cauces que confluyen en el humedal, lo que ha provocado que los periodos en los que la laguna se encuentra seca se hayan prolongado en el tiempo. Otros trabajos mencionan el sobrepastoreo como una causa adicional de la alteración (Florín, 2001), aunque su efecto no parece ser excesivo. Cabe destacar, como una medida para recuperar el ambiente palustre original, la iniciativa llevada a cabo por el proyecto LIFE10 NAT/ES/000563 denominado: "Restauración de albardinales y estepas salinas en los humedales de La Mancha", una de cuyas actividades es la compra de parcelas de esta reserva natural.

El régimen trófico de la laguna oscila entre mesotrófico y eutrófico atendiendo a las concentraciones de clorofila medidas durante el proyecto Ecolake (2012-2014). No obstante, podría ser una apreciación excesivamente negativa, ya que parte de estas concentraciones responden a la resuspensión de biomasa algal presente en el bentos, favorecida por el viento y por las características morfológicas del ecosistema. En este sentido, las concentraciones de nutrientes mayoritarios suelen estar alejadas de niveles críticos de eutrofización según los criterios de la OCDE. Así, por ejemplo, la cantidad de nitrato no suele ser superior a los 2 mg/l, como se ha observado tanto durante el proyecto Ecolake como en estudios anteriores (Álvarez *et al.*, 2016). Lo mismo puede decirse del fósforo, cuyas concentraciones en su forma disuelta no superan generalmente los 0,1 mg/l.

Valores históricos y culturales

Historia

El humedal de Salicor, situado al norte del Santuario de Villajos en la denominada Huerta de Treviño, ha sido a lo largo de la historia un paraje estratégico donde se han asentado diferentes culturas para aprovechar los recursos que este territorio ofrecía a sus moradores.

De la Edad del Bronce, o principios del Hierro, es el yacimiento "El Montón de Trigo" (figura 8.5), nombre de un cerro de forma cónica situado entre la laguna y la ermita del Cristo de Villajos. En las faldas de este relieve

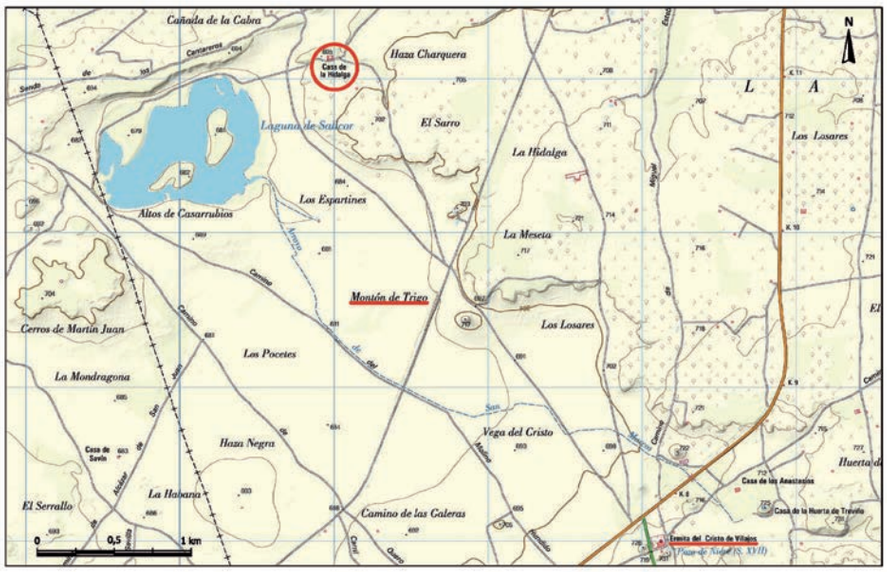


Figura 8.5. Entorno topográfico de la laguna de Salicor con los yacimientos de La Hidalga, Montón del Trigo y Villajos (modificado de Cartografía del Instituto Geográfico Nacional MTN25)

se han encontrado restos cerámicos que van desde el Campaniforme hasta la Edad Media, siendo los más abundantes los correspondientes al Bronce II y Hierro.

Junto a la laguna, y en la finca del mismo nombre, descansa el yacimiento de La Hidalga (figura 8.5), muy próximo a los restos de las estructuras que Antonio Blázquez en 1916, identificó como la ciudad prerromana de Alces: *"Continuando por el camino de Santa Brígida, se llega a la laguna de Salicor, situada muy cerca de los linderos de Campo de Criptana, Alcázar, Quero y Miguel Esteban, y en su parte oriental, pero a menos de medio kilómetro, hay, en la finca denominada La Hidalga, un cerro de escasa elevación, alargado en el sentido de Este a Oeste, en cuya parte superior se divisan varios cimientos en líneas casi rectas de bastante longitud, como si correspondieran a toscas alineaciones de calles de un pueblo destruido. En las laderas es donde con más frecuencia se encuentran monedas y objetos romanos e ibéricos. La cerámica es tosca, negra y roja; siendo del mismo tipo que otros de Numancia"* (Blázquez y Sánchez, 1917).



Figura 8.6. Planta de salicor que da nombre al humedal (Archivo Fundación Global Nature)

Dicha ciudad fue citada por el historiador Tito Livio en su historia sobre las guerras celtibéricas, por lo que este investigador centró sus trabajos en la comarca al determinar que Salicor se encuentra al norte de la importante calzada romana que unía Laminium con Titulcia. Esta discurría por el borde occidental de Campo de Criptana y pasaba por Alces (yacimiento de La Hidalga), entre el margen oriental del humedal y la ciudad. El referido arqueólogo, en su informe de 1917 sobre esta vía, expone: *"No cabe, por consiguiente, dudar que las ruinas de La Hidalga corresponde a Alces, ciudad que fue sitiada por Sempronio Graco en el año 180 antes de la Era Cristiana, siendo en aquellos tiempos una ciudad indígena importante".*

Industria de la barrilla

La actividad de mayor relevancia asociada al entorno lagunar ha sido la plantación de salicor, *Sarcocornia fruticosa*, también conocida como hierba del jabón (figura 8.6). Madoz (1850), en su diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico, la incluye en la relación de productos del municipio: "*produce trigo, centeno, cebada, aveno, azafrán, salicor, garbanzos, legumbres y hortalizas, muchas y esquisitas frutas, aceite, buen vino…".*

Aunque no existen referencias escritas, se ha transmitido por tradición oral que el salicor de la laguna se utilizaba en otras épocas para fabricar jabón. Así, la obtención de sosa permitió el desarrollo de una incipiente industria, llegando a existir en el municipio algunas pequeñas jabonerías de carácter más o menos artesanal. Por otra parte, la actual calle Luna de la localidad de Campo de Criptana era denominada en siglos anteriores como calle de la Jabonería, toponimia atribuida a la existencia de un taller dedicado a la elaboración de este producto.

CONTEXTO SOCIOECONÓMICO

Campo de Criptana cuenta con una población de 14.387 habitantes (INE, 2014) y una extensión de 302,41 km^2, lo que supone una densidad de 47,57 hab/km^2 (figura 8.7). El nivel de estudios predominante entre sus habitantes es el de segundo grado (43,3%), seguido de los que carecen de ellos (22,3%) y de los de primer grado (19,9%), siendo el minoritario el de analfabetos (3,9%) (tabla 8.6).

NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	**%**
Analfabetos	390	*3,9*
Sin estudios	2.222	*22,3*
1er Grado	1.981	*19,9*
2º Grado	4.303	*43,3*
3er Grado	1.049	*10,5*
TOTAL	**9.945**	***100***

Tabla 8.6. Nivel de estudios (Censo de Población y Vivienda 2011. INE)

La actividad económica tiene su eje principal en el sector servicios, con un 57,7% de empresas, le sigue la agricultura con un 18,8%, la construcción con un 14,2% y la industria con un 9,3% (tabla 8.7).

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	**%**	**Nº de empresas**	**%**
Agricultura	444	*12,6*	95	*18,8*
Industria	467	*13,3*	47	*9,3*
Construcción	661	*18,9*	71	*14,2*
Servicios	1.944	*55,2*	291	*57,7*
TOTAL	**3.516**	***100***	**504**	***100***

Tabla 8.7. Empresas y afiliación en Campo de Criptana (Tesorería General de la Seguridad Social 2014)

En consecuencia, los trabajadores afiliados al sector servicios son los más numerosos (55,2%), seguidos de los del sector construcción (18,9%) y de los sectores industrial y agrícola, que son los minoritarios (13,3% y 12,6% respectivamente). La evolución ocupacional (tabla 8.8) en el lapso temporal entre 2009 y 2014 experimenta un incremento en el número de parados, con datos muy similares en los últimos dos años.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº de parados	1.184	1.475	1.527	1.736	1.942	1.944

Tabla 8.8. Desempleados (Paro municipal registrado. SPEE)

En cuanto al territorio (tabla 8.9), la mayor parte del término municipal está ocupado por cultivos (93,3%), con predominio de los herbáceos (49,5%) y de viñedos (44,3%), siendo minoritaria la presencia de olivar (5,8%) y casi testimonial la de frutales (0,4%).

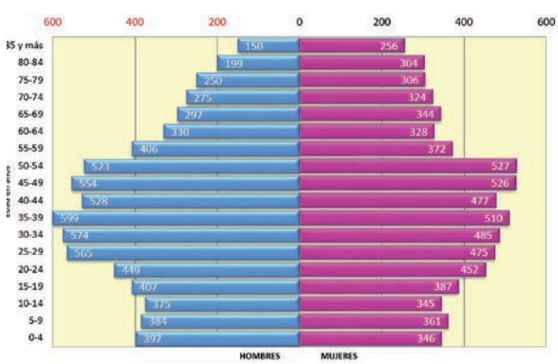
EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		**%**	
Labradas	Herbáceos	24.793	12.272	*93,3*	*49,5*
	Frutales		89		*0,4*
	Olivares		1.450		*5,8*
	Viñedos		10.982		*44,3*
Pastos		352		*1,3*	
Otras		1.429		*5,4*	
TOTAL		**26.574**		***100***	

Tabla 8.9. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2009, INE)

Por otro lado, en el municipio predomina la avicultura y la ganadería ovina (41,3% y 40,3% respectivamente), mientras que el ganado caprino ocupa el tercer lugar (18,1%), siendo el porcentaje restante para los bovinos (0,3%) (tabla 8.10).

CABEZAS DE GANADO		
	Nº de cabezas	**%**
Bovinos	32	*0,3*
Ovinos	3.930	*40,3*
Caprinos	1.763	*18,1*
Porcinos	0	*0,0*
Aves	4.023	*41,3*
Equinos	2	*0,0*
TOTAL	**9.750**	***100***

Tabla 8.10. Cabezas de ganado (Censo Agrario 2009, INE)



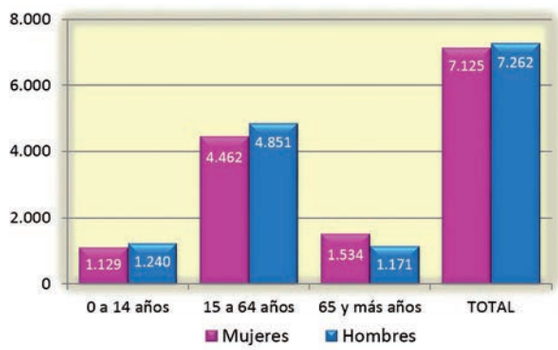


Figura 8.7. Pirámide (izquierda) y Grupos de población de Campo de Criptana (derecha) (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha 2014. Padrón Municipal de Habitantes a 1 de enero 2014. Instituto Nacional de Estadística, INE)

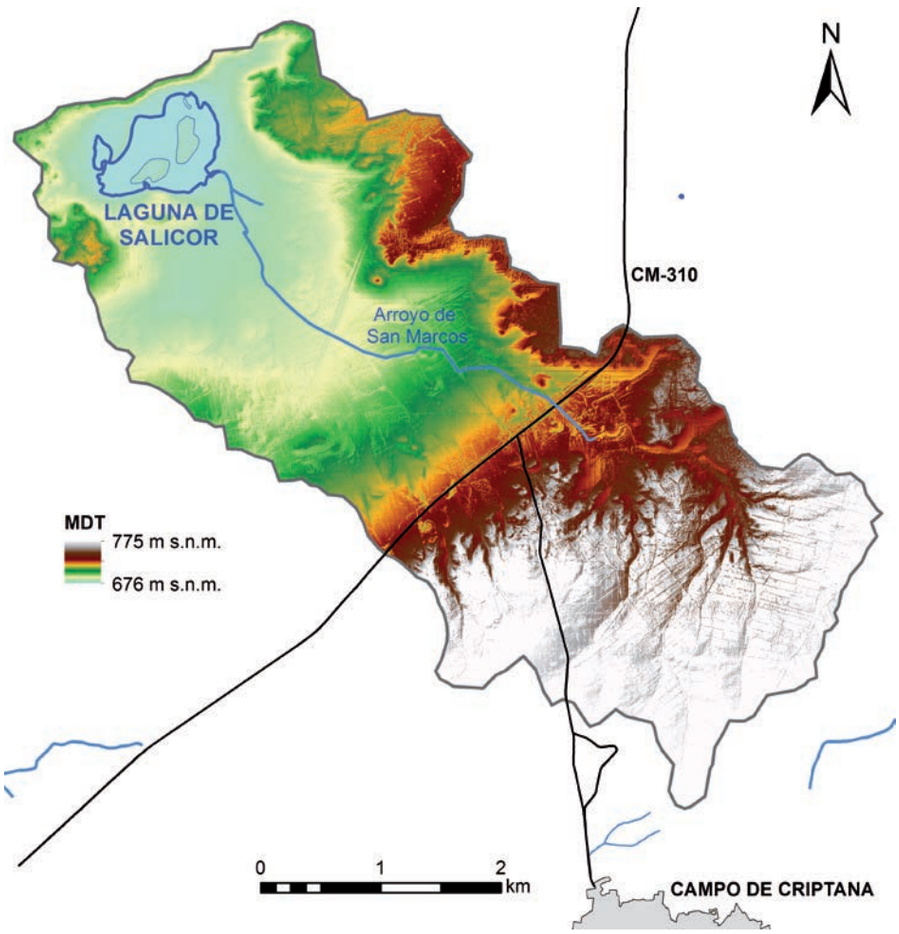
Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna de Salicor, situada dentro de la cuenca alta de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, constituye un área de carácter endorreico localizada al norte de la subcuenca del arroyo de Albardial y al sur de la del arroyo de la Sangría, ambos afluentes del río Gigüela por su margen izquierda. También hacia el suroeste, y a 2.180 m de distancia, se encuentra una pequeña zona endorreica en el centro de la cual se ubica la laguna de Pajares.

En cuanto a su cuenca vertiente, se extiende sobre los términos municipales de Campo de Criptana y, de forma casi testimonial, de Alcázar de San Juan, con una superficie cercana a 2.001 ha (figura 8.8).

La morfología del área vertiente es alargada, con un flujo en sentido sureste-noroeste y una relación de 42 entre el área total de la misma y la de la propia laguna. Su relieve es relativamente suave, con menos de 100 m de diferencia entre las cotas más elevadas (774,6 m s.n.m.), localizadas en su tercio sur, y el fondo de la cubeta donde se encuentra la zona húmeda (676,1 m s.n.m.), siendo la altitud media de 712,8 m s.n.m.

Figura 8.8. Cuenca hidrológica de la laguna de Salicor



En cuanto a las características morfológicas de la propia laguna, su vaso presenta un cierto encajamiento, especialmente por el norte donde existe una pequeña ladera de pendiente abrupta. Al este y oeste, si bien el relieve es más suave, se obtienen diferencias de cotas superiores a los 16 m respecto al fondo de la misma. Por otra parte, también es de resaltar la existencia de dos islas dentro de la cubeta.

La pendiente media del área vertiente es del 3,8%, si bien predominan las inferiores al 3%, con una mediana del 2,1%. En consecuencia, la mayor parte de sus límites son de difícil determinación y en parte vienen condicionados por la presencia de otras zonas endorreicas colindantes, como la de la laguna de Pajares al oeste.

Referente a su red hidrográfica, únicamente se distingue el arroyo de San Marcos, que nace cerca del cerro del Cristo y recorre algo más de 4 km hasta su confluencia con la laguna de Salicor. El resto de la red de drenaje consiste en pequeñas vaguadas apenas distinguibles sobre el terreno que recogen los aportes generados por la precipitación del agua de lluvia, principalmente sobre los relieves de la zona sur, canalizados hacia el humedal a través del mencionado arroyo.

Geología

La representación geológica de los materiales que constituyen la cuenca hidrológica de la laguna de Salicor no es demasiado amplia comparada con otras de su entorno. El lapso temporal de sus formaciones queda representado prácticamente en su totalidad por el Triásico superior y el Jurásico inferior (Lías), con retazos pliocenos y sedimentos cuaternarios producto de la acción erosiva y descomposición de los sedimentos preexistentes. Los afloramientos triásicos se extienden a lo largo de casi dos terceras partes de la superficie de la cuenca, cubriendo sus zonas central y occidental, mientras que en el sector más meridional aparecen sedimentos jurásicos que se prolongan a lo largo del borde este (figura 8.9). Por último, las formaciones pliocuaternarias se distribuyen a lo largo de la cuenca de forma irregular y en afloramientos de muy escasa extensión.

Dentro del contexto geológico descrito, la laguna de Salicor se asienta sobre la formación del Trías en facies Keuper, cuya potencia supera ampliamente el centenar de metros. Se trata de una formación compuesta por arcillas de tonos rojizos con abundancia de cristales especulares de yeso incoloros o con tonalidades violáceas, en la que también son comunes intercalaciones de escaso espesor de areniscas y conglomerados, depositada en ambiente de llanura evaporítica.

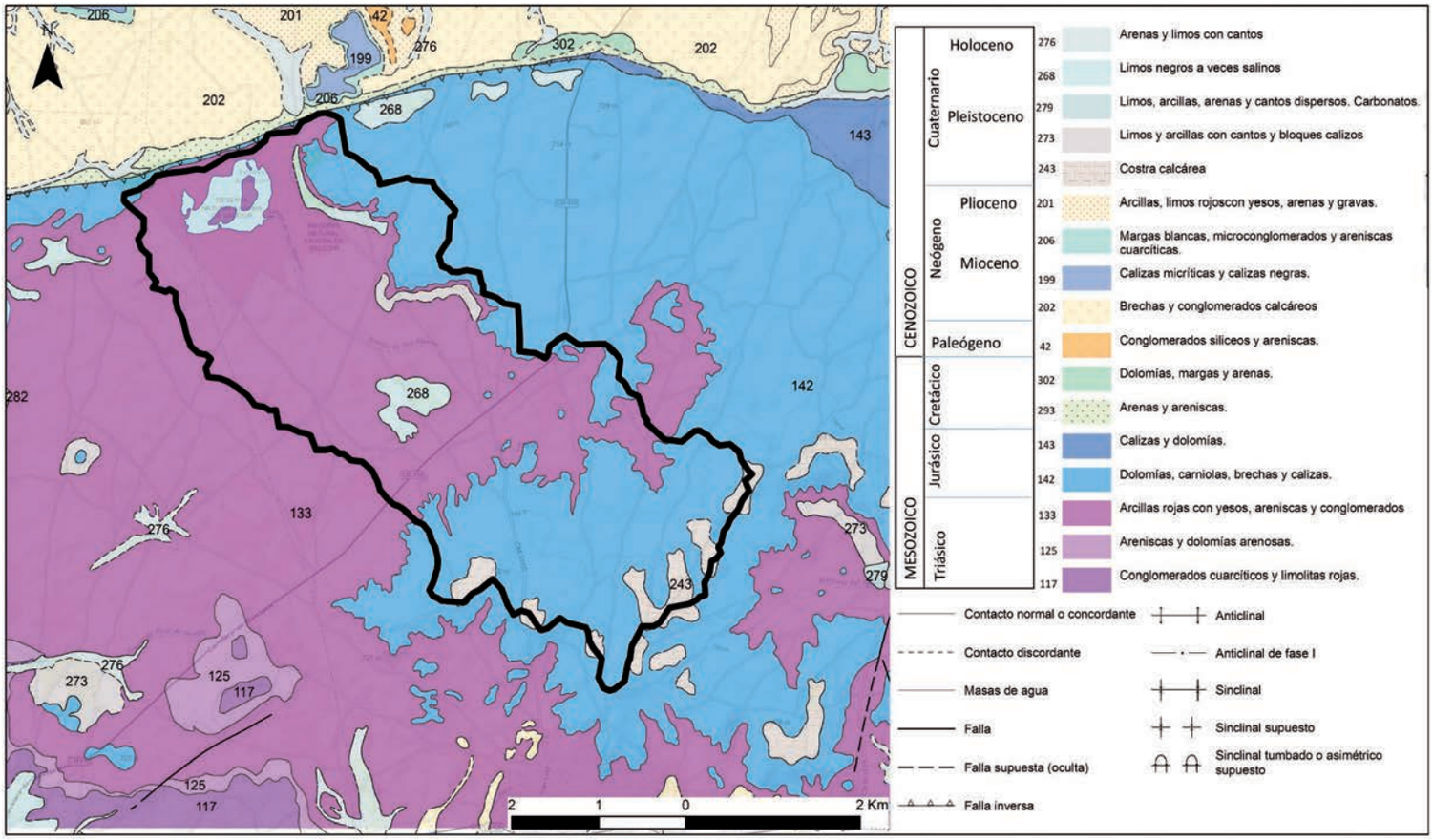


Figura 8.9. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de Salicor (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

Cronológicamente más modernos, y dispuestos sobre las arcillas anteriores, aparecen los sedimentos correspondientes al Lías inferior constituidos por dolomías tableadas compactas, homogéneas y duras, en bancos de espesor centimétrico. Su color predominante es el beige, aunque pueden adquirir tonos grises e incluso rosados. Sobre estos depósitos suelen aparecer brechas de cantos angulosos y subredondeados dentro de una matriz dolomítica de colores similares.

La representación de los sedimentos de edad Pliocena es muy escasa y queda restringida a la zona sur de la cuenca hidrológica. Son materiales integrados por carbonatos blanquecinos que han sufrido episodios de encostramiento y a veces llegan a formar brechas calcáreas, lo que atestigua la acción de las fuertes escorrentías esporádicas en la zona y dejan evidencia de su formación. En cuanto a los sedimentos cuaternarios, los coluviones que cubren algunas laderas cercanas al flanco oeste de la cuenca corresponden a cantos y bloques calizos embutidos dentro de una matriz limo-arcillosa, mientras que las arcillas y limos negros propios de zonas endorreicas quedan restringidos al fondo de las áreas inundables.

Respecto a la permeabilidad de los materiales geológicos (tabla 8.11), los más abundantes, las arcillas con yesos del Keuper, tienen un carácter claramente impermeable (Tipología D: 62%) a pesar de la existencia de niveles de areniscas y conglomerados que aportan cierta permeabilidad. Por su parte, los depósitos del Lías inferior: dolomías, brechas, carniolas y calizas, son de permeabilidad alta (Tipología A: 38%). El resto de los sedimentos (pliocenos y cuaternarios) son muy minoritarios, por lo que, desde el punto de vista de su permeabilidad y de la determinación de la escorrentía superficial, pueden quedar asociados en cada caso a las dos formaciones anteriores.

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
FORMACIÓN GEOLÓGICA	**Edad**	**Tipología**	**%**
Dolomías	Jurásico	A	38
Arcillas con yesos	Triásico (Facies Keuper)	D	62
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Tabla 8.11. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de Salicor

Hidrogeología

La formación geológica sobre la que se dispone la laguna de Salicor, como se ha comentado en su apartado correspondiente, viene dada por los sedimentos de arcillas con yesos pertenecientes al Trías en facies Keuper (Tk) que aquí adquieren una potencia cercana a los 150 m. Esta formación es netamente impermeable, especialmente en su mitad superior en la que existen eventuales y finos horizontes de areniscas y conglomerados. Sin embargo, al estar englobados dentro de las arcillas con yesos estos niveles no presentan conexión entre ellos, así como con el exterior, de manera que carecen de alimentación hídrica y, por consiguiente, de la posibilidad de renovar el agua que puedan contener (figura 8.10).

Cerca del borde septentrional afloran formaciones permeables, como las dolomías carniolares y calizas de la base del Lías, pero su disposición estratigráfica sobre el Trías Keuper imposibilita cualquier relación hídrica con la laguna. Al igual sucede con los sedimentos de arenas pertenecientes a la facies Utrillas y con las dolomías cenomanienses, que aparecen también al norte del humedal, aunque fuera de su cuenca vertiente, con buzamientos muy acusados (60º) al estar afectadas tectónicamente por el movimiento extrusivo del Trías Keuper.

Sobre estas últimas formaciones, y mediante una discordancia erosiva, se encuentran depósitos de conglomerados calcáreos y brechas del Mioceno con buenas características hidrogeológicas, pero en este caso su posición topográfica elevada tampoco permite la relación con la laguna.

En coherencia con lo expuesto, y a modo de resumen, se puede afirmar que el importante espesor de sedimentos impermeables existente bajo la cubeta del humedal imposibilita cualquier relación con flujos subterráneos.

Este hecho explica, junto con la presencia de yesos en esta formación, la ausencia de pozos y sondeos en sus alrededores y el carácter hipersalino de sus aguas, con facies cloruradas y valores habituales de CE entre los 42.000 y 66.000 µS/cm.

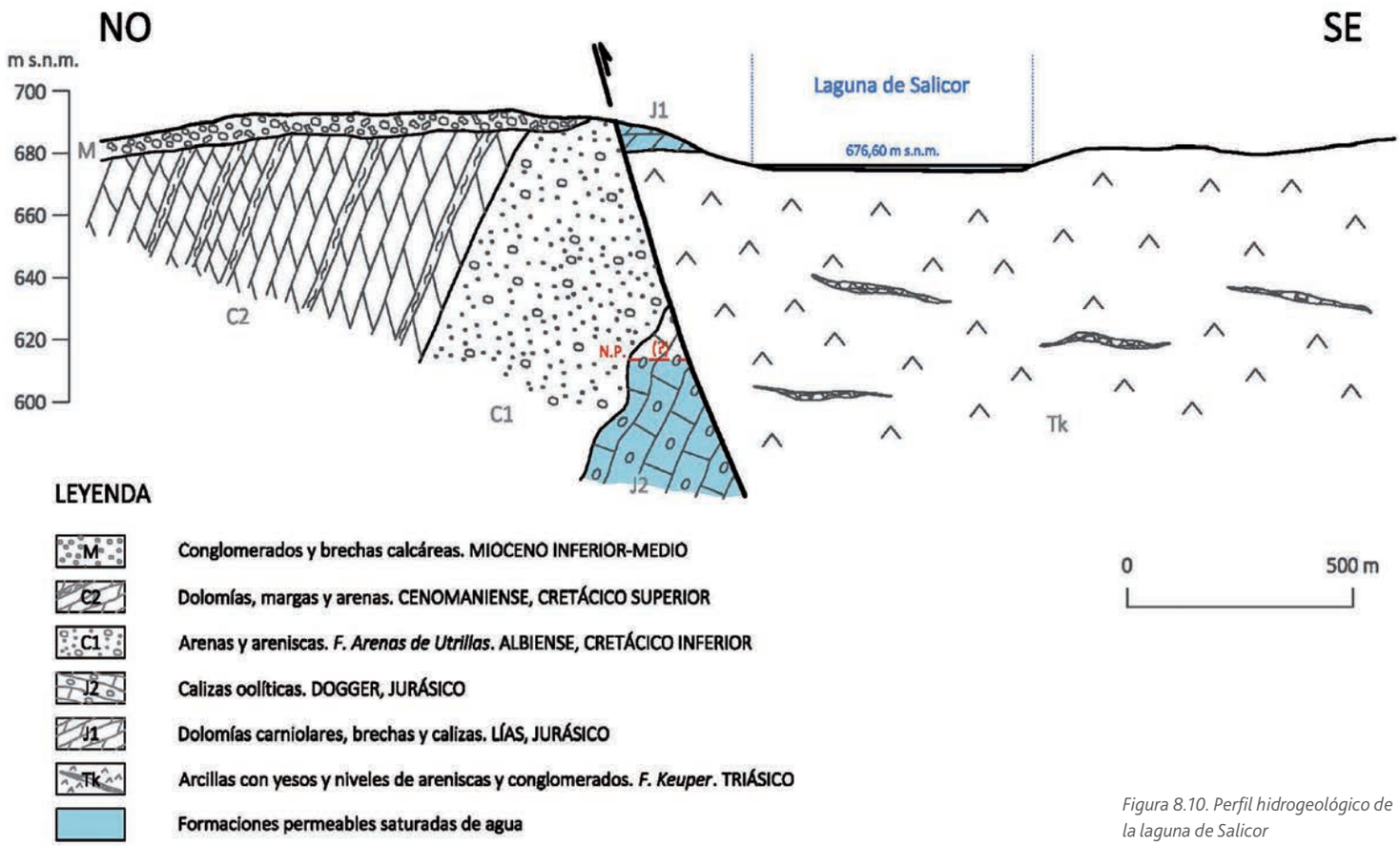


Figura 8.10. Perfil hidrogeológico de la laguna de Salicor

HIDROQUÍMICA

El agua de la laguna de Salicor presenta una conductividad eléctrica (CE) de 53.800 µS/cm, propia de su carácter salino, con un pH de 8,90 y una facies hidroquímica clorurada-sulfatada magnésica.

En la muestra analizada dentro del proyecto Ecolake, los aniones mayoritarios como cloruros y sulfatos adquieren valores de 15.786 y 12.939 mg/L respectivamente y cercanos a 60 mg/L para el anión bicarbonato. Los cationes predominantes son magnesio y sodio, con 6.692 y 5.534 mg/L respectivamente, a los que les sigue el potasio, con 835 mg/L, siendo el calcio minoritario con apenas 60 mg/L (figuras 8.11 y 8.12).

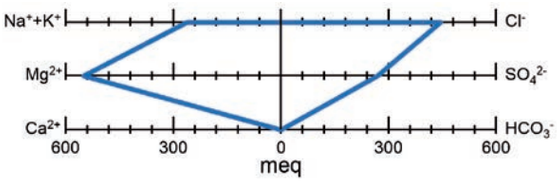


Figura 8.11. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna de Salicor. Fecha de análisis 25/11/2014

Algunos de los parámetros analizados son comparados en la tabla 8.12 con los valores recogidos en la normativa que regula la calidad para aguas de consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero), por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad de dicha agua.

La CE del agua de la laguna para el periodo diciembre de 2012 hasta diciembre de 2014 (figura 8.13) registra valores medios de 62.000 µS/cm (sin considerar los picos máximos y mínimos). La serie es moderadamente regular, salvo en el intervalo entre mayo de 2013 y marzo de 2014, donde se dan las mayores oscilaciones y se alcanzan los valores máximos y mínimos de la serie. Durante estos dos

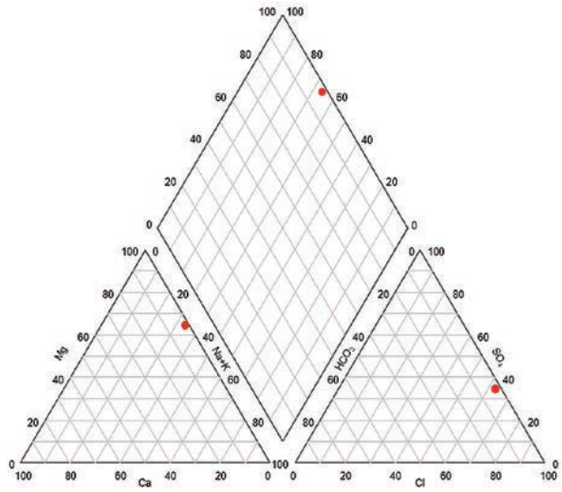


Figura 8.12. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de la muestra de la laguna de Salicor

años se registran valores mínimos de 32.640 y 37.000 µS/cm entre finales de febrero y mediados de marzo de 2014, mientras que el máximo registro se obtiene en fechas anteriores a estos mínimos, concretamente a finales de octubre de 2013 (298.200 µS/cm). A lo largo de los dos años de registro aparecen otros dos máximos relativos en mayo de 2013 (142.500 µS/cm) y marzo de 2014 (145.000 µS/cm), en este caso tras el mínimo de la serie.

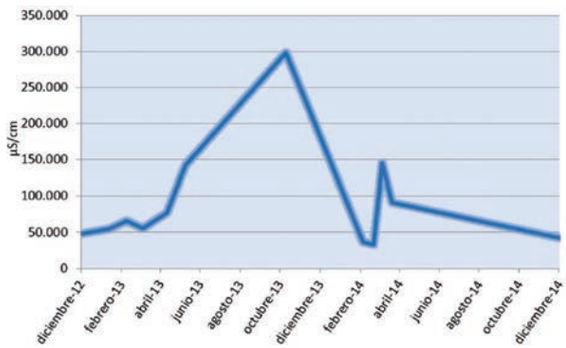


Figura 8.13. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna de Salicor entre diciembre de 2012 y diciembre de 2014

	Fecha de análisis			25/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	11,8	10
	Boro	B	mg/L	1,712	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	15.786	250
	Conductividad	CE	µS/cm	53.800	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	38,9	50
	pH	-	Ud de pH	8,9	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	5.534	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	12.939	250

Tabla 8.12. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

La laguna de Salicor es otro de los casos en los que sus aportes provienen exclusivamente de la escorrentía superficial y, como sucede con el resto de los humedales, su hidroperiodo está condicionado por las particularidades climáticas de la zona, la extensión y morfología del área vertiente y la mayor o menor permeabilidad de las formaciones geológicas que afloran en ella. En Salicor, todos estos factores han dado lugar a la presencia de una zona húmeda hipersalina somera y de carácter temporal con una lámina de agua que en ocasiones puede superar ampliamente el metro de profundidad, pero que gran parte del año se encuentra seca.

Los condicionantes mencionados, especialmente la estructura hidrogeológica imperante, implican la ausencia de relación entre la laguna y las aguas subterráneas, la cual impide cualquier relación entre éstas y las aguas superficiales. Dicha circunstancia viene refrendada por la ausencia de surgencias en la propia cubeta y de drenaje difuso hacia ella. En consecuencia, y como se ha comentado al principio, los aportes externos provienen exclusivamente de la escorrentía producida por la precipitación del agua de lluvia en su área vertiente, así como de la caída directamente sobre su vaso. Coherente con el modelo referido, el drenaje de este sistema hidrológico se verifica, también de forma exclusiva, por evaporación del agua almacenada en la cubeta durante los periodos húmedos.

Balance hídrico

Como se ha procedido para el conjunto de los ecosistemas estudiados, el balance hídrico de la laguna de Salicor se ha determinado mediante el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua a su vaso según la metodología expuesta en el capítulo 5. Las entradas corresponden a la precipitación directa sobre la superficie inundada (máximo 47,87 ha) y a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (2.001 ha), mientras que las salidas son debidas únicamente a la evapotranspiración producida sobre la lámina de agua libre.

Los datos climáticos se han obtenido de la estación agroclimática CR08 Herencia del SIAR, para el periodo

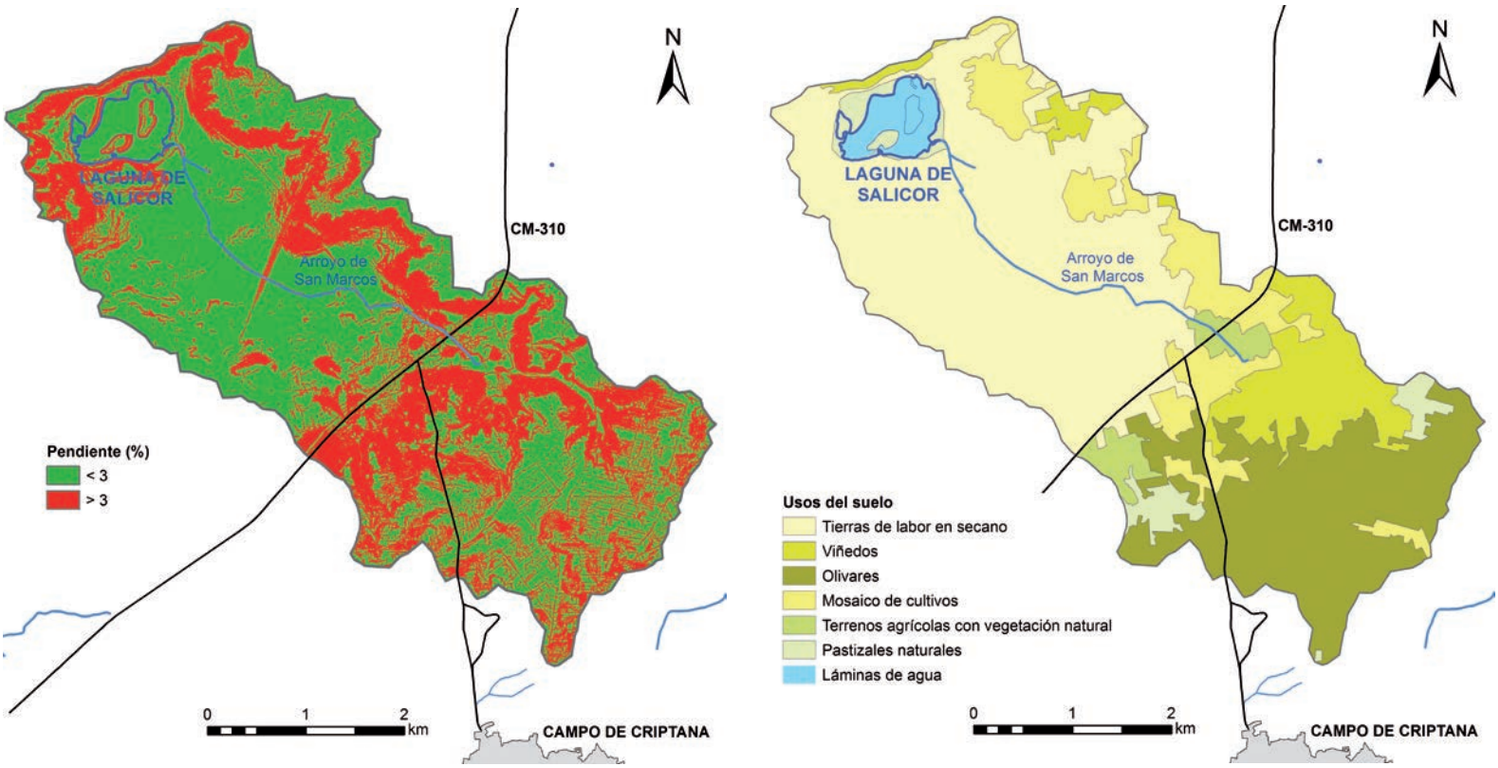


Figura 8.14. Cuenca hidrológica de la laguna de Salicor. Mapa de pendientes (izquierda) y Mapa de usos del suelo (derecha) (Corine Land Cover 2012)

del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo kc=1, considerado en este caso como el más ajustado a las condiciones imperantes. En cuanto a la evaporación, en su determinación se ha tenido en cuenta la extensión de la lámina de agua de la laguna en cada momento, ya que en la estación estival la laguna llega a secarse.

El análisis geológico de la cuenca vertiente, a partir de los afloramientos de las distintas formaciones identificadas, ha dado como resultado un suelo de tipo C. Por su parte, la pendiente media hallada ha sido del 3,6% (figura 8.14), mientras que al uso de la tierra se le ha asignado la tipología de labor de secano con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 8.14). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

El número de curva resultante ha sido recalibrado mediante el ajuste de los volúmenes calculados por dicho método con los obtenidos a partir de medidas limnímétricas recopiladas durante el proyecto Ecolake (2012-2014).

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC (*Antecedent Runoff Condition*) 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=60, que se corresponde con un valor de CN I=40 para condiciones de humedad baja y CN III=78 para condiciones de humedad alta. Esto supone unos valores umbral de escorrentía (P_0) medio de 33,87 mm, con un máximo de 76,61 mm y un mínimo de 14,04 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 8.13).

La batimetría de la cubeta se ha obtenido del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Mediante el geoprocesamiento de sus datos con herramientas SIG se ha determinado el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación, con pasos de altura de 0,01 m.

Posteriormente, se han establecido y representado las líneas de tendencia de las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen (figura 8.15).

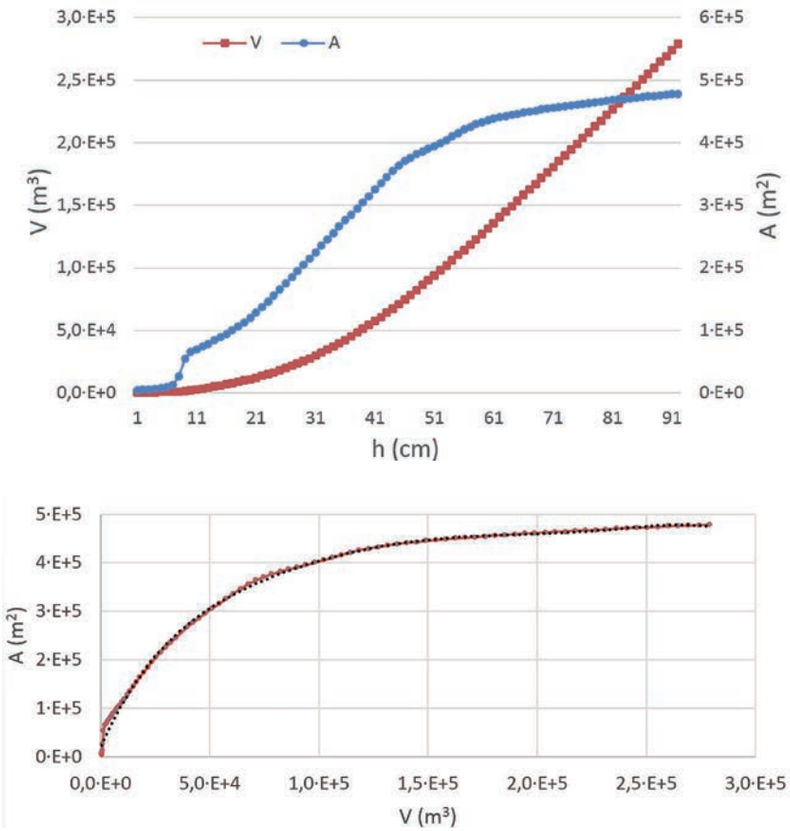


Figura 8.15. Laguna de Salicor.
Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A)
Abajo: relación entre área inundada (A) y volumen almacenado (V)

Los resultados de la simulación aplicada al periodo 2012-2014 muestran un comportamiento estacional, en el que la laguna normalmente está seca durante la temporada estival y almacena agua en los meses de invierno y primavera. En concreto, para el periodo referido, la laguna contiene volúmenes de agua considerables desde noviembre de 2012 hasta julio de 2013 y volúmenes menores entre enero y abril de 2014.

El balance hídrico medio anual obtenido para dicho periodo indica que la precipitación directa sobre la lámina de agua libre de la laguna es de 23.057 m^3 (78% del total de entradas), mientras que la escorrentía generada en la cuenca vertiente es de 6.626 m^3 (22%),

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
> 3	> 50% Labor de secano	Media baja	C	76,61	33,87	14,04

Tabla 8.13. Cuenca de la laguna de Salicor. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Tabla 8.14. Balance hídrico de la laguna de Salicor. Periodo 2012-2014

Año hidrológico	ENTRADAS			SALIDAS	Variación de volumen (m^3)
	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)	
2012/13	40.872	13.252	54.124	53.866	258
2013/14	5.242	0	5.242	5.500	-258
Media periodo	23.057	6.626	29.683	29.683	0

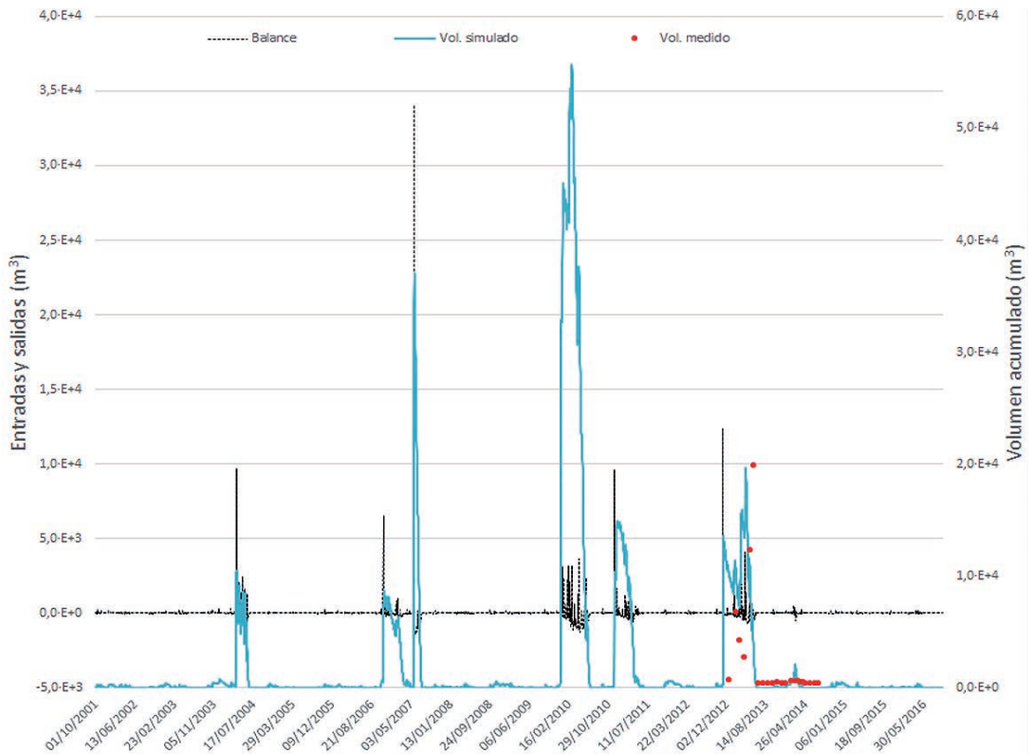


Figura 8.16. Simulación del balance hídrico para la laguna de Salicor. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

si bien solo se produce en el primer año hidrológico (2012/13). Por su parte, la evapotranspiración supone la pérdida de 29.683 m^3 (tabla 8.14).

Con los parámetros validados para el periodo de calibración se ha procedido a la determinación del balance hídrico hiperanual del humedal (figura 8.16) para un periodo de 15 años (2001-2016). En esta simulación se observa que la laguna ha permanecido seca la mayor parte del tiempo, excepto para las épocas húmedas registradas en 5 años hidrológicos: 2003/04, 2006/07, 2009/10, 2010/11 y 2012/13.

Los resultados de la simulación muestran que el 82% de los días la laguna se ha encontrado seca o prácticamente seca (lámina de agua <5.000 m^2, aproximadamente 450 m^3). El balance hídrico hiperanual (15 años) muestra que sus aportes son de 21.020 m^3/año (tabla 8.15), de los que la mayor parte (14.539 m^3/año, 69%) corresponde a precipitación directa y el resto (6.482 m^3/año, 31%) a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente. Estas entradas se equilibran con las pérdidas por evapotranspiración, con un valor promedio equivalente al de los aportes.

Tabla 8.15. Balance hídrico hiperanual de la laguna de Salicor. Periodo 2001-2016

DATOS			ENTRADAS			SALIDAS
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km^2)	Área media inundada (m^2)	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)
348,90	20,01	20.953	14.539	6.482	21.020	21.020

Evolución visual del territorio

Las imágenes aéreas de los años 1957 y 2012 (figura 8.17) evidencian cómo el paso del tiempo, a pesar de los 55 años que las separan, apenas ha modificado el perfil y las islas interiores de la laguna de Salicor, así como su entorno próximo. Entre otros aspectos, se observa que la red de viales agrarios se mantiene constante, con ligeras alteraciones en el entramado parcelario agrícola. Este hecho, posiblemente y en gran medida, ha estado condicionado por su disposición geográfica alejada de núcleos urbanos.

Un reflejo del claro carácter estacional del humedal, con agua en época invernal y carente de ella y adornada con un tapiz salino en periodos estivales, se muestra en las siguientes imágenes (figuras 8.18 a 8.23) en las que se aprecia cómo sigue subsistiendo la vegetación esteparia de su entorno y de sus islas a lo largo de todo el año.





Figura 8.17. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 8.18. Salicor en diciembre de 2013 (B.J. Ballesteros)

Figura 8.19. Laguna seca desde una de sus islas (L.A. Carreño)



Figura 8.20. Panorámica desde la senda de los Cantareros (C. Camuñas)

Figura 8.21. Fauna en época húmeda (C. Camuñas)



Figura 8.22. Paisaje salino en julio de 2016 (C. Camuñas)





Figura 8.23. Cultivos tras la aureola de vegetación esteparia (C. Camuñas)

Capítulo 9



LAGUNA GRANDE DE QUERO

QUERO (TOLEDO)





9. LAGUNA GRANDE DE QUERO

Situación geográfica, coordenadas y accesos

El municipio de Quero se asienta en el extremo sureste de la provincia de Toledo, a unos 100 km de la capital. La laguna Grande colinda con la población al sur-suroeste (figura 9.1) con unas coordenadas de su punto central X: 478150, Y: 4372350 (UTM ETRS89 H30) y una cota de 644,1 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

Al igual que otros humedales próximos su acceso es libre y sencillo, ya que la carretera CM-3130 que une Villafranca de los Caballeros con Miguel Esteban discurre casi paralela al flanco oeste de la laguna, entre los p.k. 12,150 y 13,450.

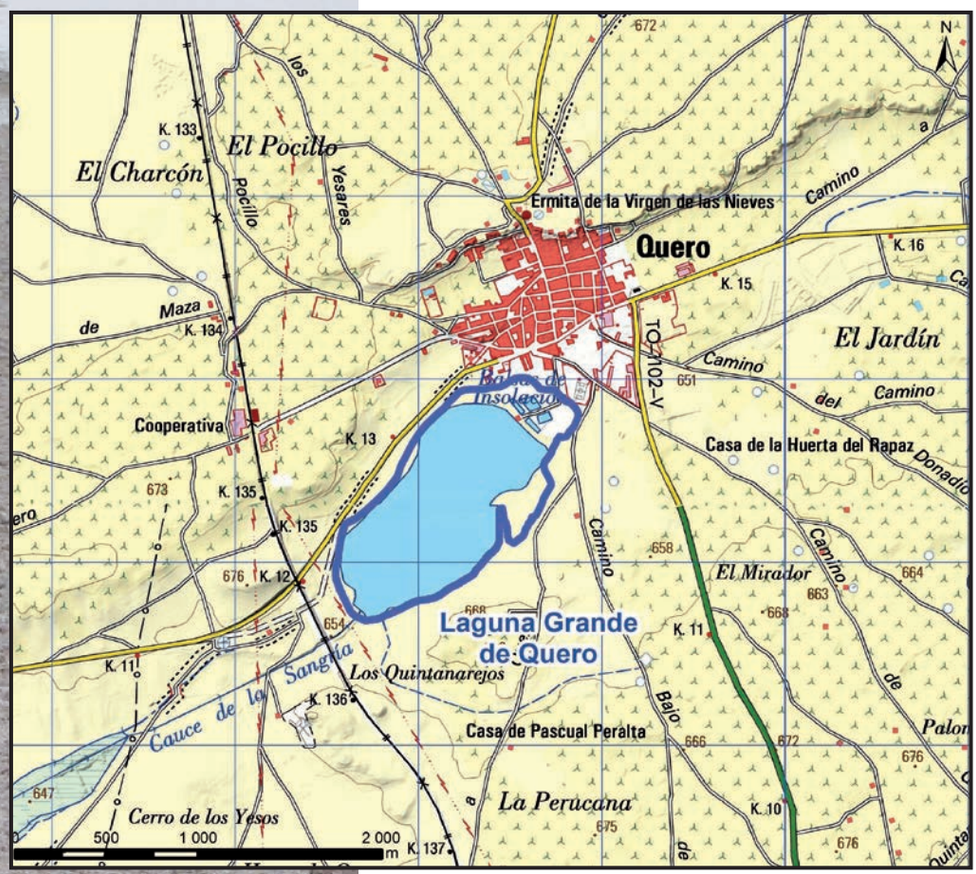


Figura 9.1. Situación geográfica de la laguna Grande de Quero (hojas 687 y 713 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)



Figura 9.2. Vaso lagunar y diques de compartimentación. Año 2012 (Archivo Fundación Global Nature)

Otra vía de comunicación con la población, y en consecuencia con la laguna, es la línea de ferrocarril que procedente de Madrid tiene parada en la estación de Quero, distante apenas 700 metros del humedal en dirección noroeste.

Tanto la existencia de la mencionada carretera, como la cercanía de la laguna al propio casco urbano de Quero, condiciona que la red viaria en su entorno esté muy desarrollada. A este respecto se pueden mencionar los caminos Bajo de Quero y de Piédrola a Quero, que discurren por su flanco este, mientras que la Cañada Real Soriana, localmente denominada Cañada Real de Alcázar, se alinea a lo largo de su borde occidental en sentido norte-sur, enlazando este municipio con el río Gigüela en ambos sentidos.

Características fisiográficas

El humedal, de carácter estacional, hipersalino y de tipo endorreico, perfila un perímetro de 4,7 km de longitud sin grandes irregularidades, asemejándose a un óvalo de dirección noreste-suroeste con ejes menor y mayor de 0,5 y 1,5 km, respectivamente, y una superficie máxima inundable de 150,79 ha (Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021, BOE, 2016).

El vaso lagunar aún se encuentra dividido en balsas independientes para la explotación de la sal, por lo que cuenta con 7.000 metros lineales de diques de compartimentación, con una disposición subparalela al eje mayor de la laguna y una elevación media de 1,5 m (figura 9.2).

La morfología predominante en el entorno es la de una planicie sin elevaciones dignas de relevancia, caracterizada por un suelo agrícola ocupado por viñedos y cultivos herbáceos, con alguna vegetación esteparia restringida a los ínfimos resaltes con cierta pendiente.

Normativa específica y figuras de protección

En la actualidad, la laguna Grande de Quero es de propiedad privada, ya que pertenece a la Sociedad Suministros Best S.L., y desde 1980 está protegida internacionalmente bajo la declaración de Reserva de la Biosfera de "La Mancha Húmeda". También está protegida por la figura jurídica de ámbito europeo de la Red Natura 2000, así como por ser Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Humedales de La Mancha" (tabla 9.1).

Sin embargo, a nivel regional todavía no ha sido aprobado su Plan de Ordenación, que se encuentra en trámite según la Resolución de 31-10-2005 de la entonces denominada Dirección General de Medio Natural (DOCM nº 229, de 14-11-2005).

Para evitar su deterioro, y hasta que se produzca la aprobación de dicho Plan, goza de la protección preventiva que le otorga el artículo 30 de la Ley 9/1999, de 26 de mayo, de Conservación de la Naturaleza, por el que durante la tramitación del Plan de Ordenación no podrán realizarse actos que supongan una transformación sensible de la realidad física y biológica que puedan llegar a

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA GRANDE DE QUERO
RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA
Declaración de la UNESCO de 30 de noviembre de 1980
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Humedales de La Mancha", código ES4250010 Zona de Especial Protección para las Aves Z.E.P.A. "Humedales de La Mancha", código ES0000091

Tabla 9.1. Figuras de protección de la laguna Grande de Quero

hacer imposible o dificultar de forma importante la consecución de los objetivos del Plan. Asimismo, en su anejo 1 este texto legal incluye al humedal dentro del Catálogo de Hábitat y elementos geomorfológicos de protección especial en Castilla-La Mancha.

Posteriormente, por Resolución de 21 de noviembre de 2011, la Secretaría de Estado de Cambio Climático dio el visto bueno para la evaluación del impacto ambiental del proyecto: "Actuaciones para la restauración ambiental de la laguna Grande de Quero, Toledo" cuyo objetivo es la restauración de las zonas degradadas y la mejora del estado de conservación de los recursos asociados a la laguna, así como el fomento de un uso público sostenible y respetuoso con el medio ambiente. El promotor y órgano sustantivo fue la Confederación Hidrográfica del río Guadiana.

Climatología

Las características climáticas se han determinado a partir de una estación virtual confeccionada con los datos de las estaciones meteorológicas CR08, Herencia, y TO10, La Puebla de Almoradiel, ambas pertenecientes a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha (tabla 9.2).

La precipitación media anual de la zona en los últimos 15 años (2001/02-2015/16) ha sido de 348,2 mm, con un máximo de 554,9 mm en el 2003/04 y un mínimo de 151,7 mm en el 2004/05. A escala diaria el hecho más destacable es un episodio de lluvia torrencial ocurrido el 16 de enero de 2003 en el que se acumularon 50,3 mm en un solo día.

Los registros mensuales reflejan que en todos los meses se superan, como media, los 30 mm de lluvia, salvo en los de verano (junio, julio, agosto y septiembre) y en el mes de enero con 28,9 mm, siendo el más húmedo el de abril y el más seco el de julio con valores de 49,7 mm y 3,8 mm, respectivamente (tabla 9.3). En este periodo la precipitación máxima acumulada en un solo mes fue de 122,6 mm (diciembre de 2009).

Los registros climáticos anteriores a los elaborados para la estación virtual se han obtenido de la estación meteorológica Villafranca de los Caballeros (nº 4069) de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que cuenta con un lapso temporal de 40 años desde 1960/61 a 1999/2000 (tabla 9.4). Un análisis comparativo de los datos muestra que la precipitación media anual en los últimos 15 años no ha sufrido cambios significativos, experimentando un ligero ascenso de 6 mm respecto a los 40 años precedentes.

Por su parte, la temperatura media anual es de 14,1 °C (tabla 9.5) y las medias de las máximas y mínimas diarias de 21,3 °C y 6,8 °C, respectivamente.

Valores ambientales

Valoración global

La laguna Grande de Quero, ubicada en contacto directo con el casco urbano de la población de la que recibe su nombre, es un extenso humedal somero de elevada mineralización y notable alteración antrópica

DATOS DE LAS ESTACIONES		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
CR08	Herencia	471540	4358890	659	01/10/2001	30/09/2016
TO10	La Puebla de Almoradiel	488433	4384582	698	01/10/2001	30/09/2016

Tabla 9.2. Datos de ubicación y periodo de registro temporal empleado (SIAR)

PRECIPITACIÓN (mm)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**348,2**	**1,0**	**28,9**	**30,4**	**36,8**	**49,7**	**37,2**	**19,8**	**3,8**	**6,2**	**19,1**	**46,0**	**35,1**	**35,3**
Máxima absoluta	554,9	50,3	71,2	71,9	110,2	101,7	107,7	68,5	10,4	21,4	43,1	94,7	90,4	122,6
Fecha	2003/04	16/01/2003	2003	2014	2013	2016	2004	2010	2004	2003	2012	2003	2012	2009
Mínima absoluta	151,7	0,0	0,7	1,9	8,0	12,2	1,5	1,5	0,0	0,0	2,0	23,5	9,0	2,5
Fecha	2004/05	-	2005	2002	2005	2005	2015	2012	2009	Varios años	2011	2009	2009	2015

Tabla 9.3. Valores de precipitación más relevantes registrados en la estación termo-pluviométrica virtual confeccionada a partir de las estaciones CR08 Herencia y TO10 La Puebla de Almoradiel (SIAR)

Tabla 9.4. Datos de ubicación, registro temporal y valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica nº 4069 Villafranca de los Caballeros (AEMET)

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
4069	Villafranca de los Caballeros	468846	4364108	643	1960/61	1999/2000

PRECIPITACIÓN (mm)		
	Precipitación anual	Fecha
Media	**342,3**	1960/61 - 1999/2000
Máxima absoluta	522,9	1996/97
Mínima absoluta	218,1	1967/68

Tabla 9.5. Valores de temperatura más relevantes registrados en la estación termo-pluviométrica virtual confeccionada a partir de las estaciones CR08 Herencia y TO10 La Puebla de Almoradiel (SIAR)

TEMPERATURA (°C)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**14,1**	**-**	**4,5**	**5,7**	**9,1**	**12,4**	**16,7**	**22,4**	**25,5**	**24,7**	**20,0**	**14,6**	**8,2**	**4,7**
Máxima media	21,3	-	10,7	12,3	16,0	19,3	24,1	30,6	34,2	33,4	28,0	21,8	14,6	11,0
Mínima media	6,8	-	-0,7	-0,3	2,3	5,4	8,6	13,4	15,4	15,3	11,9	8,1	2,7	-0,4
Máxima absoluta	-	42,3	20,4	25,9	25,9	29,9	38,5	39,8	41,1	42,3	39,6	32,9	26,1	19,2
Fecha	-	10/08/12	27/01/03	24/02/14	31/03/15	08/04/11	17/05/06	29/06/15	06/07/15	10/08/12	07/09/16	02/10/04	01/11/09	15/12/15
Mínima absoluta	-	-12,3	-11,7	-8,4	-8,3	-2,8	0,0	4,5	5,3	7,2	2,6	-2,8	-9,5	-12,3
Fecha	-	15/12/09	28/01/05	23/02/12	09/03/05	02/04/16	19/05/11	01/06/13	31/07/08	21/08/04	19/09/05	27/10/10	17/11/07	15/12/09

sometido a una explotación salinera que interacciona con su funcionamiento natural. Por su elevada concentración salina en su lecho no se desarrolla ningún tipo de vegetación acuática, de tal modo que el mayor interés de su acervo genético reside en las poblaciones microbianas que la habitan, adaptadas a ambientes extremos.

Biodiversidad: flora y fauna

Su cinturón perilagunar presenta playas prácticamente carentes de helófitos, con la única presencia, si bien muy limitada, de ejemplares dispersos de juncos *(Juncus sp.* y *Scirpoides holoschoenus)* como describen Gosálvez *et al.* (2012). El estrato arbóreo de ribera, como tarays, álamos u olmos, desapareció hace décadas y las especies herbáceas halófilas se han visto sustituidas por la proliferación de vegetación halonitrófila y ruderal (Jerez, 2010), sin vegetación acuática sumergida por su extrema salinidad.

En cuanto a la avifauna, la riqueza de especies supera la decena durante la primavera, aunque el promedio mensual gira en torno a 3 especies. Las playas son aprovechables por las aves limícolas, pudiendo observar a la cigüeñuela común *(Himantopus himantopus)*, a la avoceta común *(Recurvirostra avosetta)* en los meses primaverales y a la gaviota sombría *(Larus fuscus)* en periodos más continuados. Por otra parte, y aunque no muy numerosas, son recurrentes también las observaciones de especies comunes de medios humanizados, como es el caso del ánade real *(Anas platyrhynchos)*. Por el contrario, y en claro contraste con otros humedales del entorno, los flamencos o las grullas resultan poco frecuentes.

Biodiversidad microbiana y del plancton

La elevada salinidad de este ecosistema impide el desarrollo de macrófitos, siendo imperceptible la presencia de tapetes microbianos que, aunque propios de estos ambientes extremos, poseen una fuerte sensibilidad a las alteraciones ambientales por lo que precisan ambientes sin perturbaciones, hecho incompatible con un humedal donde tiene lugar una importante explotación salinera. Los muestreos del proyecto Ecolake informan de la ausencia de poblaciones estables de ostrácodos y otros invertebrados en la laguna, indicativa de la dureza ambiental de este hábitat para la fauna acuática. Así, es posible observar en las zonas de más elevada evaporación y concentración de sales la presencia del pigmento bacteriorodopsina (figura 9.3)

que, como en otros humedales, evidencia la proliferación de arqueas, probablemente halobacteriales, microorganismos típicos de ambientes acuáticos altamente saturados en sal.



Figura 9.3. La bacteriorodopsina presente en las arqueas aporta la coloración rojiza en las balsas de evaporación (C. Rochera)

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos más destacables de esta laguna son:

- Servicios de abastecimiento: materias primas de origen mineral (sal), acervo genético.
- Servicios de regulación: climática, hídrica y de ciclos biogeoquímicos.
- Servicios culturales: conocimiento científico, identidad cultural, disfrute estético, ecoturismo, educación ambiental.

Estado ecológico e impactos

La proximidad al casco urbano es una de las principales adversidades que presenta la laguna, existiendo incluso edificaciones dentro de la zona potencialmente inundable. El vaso lagunar está alterado antrópicamente por la multitud de sendas elevadas que lo compartimentan, así como por la presencia de una escombrera en su flanco norte que ocupa parte de su superficie.

Al igual que en casos similares, y dentro del contexto del proyecto LIFE "Humedales de La Mancha", se han comprado parcelas adyacentes al humedal para realizar acciones de conservación y mejora de las comunidades vegetales mediante la plantación diversas especies, como el albardín *(Lygeum spartum)*, que además de potenciar sus servicios culturales contribuyen a recuperar el ambiente palustre original. No obstante, la persistencia de la explotación salinera compromete seriamente las posibilidades de devolver el ecosistema a su estado natural.

La presencia en el flanco sudoeste de un canal por el que desagua la cubeta también concurre en una alteración del ciclo hidrológico natural de la laguna. Otro importante elemento de alteración que hay que añadir es el efecto de merma que tiene sobre las comunidades vegetales el pastoreo ovino en la franja perimetral, dada la elevada carga ganadera de la zona (PGH-CLM, 2015; Rodríguez *et al.*, 2016).

Respecto a su estado trófico, la laguna muestra una significativa alteración en las últimas décadas, con concentraciones de clorofila-a notablemente variables, estando generalmente por encima de los límites inferiores de la hipereutrofía.

Valores históricos y culturales

Historia

Los primeros pobladores de Quero se asentaron en los alrededores de la laguna Grande o de la Sal, no muy lejos del río Gigüela. La presencia de fuentes de agua dulce, pasos y yacimientos de pedernal atrajo los asentamientos humanos en el Paleolítico, Neolítico y en la Edad de Bronce, así como en las épocas íbera y romana. Del Paleolítico se conoce la presencia de cantos de cuarcita con talla de bifaz o raederas aparecidas en el valle del Gigüela y alrededores de la propia laguna. En este último paraje hay numerosos vestigios de sílex del Paleolítico medio y superior.

El Bronce manchego aparece representado en Quero en tres yacimientos: Cerro de San Cristóbal, con cantera de sílex, Pozo de la Vieja y Los Pedernales. Del Hierro II y la época romana es representativo el poblado de Los Quintanarejos, situado en la parte intermedia de una elevación topográfica. También romanos son La Tejera, Casa Romanas y la población de Quero (Carrobles y Ruiz, 2001).



Figura 9.4. Escudo heráldico de Quero (Fondo documental del armorial municipal de la provincia de Toledo)

Por otra parte, Quero se encuentra territorialmente bien comunicado desde tiempos remotos y algunas de las vías que lo cruzan son anteriores a la época romana. De esta época cabe destacar la Vía 29 del itinerario de Antonino, que atravesaba este municipio y unía Alces con Titulcia. Esta calzada romana, muy probablemente, tenía como finalidad facilitar la explotación de los yacimientos salinos.

En el municipio también quedan vestigios de la época visigoda, como el magnífico bajorrelieve del siglo VII aparecido en las cercanías del núcleo urbano que constata la ocupación musulmana y la reconquista cristiana en los siglos XI-XII. Más tarde, y durante largo tiempo, la historia del municipio va unida a la jurisdicción de la Orden de San Juan, por lo que Quero consigue la Carta Puebla en el año 1241. Consolidado su poblamiento con la llegada de nuevos vecinos castellanos, Pedro I le otorga el privilegio de villazgo en el año 1359.

La laguna está representada en el escudo heráldico del municipio como un elemento sobresaliente del mismo (figura 9.4), así como también la vía romana que lo cruza. Identificados ambos elementos como factores primitivos de asentamientos humanos.

Salina de interior

Durante siglos, una buena parte de la economía de las poblaciones manchegas próximas a lagunas salobres radicó en la extracción y el comercio de la sal. Así, ya existen referencias escritas de la laguna Grande de Quero en el siglo XIV cuando la monarquía castellana decreta la propiedad de las aguas y pozos salados y perfila la renta de la sal. En esa época Alfonso XI decidió regular el comercio de la sal en las Cortes de Burgos con la consideración de que todas las salinas eran propiedad de la Corona, incluyendo las de Quero y Tírez (Ladero, 2011). Consecuencia de ello, en 1338 entró en vigor un Ordenamiento que durante dos siglos reguló la renta de las salinas.

Ya en 1448, Juan II arrendó las salinas Espartinas a Fernando Vázquez del Portillo, cuyo cuaderno de arrendamiento asegura que éstas se solían arrendar con otras de menor importancia, como las de Quero y Tírez. Años más tarde, el 4 de agosto de 1480, vuelve a aparecer el nombre de las salinas de Quero en una Provisión de los Reyes Católicos dirigida a los concejos de todas las ciudades, villas y lugares del reino. Pero será en el siglo XVI cuando los docu-

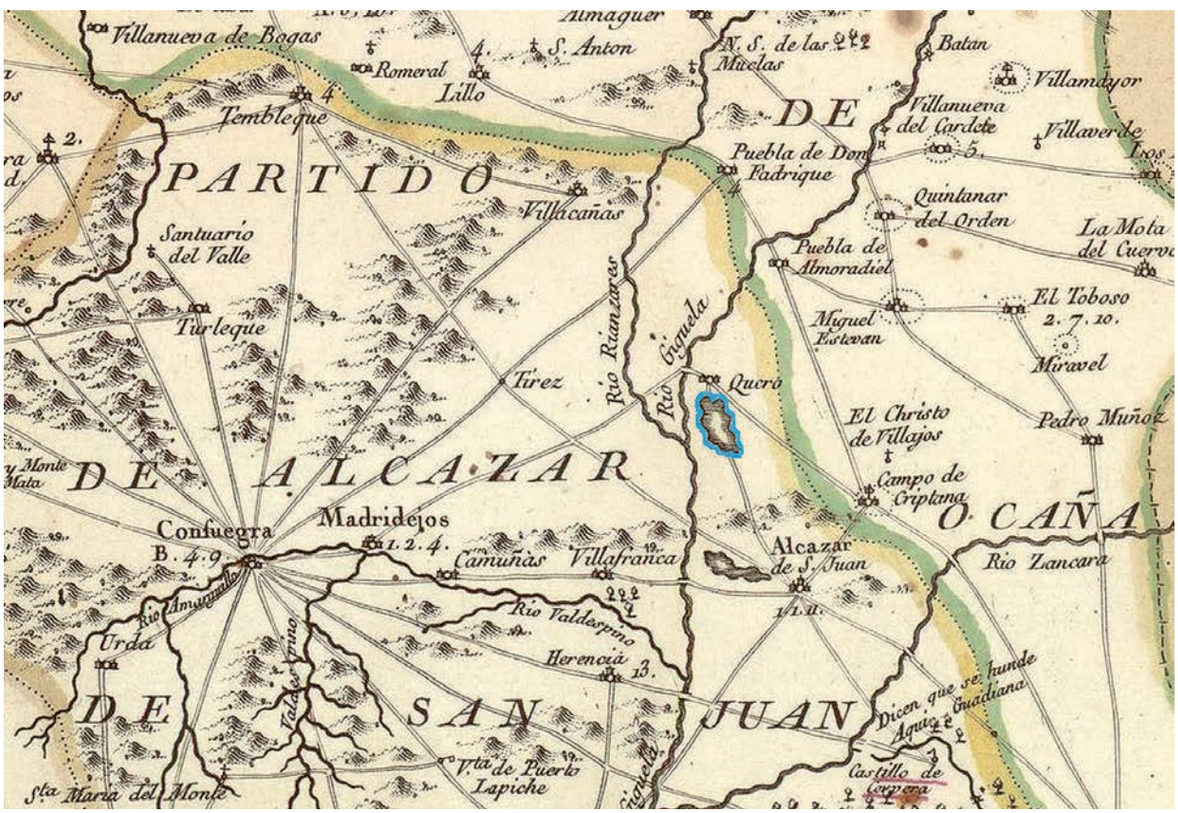


Figura 9.5. Modificado del Mapa de la provincia de Toledo que comprende los partidos de Toledo, Alcalá, Ocaña, Talavera y Alcázar de San Juan realizado por Tomás López en 1768 (© Instituto Geográfico Nacional)

mentos mencionen con más frecuencia este humedal, así el administrador del partido de Espartinas, Diego de Zuazo, informa por carta en 1567: *que la sal de las lagunas de Quero, Tírez, Bogarra y Alcázar es sal amarga y que se disminuye y merma mucho trajinándose, por lo que se vende con dificultad* (SEHA, 2014).

En el mismo siglo, para evitar el fraude que se cometía por el afinado del salitre, las autoridades ordenaron enviar la sal obtenida en las lagunas al almacén de Quero, posiblemente el único lugar de la comarca que disponía de elementos para tal menester. En 1775 una relación de empleados de la Renta de las Salinas en el partido de Espartinas menciona solo cinco empleados en la de Quero, que eran destinados a administrar el Estanco de la sal en la comarca. Indica también que las mayores extracciones se llevan a cabo en dicha laguna, cuya importancia es resaltada en los mapas de la época (figura 9.5), así como en la laguna Larga de Villacañas y en La Hidalga, esta última cercana a la localidad de Miguel Esteban.

Cuando Madoz (1846) detalla el censo, padrón y los datos más destacados de Quero, hace referencia a la importancia de sus lagunas, y dice: "*y comprende como objetos mas notables dos lagunas de sal, abundantísimas con su salero y adm. próxima…*".

El destino de esta sal ha tenido diferentes usos, pero el más destacado es el de haber sido uno de los yacimientos más importantes de Europa en sulfato de magnesio, sustancia para decolorar la lana y componente en algunos productos farmacéuticos. Los documentos también han constatado la fuerte explotación sufrida por la laguna a lo largo de su historia, incluso hasta época muy reciente, año 2014, y en la actualidad siguen realizándose extracciones ilegales de forma ocasional.

El proceso de producción de sal

El proceso de extracción de la sal en la laguna de Quero a mediados del siglo XX, representativo de la explotación de este recurso en las lagunas salobres del Alto Guadiana, es descrito en la publicación "Legados de la Tierra" (Fernández y Torres, 2008).

"…Debido a la época en que se realizaba y las características químicas del producto, sólo se podía extraer en las primeras horas de la mañana; desde que amanecía hasta las 10:00 o las 11:00 y a últimas horas de la tarde, desde que caía el sol hasta las 22:00 o las 23:00; ya que cuando hacía demasiado calor tanto el agua como la sal quemaban. Hay que destacar que este trabajo era realizado indistintamente por hombres y por mujeres".





Figura 9.6. Explotación de sal entre 1938 y 1950 (Archivo fotográfico del ayuntamiento de Quero)

En las orillas se marcaban y numeraban las "*cortas*" que eran sectores asignados a las personas o grupos familiares que habían mostrado interés por trabajar en esta actividad (figura 9.6). Se colocaban unos tablones que servían de pasarela para cargar el material sin hundirse en el barro y para transportarla se utilizaban, en primer lugar, espuertas de esparto que eran cargadas mediante palas y sacadas por dos personas. Posteriormente la sal era acarreada mediante carretillas (figura 9.6).

Una vez amontonada en la orilla, se llenaban a pala sacos de unos 100 kilos y se cargada en carros tirados por mulas cuyo destino era el salero, donde se pesaba y se amontonaba para el secado. Una vez seca, se envasaba nuevamente en sacos que se llevaban hasta el almacén de la estación de ferrocarril, antes de ser cargados en vagones para alcanzar su destino final.

Con el paso del tiempo este proceso fue facilitado por pequeños camiones, de los que algunas personas todavía recuerdan el conocido como *Camión de Román* (figura 9.7), primero de los utilizados para dicha actividad.

A los operarios se les pagaba por kilo de sal recogido y puesto en el salero, por lo que las mermas del primer secado en la orilla de la laguna y los accidentes por tormentas y lluvias corrían por cuenta del trabajador.





Figura 9.7. Transporte de sal entre 1938 y 1950, carros con mulas y pequeño camión (Archivo fotográfico del ayuntamiento de Quero)

Espacio protegido

Próximo a este hábitat se encuentra el gaseoducto Huelva-Alcázar-Madrid que transcurre entre las lagunas Grande y de Vadancho, además de otras infraestructuras que pueden perturbar el humedal, como el tendido de líneas eléctricas de alta tensión de segunda categoría que lo cruzan mediante apoyos dentro del vaso, o el tramo de doble vía férrea electrificado que discurre por el flanco sur-suroeste (figura 9.8).

La laguna está dividida en cubetas cuya eliminación mejoraría la recuperación de este espacio natural, que mantiene todavía un gran valor ecológico pese a las numerosas agresiones sufridas: explotación de la sal, vertido de aguas urbanas, acumulación de escombros y basuras, modificación del contorno perilagunar por aumentos de cultivos, alteración del régimen hídrico por zanjas y drenajes, crecimiento urbano, etc.

Todo ello pone de manifiesto la necesidad de ayuda institucional que permita su recuperación, ya que sigue conservando características ambientales de gran interés, tales como la variedad en sales de diferente composición química, la vegetación asociada y su hábitat faunístico. Los esfuerzos institucionales y sociales en este sentido son visibles poco a poco, prueba de ello es su inclusión en el proyecto LIFE "Humedales de La Mancha".

A nivel social, la concienciación para la conservación de este paraje va en aumento. A partir de 2007 grupos de voluntarios, en colaboración con el colectivo vecinal de Quero y Ecologistas en Acción, han limpiado gran parte de la antigua escombrera y el vertedero existentes en la zona nororiental del vaso.

Los valores ecológicos, estéticos y culturales de la laguna ofrecen la oportunidad de desarrollar actividades de interpretación, educación medioambiental, programas de seguimiento ecológico y, especialmente, su puesta en valor, uso y disfrute por parte de los quereños. Todo ello pendiente hasta la ejecución del proyecto de restauración previsto para la zona. En relación con esto, el ayuntamiento de Quero ya ha dado un primer paso con la inclusión de este hábitat dentro de la Ruta de los Oficios y la instalación de paneles informativos que hablan de sus rasgos principales así como de su historia.



Figura 9.8. Líneas de alta tensión y vía férrea cercanas al humedal. (C. Camuñas)

Contexto socioeconómico

El municipio de Quero cuenta con una población de 1.145 habitantes (INE, 2014) y una extensión de 104,22 km^2, lo que supone una densidad de 10,99 hab/km^2 (figura 9.9). En el nivel de estudios predomina el segundo grado entre los habitantes mayores de 16 años (46,7%), seguido de los que carecen de ellos (21,0%) y de los que tienen el primer grado (20,8%). Los analfabetos constituyen el grupo minoritario con un 4,9%, quedando el 6,6% restante para las personas con estudios de tercer grado (tabla 9.6).

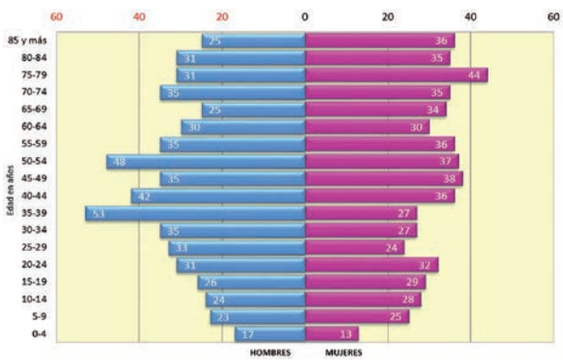
NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	%
Analfabetos	54	*4,9*
Sin estudios	230	*21,0*
1er Grado	229	*20,8*
2º Grado	512	*46,7*
3er Grado	72	*6,6*
TOTAL	**1.097**	***100***

Tabla 9.6. Nivel de estudios (Censo de Población y Vivienda 2011. INE)

El sector servicios y la agricultura constituyen el principal eje de la actividad económica (tabla 9.7) con un 45,5% y un 41,8% de empresas, respectivamente. Les sigue la construcción con un 9,1%, mientras que el 3,6% restante corresponde al sector industrial. En consecuencia, los trabajadores afiliados al sector servicios son los más numerosos, con un 51,3%, seguidos de los del sector agricultura, con un 26,9%, siendo los afiliados a la construcción e industria los minoritarios, con un 17,9% y 3,9% respectivamente.

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	69	*26,9*	23	*41,8*
Industria	10	*3,9*	2	*3,6*
Construcción	46	*17,9*	5	*9,1*
Servicios	132	*51,3*	25	*45,5*
TOTAL	**257**	***100***	**55**	***100***

Tabla 9.7. Empresas y afiliación en Quero (Tesorería General de la Seguridad Social 2014)



La evolución ocupacional entre 2009 y 2014 (tabla 9.8) registra un ascenso, significativo al inicio de la serie y paulatino en años siguientes, reduciéndose en el año 2014.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº de parados	74	134	148	168	183	169

Tabla 9.8. Desempleados (Paro municipal registrado. SPEE)

Territorialmente (tabla 9.9), la mayor parte de su término municipal está ocupado por cultivos (87,1%), predominando los herbáceos (65,7%) y los viñedos (30,6%), siendo minoritaria la presencia de olivar (3,5%) y casi testimonial los frutales (0,2%).

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	6.607	4.343	*87,1*	*65,7*
	Frutales		11		*0,2*
	Olivares		234		*3,5*
	Viñedos		2.019		*30,6*
Pastos		348		*4,6*	
Otras		633		*8,3*	
TOTAL		**7.588**		***100***	

Tabla 9.9. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2009, INE)

Por otro lado, la ganadería está constituida en su mayoría por la avicultura con un 71,7%. El ganado porcino y el ovino ocupan el segundo y tercer lugar con un 15,7% y 12,3%, respectivamente, quedando el porcentaje restante, un 0,3%, para los caprinos (tabla 9.10).

CABEZAS DE GANADO		
	Nº de cabezas	%
Bovinos	0	*0,0*
Ovinos	7.526	*12,3*
Caprinos	162	*0,3*
Porcinos	9.656	*15,7*
Aves	44.000	*71,7*
Equinos	0	*0,0*
TOTAL	**61.344**	***100***

Tabla 9.10. Cabezas de ganado (Censo Agrario 2009, INE)

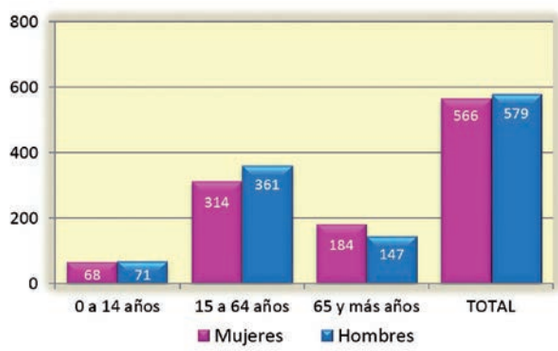


Figura 9.9. Pirámide (izquierda) y Grupos de población de Quero (derecha) (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha 2014. Padrón Municipal de Habitantes a 1 de enero 2014. Instituto Nacional de Estadística, INE)

Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna Grande de Quero, situada dentro de la cuenca alta de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, se localiza al norte de las subcuencas de carácter endorreico de las lagunas de Salicor y Pajares, y al sur de la del río de La Blanca, afluente del río Gigüela por su margen izquierda.

La laguna Grande de Quero supone una retención del arroyo de La Sangría, que sigue una dirección noreste-suroeste hasta encontrarse con el río Gigüela a unos 4 km al suroeste, formando una amplia llanura de inundación. Desde el punto de vista administrativo, dicha cuenca se extiende sobre los términos municipales de Quero, Miguel Esteban, Campo de Criptana, Alcázar de San Juan y, de forma casi testimonial, de La Puebla de Almoradiel, con una superficie cercana a 7.756 ha (figura 9.10).

La morfología de la cuenca es alargada, con un flujo principal en sentido este-oeste. La laguna se sitúa en su extremo más occidental, ocupando parte de la cubeta el núcleo urbano de Quero y la carretera CM-3130, motivo por el cual la extensión habitual de su zona inundada ha quedado reducida a unas 75,85 ha, con una relación de 51 entre el área total de la cuenca y la de la propia laguna.

En cuanto a su red hidrográfica, únicamente se distingue el arroyo de La Sangría, que nace en el término municipal de Miguel Esteban, a unos 6 km al este. El resto de la red de drenaje consiste en pequeñas vaguadas apenas distinguibles sobre el terreno que recogen los aportes de las precipitaciones, canalizados hacia el humedal a través del mencionado arroyo.

El relieve es relativamente suave, con apenas 81 m de diferencia entre las cotas más elevadas (725,2 m s.n.m.), localizadas en el sureste de la cuenca, y el fondo de la cubeta donde se encuentra la zona húmeda (644,1 m s.n.m.), siendo la altitud media de 675,5 m s.n.m. Por su parte, la pendiente media es del 2,3%, con una mediana del 2,4%. Esta circunstancia dificulta la definición de la mayor parte de sus límites, condicionados por la presencia de otras zonas endorreicas colindantes, como las mencionadas de las lagunas de Salicor y Pajares al sur, y por las cuencas vertientes de otros arroyos.

Geología

Las formaciones geológicas que afloran en la cuenca vertiente de la laguna Grande de Quero poseen una naturaleza variable que condiciona su comportamiento hidrogeológico. La edad de estos sedimentos comprende desde el Triásico, los más antiguos, hasta el Cuaternario, edad de los más modernos (figura 9.11).

La laguna se dispone sobre depósitos triásicos constituidos por arcillas, margas y limos con cristales de yeso, cuyo espesor podría llegar al centenar de metros. A mayor profundidad se encuentran lutitas de color rojizo con intercalaciones de limos y areniscas de grano fino. En superficie estos materiales están rodeados por arcillas y margas cretácicas de tonalidades rojizas y anaranjadas.

Las dolomías jurásicas de grano fino quedan relegadas al flanco sur de la cuenca, aflorando en su mayoría en el extremo sureste y, al contrario que los tramos arcillosos, poseen una alta permeabilidad. Su espesor alcanza hasta 20 m y se disponen en bancos ligeramente plegados.

Sin embargo, los afloramientos más ampliamente representados en la cuenca corresponden al Cenozoico.

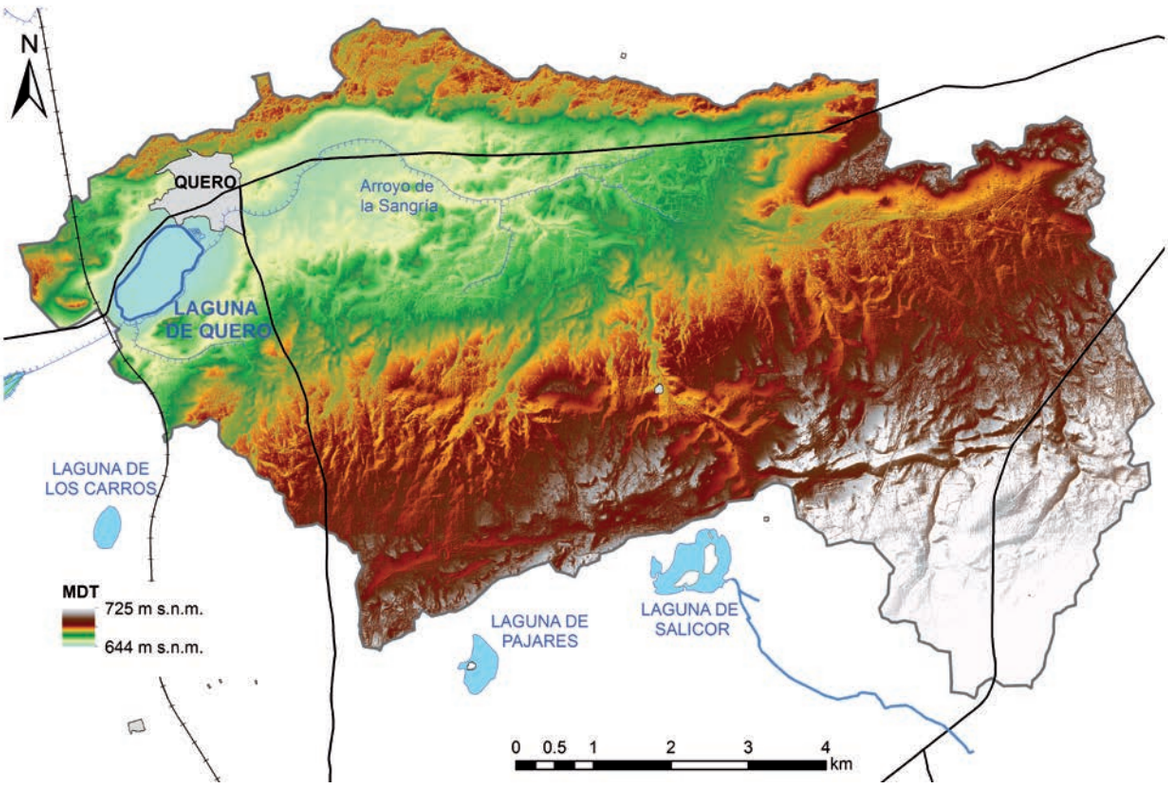


Figura 9.10. Cuenca hidrológica de la laguna Grande de Quero

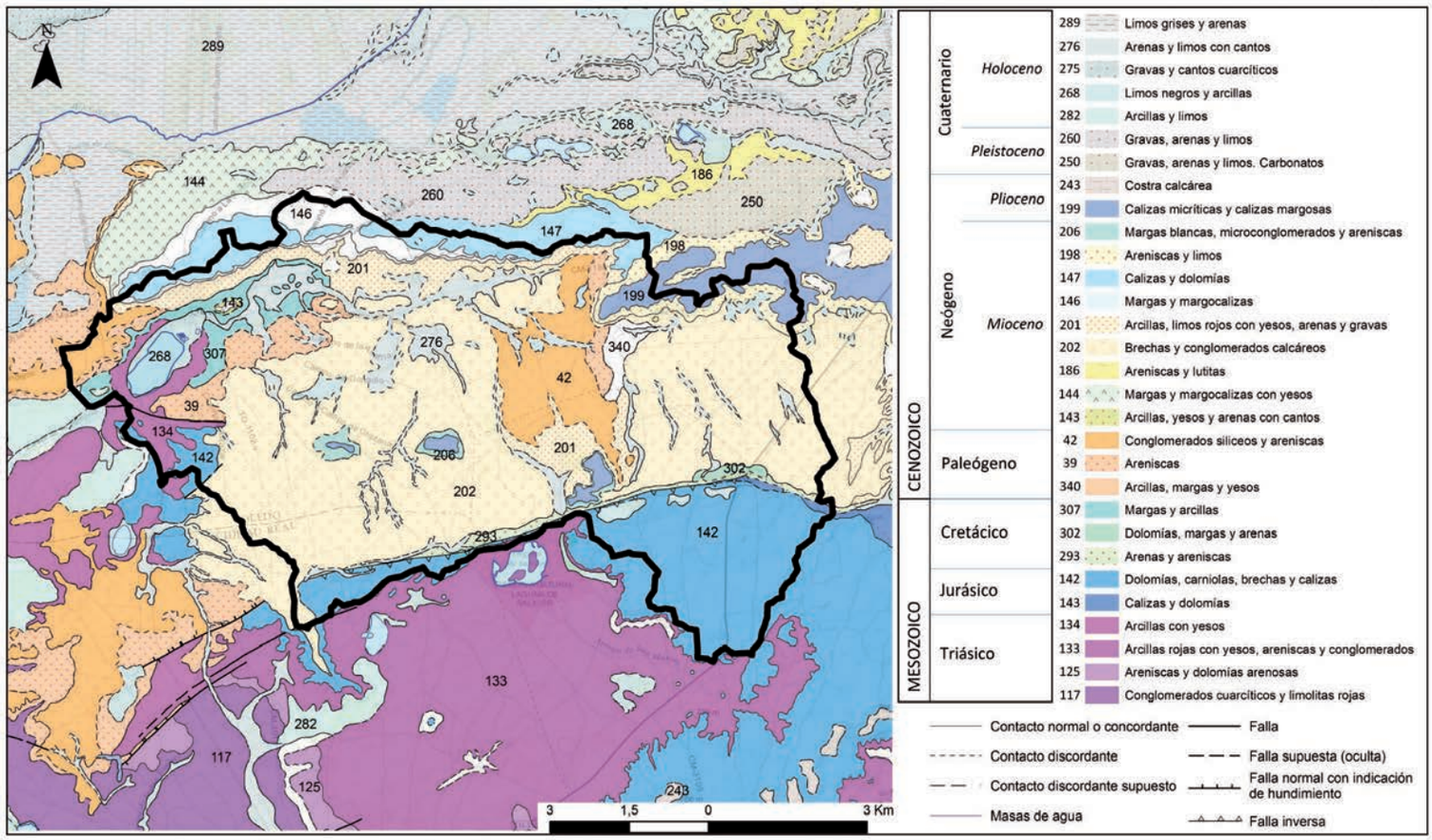


Figura 9.11. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna Grande de Quero (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

En su parte central, así como al este y oeste, aparecen depósitos de origen fluvial. En posición infrayacente aparece la Unidad detrítica inferior perteneciente al Eoceno, constituida por conglomerados silíceos y areniscas cuarcíticas de granulometría variable, con una potencia media de 15 m. Con posterioridad a la sedimentación de la formación anterior se depositó la Unidad detrítica superior de edad Oligoceno, formada por conglomerados silíceos y areniscas arcósicas de color rosado con un espesor entre 10 y 12 m. Los sedimentos miocenos son los más abundantes en cuanto a extensión dentro de la cuenca. Están formados por brechas y conglomerados calcáreos con intercalaciones limo-arcillosas de color rojizo. Presentan buzamientos poco pronunciados, en parte debidos a su pendiente deposicional y posiblemente acentuados por la elevación tectónica de origen diapírico de la plataforma de Campo de Criptana. Al no aflorar la base, su espesor se ha estimado en algunas decenas de metros. Por su parte, los sedimentos cuaternarios quedan restringidos, por un lado a los fondos de valle constituidos por arenas y limos con cantos depositados por flujos de baja energía propios de la red de drenaje dendrítica y, por otro, a los limos negros, propios de fondos endorreicos, con cantos y arenas en las zonas periféricas y delgados encostramientos salinos.

Respecto a su comportamiento hidrogeológico (tabla 9.11), los materiales más abundantes corresponden a las brechas

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
FORMACIÓN GEOLÓGICA	**Edad**	**Tipología**	**%**
Dolomías	Jurásico	A	22
Calizas micríticas	Mioceno medio-superior	A	
Brechas y conglomerados calcáreos	Mioceno medio-superior	B	63
Conglomerados silíceos, areniscas, arcillas y limos	Eoceno-Oligoceno	C	5
Margas y arcillas	Cenomaniense-Turoniense	D	10
Arcillas, margas y limos con yesos	Triásico (Facies Keuper)	D	
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Tabla 9.11. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna Grande de Quero

y conglomerados calcáreos del Mioceno con permeabilidad media (Tipología B: 63%). Entre los de alta permeabilidad (Tipología A: 22%) se encuentran el resto de los sedimentos miocenos, como las calizas micríticas y las dolomías jurásicas. El 15% restante lo forman los sedimentos paleógenos constituidos por conglomerados silíceos, areniscas, arcillas y limos, considerados de baja permeabilidad (Tipología C: 5%), y los sedimentos clasificados como impermeables (Tipología D: 10%). En esta última tipología se engloban las margas y arcillas del Cenomaniense-Turoniense y las arcillas, margas y limos con yesos del Trías en facies Keuper.

Hidrogeología

La formación geológica sobre la que se dispone la laguna Grande de Quero, como se ha comentado en el epígrafe de geología, corresponde a los sedimentos de arcillas con yesos pertenecientes al Trías en facies Keuper (Tk). Esta formación es netamente impermeable, especialmente en su mitad superior. Eventualmente pueden existir finos horizontes de areniscas y conglomerados, pero al estar englobados dentro de las arcillas con yesos presentan una conexión muy restringida con el exterior de manera que carecen de una adecuada alimentación hídrica y, por tanto, con una gran dificultad para renovar el agua que puedan contener. Esto también supone tiempos de tránsito muy altos que propician una fuerte interacción entre el agua y los sedimentos que la contienen, ricos en yesos, confiriéndole a ésta una elevada salinidad (figura 9.12).

En los bordes del humedal, y prácticamente rodeándolo en su totalidad, afloran formaciones pertenecientes al Cenozoico con una estructura general tabular ligeramente basculada. Su carácter deposicional es detrítico, con una litología de areniscas y conglomerados silíceos (Unidad detrítica inferior del Eoceno), conglomerados silíceos y areniscas (Unidad detrítica superior del Oligoceno), y brechas y conglomerados carbonáticos limosos (Mioceno). Estas formaciones presentan permeabilidad media por porosidad intergranular, pero carecen de relación con la laguna al situarse sobre los sedimentos impermeables de las margas y arcillas cretácicas (Cenomanienses), dispuestas a su vez sobre sobre el Trías Keuper. El esquema descrito imposibilita cualquier relación hídrica entre las aguas superficiales y las subterráneas ya que esta última formación presenta un gran espesor (150 m), con unos 50 m superiores compuestos por arcillas con yesos. Este hecho también es la causa de la ausencia de pozos y sondeos en el entorno, así como del carácter hipersalino de las aguas de la laguna, con facies sulfatadas-cloruradas y valores habituales de CE entre los 130.000 y 270.000 µS/cm.

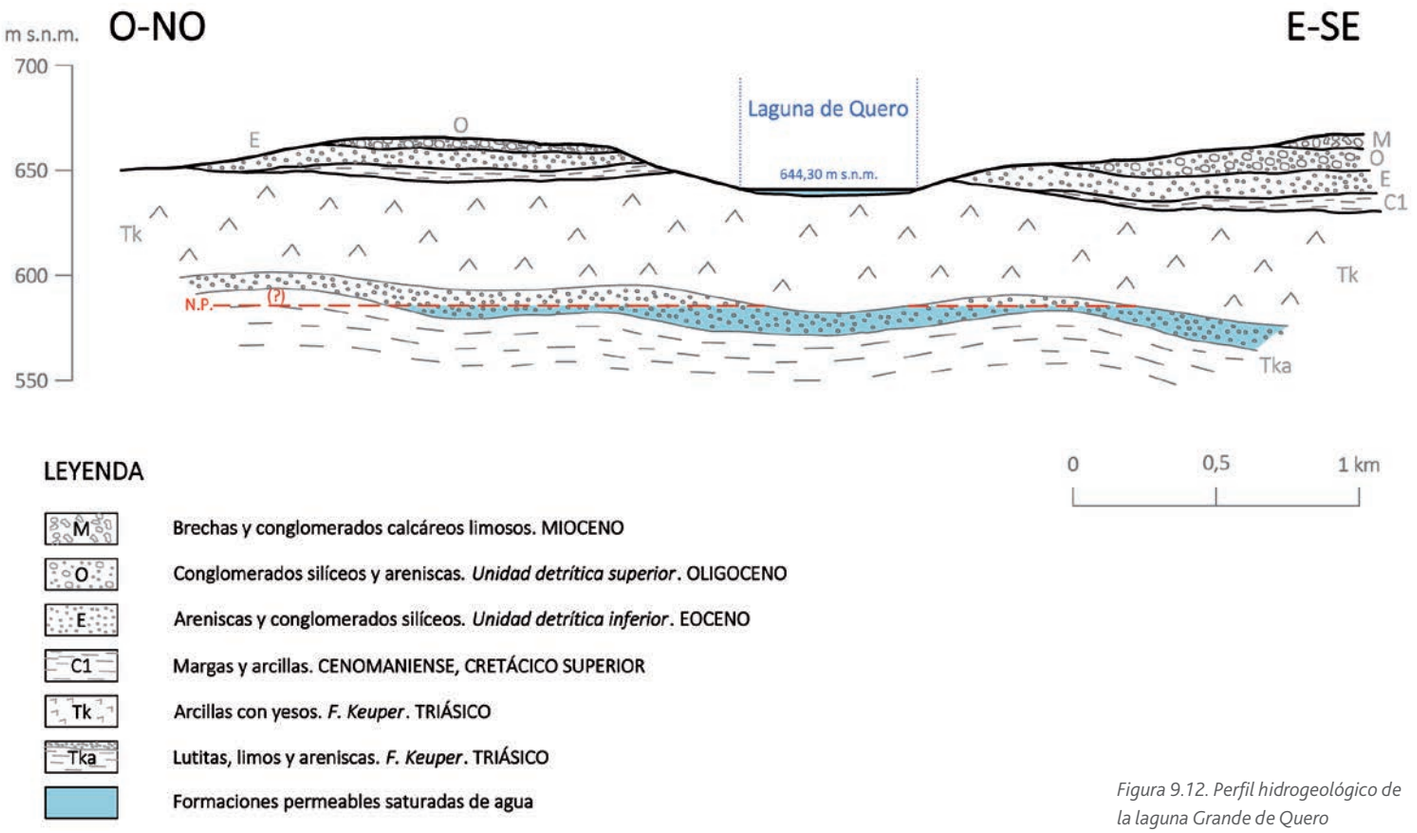


Figura 9.12. Perfil hidrogeológico de la laguna Grande de Quero

Hidroquímica

El agua de la laguna Grande de Quero presenta un valor de conductividad eléctrica (CE) de 77.600 µS/cm, propia de su carácter salino, con un pH de 8,79.

Entre los aniones mayoritarios destacan los sulfatos y los cloruros, que alcanzan los 86.656 y 20.200 mg/L respectivamente, con un valor de 186 mg/L para el anión bicarbonato. En el caso de los cationes predominan el magnesio y el sodio (12.327 y 6.915 mg/L respectivamente), a los que les sigue el potasio, con 279 mg/L, siendo el calcio el catión minoritario con apenas 23 mg/L. En consecuencia, la facies hidroquímica es sulfatada magnésica (figuras 9.13 y 9.14).

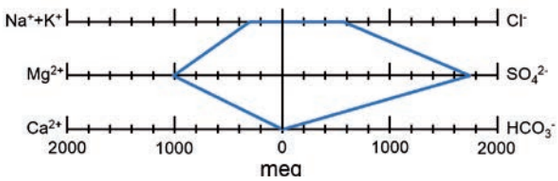


Figura 9.13. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna Grande de Quero. Fecha de análisis 25/11/2014

La tabla 9.12 recoge algunos de los parámetros analizados en la muestra de la laguna, comparados con los valores recogidos en la normativa que regula la calidad para aguas de consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero), por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad de dicha agua.

La CE del agua de la laguna para el periodo diciembre de 2012 hasta abril de 2014 (figura 9.15) registra valores medios y más frecuentes del orden de 230.000 µS/cm. No obstante, presentan oscilaciones importantes, con valores máximos seguidos de valores mínimos,

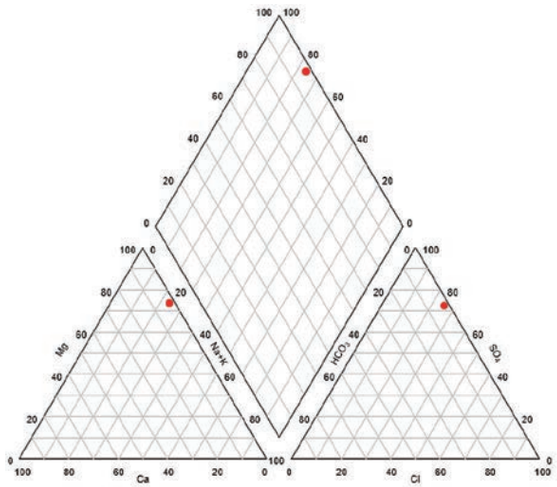


Figura 9.14. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de la muestra de la laguna Grande de Quero

de tal forma que en diciembre, tanto de 2012 como de 2013, se registran mínimos entre 82.100 y 87.500 µS/cm. El valor máximo se asienta en octubre de 2013 precedido de un importante repunte de la CE en junio de ese mismo año, con 592.000 y 490.500 µS/cm respectivamente. Abril de 2014 arroja un nuevo alto de la CE, siendo el último dato de la serie.



Figura 9.15. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna Grande de Quero entre diciembre de 2012 y abril de 2014

	Fecha de análisis			25/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	120	10
	Boro	B	mg/L	0,777	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	20.200	250
	Conductividad	CE	µS/cm	77.600	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	561	50
	pH	-	Ud de pH	8,79	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	6.915	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	83.656	250

Tabla 9.12. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

La laguna Grande de Quero, desde el punto de vista de su funcionamiento hidrológico, pertenece a la tipología de humedales en los que su alimentación proviene de manera exclusiva de los aportes superficiales. En consecuencia, y como es típico de estos ecosistemas, su hidroperiodo se caracteriza por la presencia de agua durante la estación húmeda y la total desecación de la cubeta durante la estación seca. Las particularidades climáticas de la zona, la extensión y morfología del área vertiente y el grado de permeabilidad de las formaciones geológicas que afloran en ella están en el origen y son los factores que controlan el proceso de llenado y vaciado del vaso de la laguna, así como de la calidad de sus aguas.

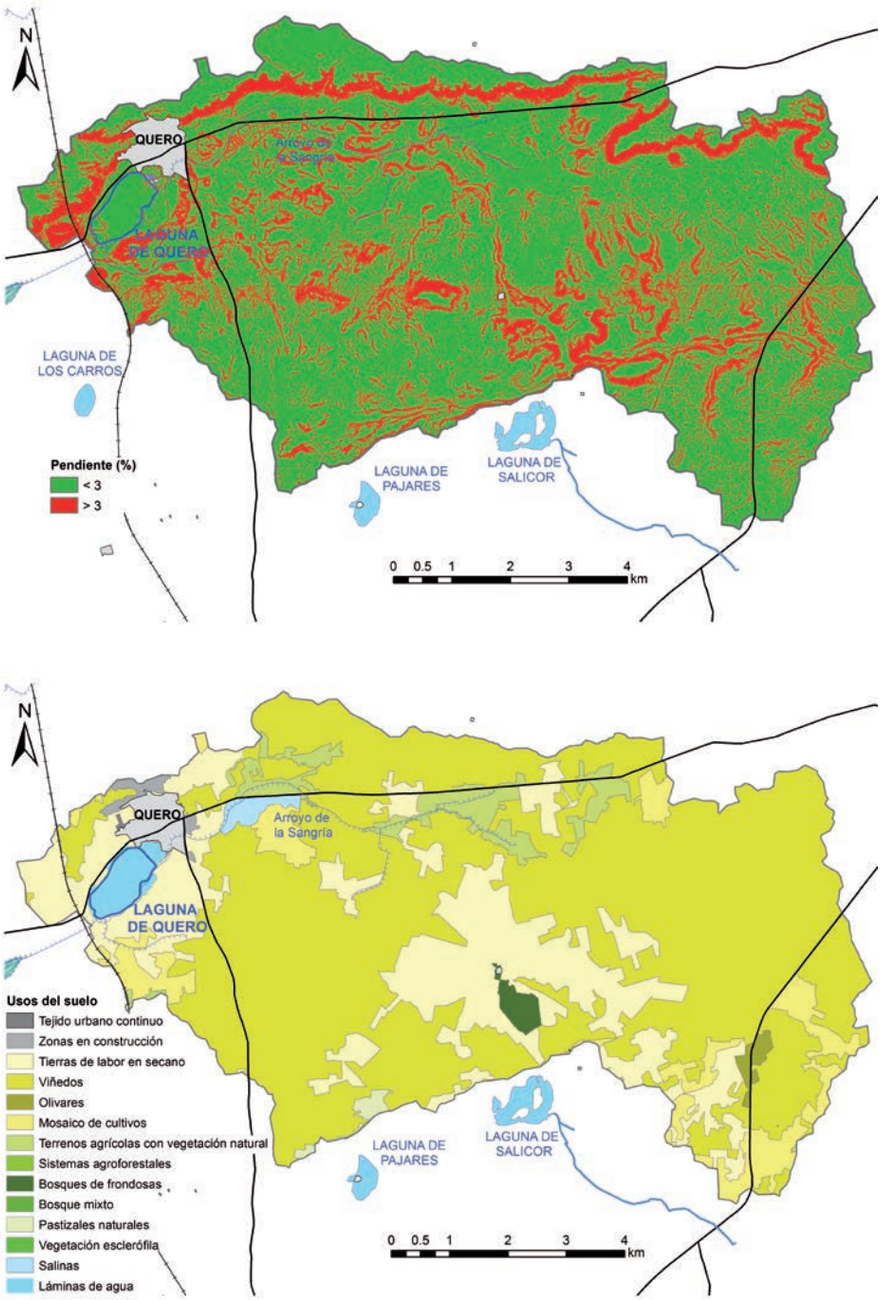


Figura 9.16. Cuenca hidrológica de la laguna Grande de Quero. Mapa de pendientes (arriba) y mapa de usos del suelo (abajo) (Corine Land Cover 2012)

En Quero, dichos factores han generado un humedal hipersalino de elevada temporalidad, con una lámina de agua de muy escasa profundidad, que gran parte del año se encuentra seco.

Los condicionantes climáticos, topográficos y geológicos imperantes determinan la inexistencia de relación entre la laguna y las aguas subterráneas, circunstancia refrendada por la ausencia de surgencias y de cualquier tipo de drenaje difuso hacia su cubeta. En consecuencia, los aportes al sistema provienen de la escorrentía generada en la cuenca vertiente y de la precipitación caída directamente sobre su vaso. Coherente con este modelo, el drenaje del sistema hidrológico se verifica exclusivamente por evaporación del agua almacenada en la cubeta durante los periodos húmedos.

Balance hídrico

Como se ha procedido para el conjunto de los ecosistemas estudiados, el balance hídrico de la laguna Grande de Quero se ha determinado mediante el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua a su vaso, según la metodología desarrollada en el proyecto Ecolake. Las entradas corresponden, como se ha comentado, a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada (máximo 150,8 ha) y a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (7.756 ha), mientras que las salidas son debidas únicamente a la evapotranspiración producida sobre la lámina de agua libre, limitada por el volumen de agua disponible, ya que la laguna llega a secarse.

El análisis geológico de la cuenca vertiente ha arrojado como resultado un suelo de tipo B. Por su parte, la figura 9.16 muestra como la pendiente media hallada ha sido inferior al 3% (2,3%), mientras que al uso de la tierra se la ha asignado la tipología de labor de secano con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 9.16). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

Los datos climáticos se han obtenido de la estación agroclimática CR08 Herencia del SIAR, para el periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo que para este caso se ha elegido el valor kc=1, y para la determinación de la evaporación se ha tenido en cuenta la extensión de la lámina de agua de la laguna en cada paso de tiempo.

El número de curva resultante ha sido recalibrado mediante el ajuste de los volúmenes calculados por dicho método con los obtenidos a partir de medidas limnimétricas recopiladas durante el proyecto Ecolake (2012-2014).

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC *(Antecedent Runoff Condition)* 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=38, que se corresponde con un valor de CN I=21 para condiciones de humedad baja y CN III=58 para condiciones de humedad alta. Esto supone unos valores umbral de escorrentía (P_0) medio de 82,88 mm, con un máximo de 204,48 mm y un mínimo de 37,56 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 9.13).

La batimetría de la cubeta se ha obtenido del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG, se ha determinado el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación, con pasos de altura de 0,01 m. Posteriormente, se han establecido y representado las líneas de tendencia de las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen (figura 9.17).

Los resultados de la simulación aplicada al periodo 2012-2014 muestran un comportamiento estacional en el que la laguna normalmente está seca durante la temporada estival y almacena agua en los meses de invierno y primavera. En concreto, la laguna contiene volúmenes de agua considerables desde noviembre de 2012 hasta mayo de 2013, y volúmenes menores entre diciembre de 2013 y marzo de 2014.

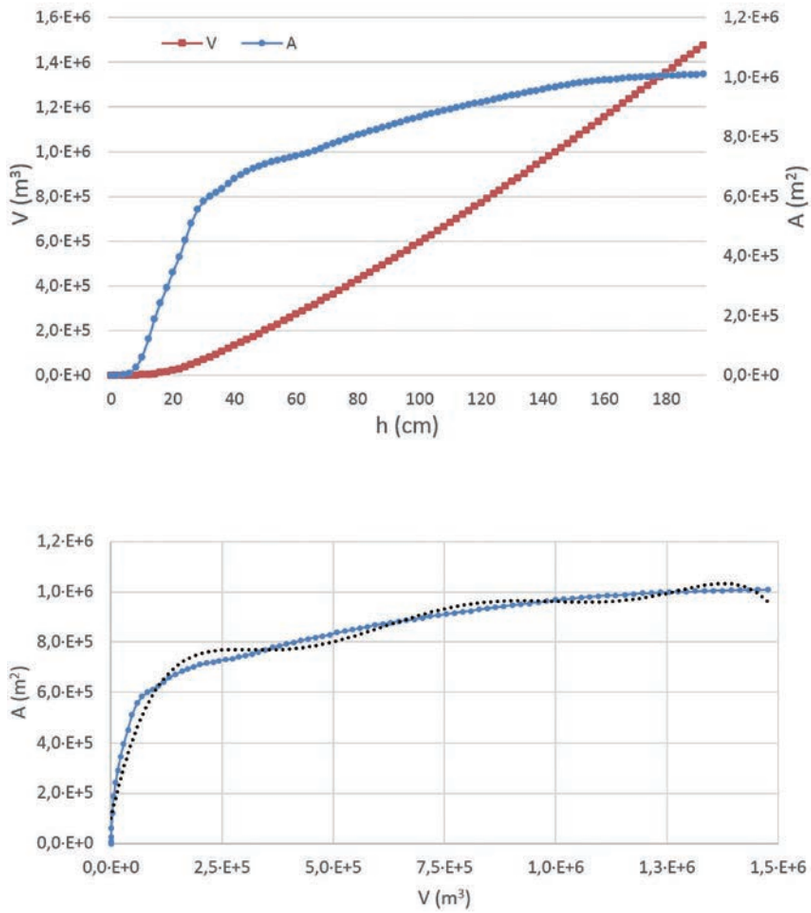


Figura 9.17. Laguna Grande de Quero. Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A) Abajo: relación entre área inundada (A) y volumen almacenado (V)

El balance hídrico medio anual obtenido para el referido periodo indica que la precipitación directa sobre la lámina de agua libre de la laguna es de 183.186 m^3. Ésta ha supuesto el único aporte de agua al no haberse producido ningún proceso de escorrentía durante dicho lapso temporal (según la modelización realizada). Estos aportes se ven contrarrestados por las pérdidas de agua provocadas por la evapotranspiración (tabla 9.14).

Con los parámetros validados para el periodo de calibración se ha procedido a la determinación del balance

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
< 3	> 50% Labor de secano	Media baja	B	204,48	82,88	37,56

Tabla 9.13. Cuenca de la laguna Grande de Quero. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Tabla 9.14. Balance hídrico de la laguna Grande de Quero. Periodo 2012-2014

Año hidrológico	ENTRADAS			SALIDAS	Variación de volumen (m^3)
	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)	
2012/13	240.092	0	240.092	236.402	3.690
2013/14	126.280	0	126.280	129.970	-3.690
Media periodo	183.186	0	183.186	183.186	0

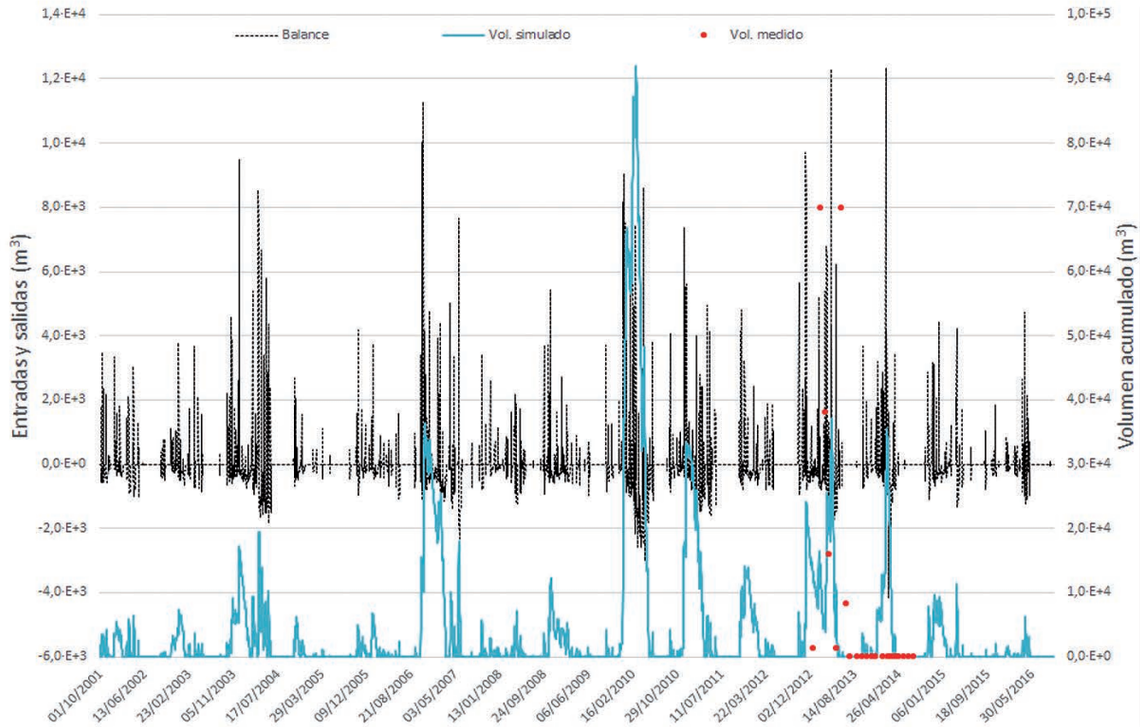


Figura 9.18. Simulación del balance hídrico para la laguna Grande de Quero. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

hídrico hiperanual del humedal (figura 9.18) para los últimos 15 años (2001-2016). En esta simulación se observa que la laguna ha permanecido seca la mayor parte del tiempo, excepto para las épocas húmedas registradas en 5 años hidrológicos: 2003/04, 2006/07, 2009/10, 2010/11 y 2012/13.

Los resultados de la simulación muestran que el 60% de los días la laguna se ha encontrado seca o prácticamente seca (lámina de agua <10.000 m^2, aproximadamente 210 m^3). La superficie máxima de inundación se alcanzó en el año hidrológico 2009/10, como resultado de un periodo excepcionalmente húmedo iniciado a mediados de diciembre de 2009. El balance hídrico hiperanual (15 años) muestra que sus aportes se deben únicamente a precipitación directa (88.672 m^3/año), ya que según el modelo durante el periodo analizado no se ha generado ningún episodio de escorrentía (tabla 9.15), mientras que la evapotranspiración supone la pérdida de estos aportes.

Tabla 9.15. Balance hídrico hiperanual de la laguna Grande de Quero. Periodo 2001-2016

DATOS			ENTRADAS			SALIDAS
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km^2)	Área media inundada (m^2)	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)
348,90	77,56	74.472	88.672	0	88.672	88.672

Evolución visual del territorio

Las imágenes aéreas de los años 1956 y 2012 (figura 9.19) ofrecen dos perspectivas del entorno más inmediato de la laguna y permiten analizar la trasformación sufrida por el territorio a lo largo de estos 55 años. El primer aspecto a destacar es el contexto urbano, que no ha experimentado un crecimiento similar al de las poblaciones cercanas, manteniéndose el núcleo urbano prácticamente idéntico. No sucede lo mismo con el desarrollo industrial, que se ha extendido entre la población y el humedal. Respecto al vaso lagunar, se aprecian las modificaciones y alteraciones causadas por la actividad salinera.

Durante el lapso temporal analizado no se han creado nuevas infraestructuras lineales, centrándose en la mejora de las existentes, tanto de carreteras como de la red ferroviaria. Tampoco los caminos vecinales de acceso a los terrenos agrarios han sufrido modificaciones significativas, siendo sólo visible el cambio de cultivo en algunas de las parcelas.

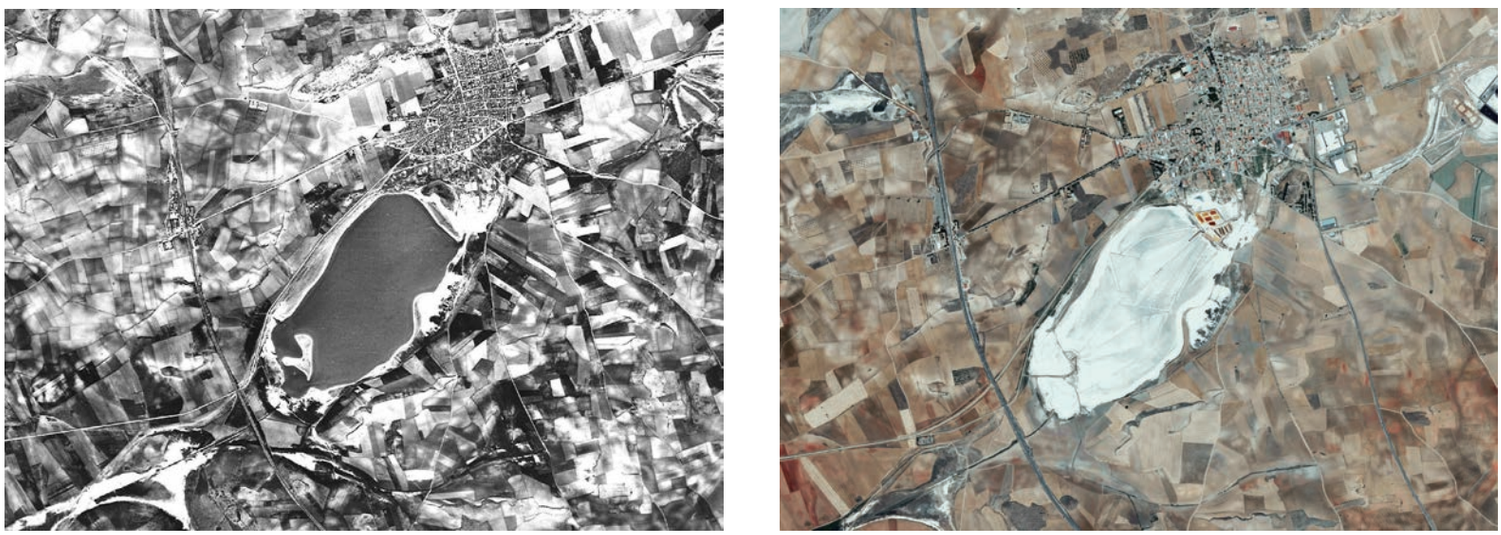


Figura 9.19. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

Las fotografías posteriores (figuras 9.20 a 9.25) muestran las distintas etapas que evidencian el carácter estacional del humedal, con una lámina de agua de muy poco espesor pero que ocupa una gran superficie durante los periodos húmedos, y áreas salinas de tonalidades blanquecinas y marrones en tránsitos secos, manteniéndose en su entorno una vegetación no muy abundante pero persistente a lo largo del año.



Figura 9.20. Panorámica de la laguna Grande de Quero en diciembre de 2013 (B.J. Ballesteros)



Figura 9.21. Laguna en época de lluvias. Noviembre de 2014 (B.J. Ballesteros)



Figura 9.22. Vegetación perilagunar y humedal en época seca. Agosto de 2015 (C. Camuñas)



Figura 9.23. Lámina de agua en abril de 2018 (C. Camuñas)

Figura 9.24. Costras salinas en julio de 2016 (C. Camuñas)



Figura 9.25. Terraplén de la vía férrea al sur de la laguna. (C. Camuñas)

Capítulo 10



LAGUNA DE EL LONGAR

LILLO (TOLEDO)





10. LAGUNA DE EL LONGAR

Situación geográfica, coordenadas y accesos

Situada a unos 2,3 km al suroeste del núcleo urbano de Lillo, provincia de Toledo, y a unos 74 km de la capital, la laguna de El Longar conforma el complejo lagunar endorreico de Lillo junto con las lagunas de Altillo Grande, Altillo Chica y La Albardiosa, quedando separada de las dos primeras por la carretera CM-3001 (figura 10.1). Las coordenadas de su punto central son X: 472250, Y: 4394800 (UTM ETRS89 H30), cuya altitud es de 678,6 m s.n.m., según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

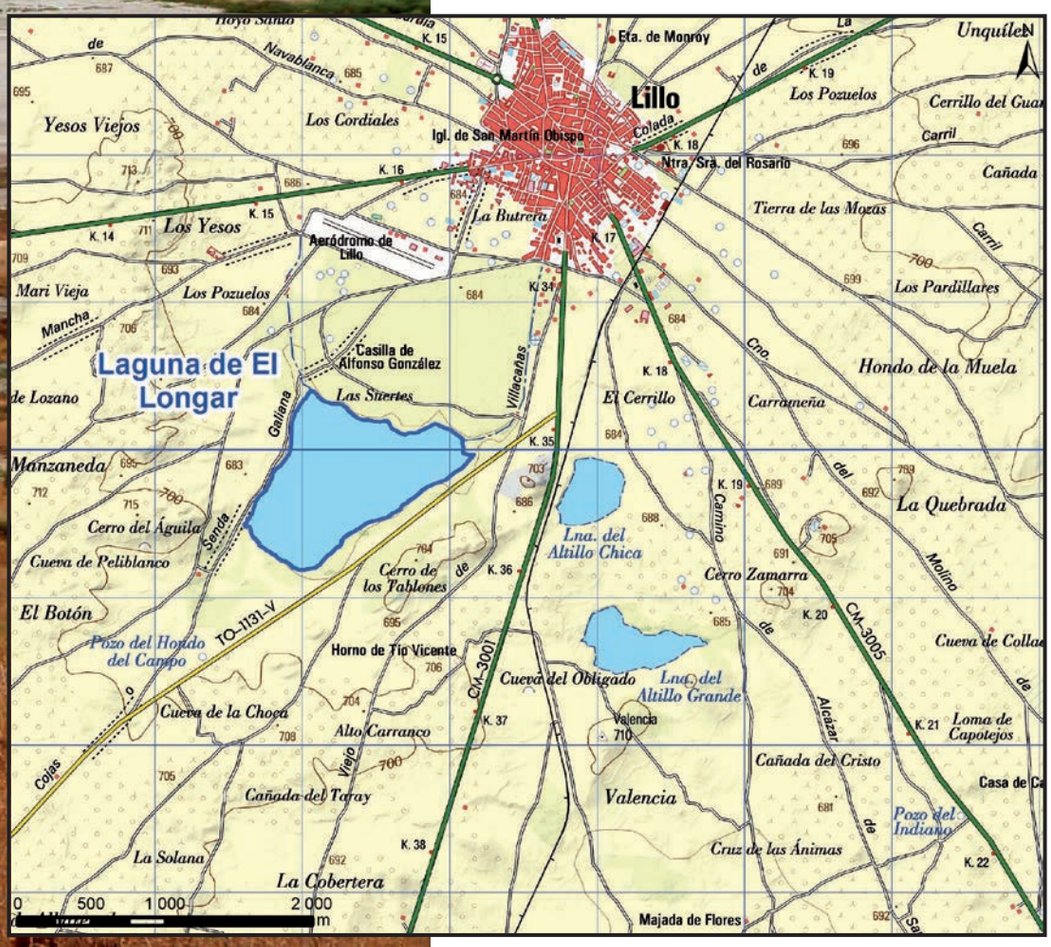


Figura 10.1. Situación geográfica de la laguna de El Longar (hoja 659 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)



Figura 10.2. Laguna de El Longar en el año 2012 (Archivo Fundación Global Nature)

El humedal es de fácil localización y su acceso es libre. Para tener una buena visión de él, se debe tomar la carretera local TO-1131-V que parte desde el p.k. 34,900 de la CM-3001. Esta vía de tierra está elevada unos metros sobre la zona inundable, por lo que tras recorrer unos 700 m se puede contemplar una excelente panorámica de la laguna.

En cuanto a las vías que la circundan, por el este se encuentra La Colada de las Cojas o senda Galiana, que discurre casi paralela al margen oeste de la laguna, mientras que más al norte se sitúa la Colada de La Mancha que conecta las localidades toledanas de El Romeral y Tembleque. A ellas se añade por el oeste, la Cañada Real Soriana Oriental.

En el entorno lagunar existe una amplia red de caminos de servicio, fundamentalmente de uso agrario, como el de las Eras al norte, el del Pozo de los Tablones al sur y los caminos del Pozaño y Viejo de Villacañas a Lillo, al oeste y este respectivamente.

Características fisiográficas

La morfología de la laguna se asemeja a un triángulo de vértices achatados orientado en dirección noreste-suroeste. Su longitud media es de 1,1 km y su anchura media de 730 m, con un perímetro aproximado de 4,4 km y una superficie máxima de inundación de 94,64 ha (Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021, BOE, 2016).

Geomorfológicamente difiere algo del resto de lagunas mesetarias manchegas recogidas en esta publicación. Sobre la extensa llanura imperante en la zona aparece una lineación de lomas que bordean la laguna por su extremo oeste y sur, entre las que destacan el Cerro del Águila y el Cerro de los Tablones, elevados unos 30 m sobre el vaso. Al noreste, y en un entorno más alejado, se alza con una amplia visibilidad el Cerro de San Antón, referente visual geoestratégico de la comarca.

La laguna, de sólo algunos centímetros de profundidad, tiene un carácter estacional y sus recursos hídricos se ven incrementados por el aporte de aguas residuales depuradas de la vecina población de Lillo. El suelo circundante es eminentemente agrícola, con parcelas de cultivos y pastizales halófilos, destacando la vegetación esteparia en los relieves más acusados (figura 10.2). La red fluvial, poco reseñable, queda circunscrita al río Riansares que discurre a unos 7 km hacia el este.

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA DE EL LONGAR
RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA
Declaración de la UNESCO de 30 de noviembre de 1980
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Humedales de La Mancha", código ES4250010 Zona de Especial Protección para las Aves Z.E.PA. "Humedales de La Mancha", código ES0000091
REFUGIO DE FAUNA
Decreto 39/1994, de 17 de mayo, por el que se declaran refugio de fauna las lagunas de El Longar, Altillo y Albardiosa, del término municipal de Lillo en la provincia de Toledo (DOCM nº 27, de 20-05-1994)
RESERVA NATURAL
Decreto 85/2006, de 20 de junio, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las lagunas de El Longar, Altillo Grande y Altillo Chica o del Cerrillo situadas en el término municipal de Lillo de la provincia de Toledo, y se declara la Reserva Natural de las lagunas de El Longar, Altillo Grande y Altillo Chica (DOCM nº 129, de 23-06-2006)

Tabla 10.1. Figuras de protección de la laguna de El Longar

Normativa específica y figuras de protección

El Longar forma parte de la Reserva de la Biosfera de "La Mancha Húmeda", declarada por la UNESCO en 1980, y está protegida por varias figuras jurídicas de ámbito europeo: Red Natura 2000, Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Humedales de La Mancha". También ha sido declarada Refugio de Fauna en 1994 y Reserva Natural en junio de 2006 (tabla 10.1).

En la actualidad es propiedad de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y se encuentra en un buen estado de conservación, en gran medida por las restricciones dictadas en su entorno para impedir efectos negativos.

Climatología

Las características climáticas se han determinado a partir de la estación meteorológica TO10, La Puebla de Almoradiel, situada al noroeste de esta localidad toledana, perteneciente a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha (tabla 10.2).

La precipitación media anual de la zona en los últimos 15 años (2001/02-2015/16) ha sido de 344,1 mm, con un máximo de 571,4 mm en el año 2003/04 y un mínimo de 162,8 mm en el 2004/05. A nivel diario el hecho más destacado es el intenso episodio de lluvia torrencial ocurrido el 16 de enero de 2003 en el que se acumularon 100,6 mm en un solo día. Los datos de precipitación más significativos se muestran en la tabla 10.3.

Los registros mensuales reflejan que en todos los meses se superan los 30 mm de lluvia, salvo en los de verano (junio, julio, agosto y septiembre), siendo el más húmedo el de abril y el más seco el de julio con valores de 48,6 mm y 4,7 mm, respectivamente. En este periodo la precipitación máxima acumulada en un solo mes fue de 128,8 mm (enero de 2003).

Registros climáticos anteriores a los de la estación TO10 del SIAR se han obtenido de la estación meteorológica Quintanar de la Orden (nº 4061), de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que abarca un lapso temporal de 40 años desde 1960/61 a 1999/2000 (tabla 10.4). Su análisis comparativo permite concluir que la precipitación media anual en los últimos 15 años ha sufrido un ligero descenso, casi 18 mm, respecto a los 40 años precedentes.

Por su parte, la temperatura media anual es de 13,7 °C (tabla 10.5) y las medias de las máximas y mínimas diarias de 21,2 °C y 6,4 °C, respectivamente.

Valores ambientales

Valoración global

El complejo endorreico donde se enmarca El Longar se caracteriza por la presencia de sales evaporíticas, siendo la laguna más productiva de las que lo integran. De carácter hipersalino y temporal en origen, aunque la contribución de las aguas residuales del núcleo urbano de Lillo ha incrementado sus recursos hídricos y modificado su funcionamiento primigenio. El valor ambiental del ecosistema reside en buena

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
TO10	La Puebla de Almoradiel	488433	4384582	698	01/10/2001	30/09/2016

Tabla 10.2. Datos de ubicación y periodo de registro temporal empleado (SIAR)

PRECIPITACIÓN (mm)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**344,1**	**1,0**	**33,6**	**31,2**	**36,6**	**48,6**	**36,4**	**21,9**	**4,7**	**8,2**	**16,5**	**45,9**	**34,3**	**33,4**
Máxima absoluta	571,4	100,6	128,8	67,6	115,0	102,4	105,6	85,2	17,9	34,8	44,2	103,6	91,7	115,4
Fecha	2003/04	16/01/2003	2003	2010	2013	2016	2007	2010	2014	2003	2012	2003	2012	2009
Mínima absoluta	162,8	0,0	0,0	2,6	6,3	0,8	0,0	2,2	0,0	0,0	0,6	20,8	9,6	0,0
Fecha	2004/05	-	2005	2002	2014	2014	2014	2012	2005 y 2009	Varios años	2011	2009	2007	2015

Tabla 10.3. Valores de precipitación más relevantes registrados en la estación termo-pluviométrica TO10 La Puebla de Almoradiel (SIAR)

Tabla 10.4. Datos de ubicación, registro temporal y valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica nº 4061 Quintanar de la Orden (AEMET)

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
4061	Quintanar de la Orden	496017	4382514	691	1960/61	1999/2000

PRECIPITACIÓN (mm)		
	Precipitación anual	Fecha
Media	**362,0**	1960/61 - 1999/2000
Máxima absoluta	626,2	1974/75
Mínima absoluta	103,9	1966/67

Tabla 10.5. Valores de temperatura más relevantes registrados en la estación termo-pluviométrica TO10 La Puebla de Almoradiel (SIAR)

TEMPERATURA (°C)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**13,7**	**-**	**4,2**	**5,3**	**8,8**	**12,2**	**16,5**	**22,0**	**25,0**	**24,2**	**19,5**	**14,2**	**7,9**	**4,4**
Máxima media	21,2	-	10,6	12,1	15,9	19,2	23,9	30,2	33,9	33,3	28,0	21,7	14,6	11,0
Mínima media	6,4	-	-1,2	-0,9	1,9	5,2	8,4	13,1	15,0	14,9	11,4	7,6	2,1	-1,0
Máxima absoluta	-	42,1	20,5	23,3	26,0	29,7	37,8	39,2	40,7	42,1	39,9	33,8	26,0	19,1
Fecha	-	10/08/12	27/01/03	27/02/10	24/03/02	08/04/11	17/05/06	29/06/05	06/07/15	10/08/12	07/09/16	02/10/04	01/11/09	05/12/15
Mínima absoluta	-	-13,3	-13,3	-10,2	-8,6	-3,5	-1,2	0,0	0,0	5,5	0,0	-3,5	-10,0	-13,3
Fecha	-	15/12/09	28/01/05	23/02/12	08/03/05	02/04/16	04/05/02	03/06/03	31/07/08	21/08/04	11/09/02	27/10/10	18/11/07	15/12/09

parte en sus extremas condiciones, propiciadas por la elevada salinidad de sus aguas, lo que determina la composición de sus poblaciones biológicas. Entre éstas cabe destacar, a pesar de su estado alterado, los tapetes microbianos fotosintéticos que cubren su lecho (figura 10.3).

Biodiversidad: flora y fauna

La eventualidad del hidroperiodo y los elevados niveles de salinidad impiden el establecimiento de vegetación cormofítica sumergida, limitándose a la presencia de estepas de flora salina en la zona perilagunar (Cirujano, 1980a). De este modo, la laguna presenta una orla más o menos continua de matorral halófilo compuesto principalmente de hierba alacranera (*Arthrocnemum macrostachyum*), así como distintas especies del género *Suaeda*, particularmente el almajo dulce (*Suaeda vera*) y la saladilla (*Limonium carpetanicum*). En algunas zonas es posible observar arbolillos de tarays (*Tamarix gallica*), aunque de forma aislada. Por su parte, la *Salicornia ramosíssima*, característica en estos ambientes, se extiende a lo largo de una banda muy próxima a la cubeta. El humedal sustenta también formaciones graminoides de albardinales (*Lygeum spartum*) de gran importancia dentro de la región, si bien se encuentran más extendidas en otras lagunas del complejo. Además de estas estepas de flora salina, se observa un desarrollo más limitado de carrizo (*Phragmites australis*) y junco (*Juncus maritimus*) en la zona más próxima al canal de vertido de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR). No obstante, también existe una cierta dinámica en la distribución de esta vegetación debido a quemas periódicas intencionadas para favorecer el desarrollo del pastizal y de las superficies pastoreadas.

La presencia de aves depende del grado de encharcamiento de la laguna, tal y como demuestran los censos llevados a cabo en los últimos años en el contexto del proyecto Ecolake (Gil-Delgado *et al.*, 2016), donde la abundancia de la avifauna suele ser moderada o baja, con poblaciones inferiores a los 400 individuos, y una riqueza de especies que no suele superar el número de 6, con un promedio, calculado a partir de censos mensuales, en torno a 3 especies. En términos relativos, abunda el flamenco común (*Phoenicopterus roseus*), con mayor presencia en determinados periodos. Por otra parte, existen poblaciones de anátidas, aunque menos numerosas pero más estables en el tiempo, y de tarro blanco (abundantes en algunos periodos). Algo menos conspicuas son la cigüeñuela común (*Himantopus himantopus*) y la avoceta común (*Recurvirostra avosetta*). Igualmente, la laguna cuenta con una de las mejores colonias manchegas de pagaza piconegra

(*Gelochelidon nilotica*), con poblaciones superiores a los 200 individuos en meses cálidos, siendo por ello una zona de gran importancia para la nidificación de dicha especie.

Biodiversidad microbiana y del plancton

Los estudios de la red de control biológico de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, realizados por la empresa URS entre los años 2007 a 2010, y disponibles en la página web de este organismo, permiten tener una idea de la composición de la comunidad del fitoplancton de la laguna. Estos constatan las elevadas densidades de poblaciones de clorofíceas clorococales (como *Oocysis* sp. y *Chlorella* sp.) durante ciertas épocas del año. No obstante, Alonso (1998) describe en periodos anteriores una comunidad con una notable predominancia de otra clorofícea como *Ankistrodesmus* sp., lo que en cualquier caso redunda en la idea de que la biodiversidad de la comunidad fitoplanctónica es reducida. El hecho cabe atribuirlo tanto a la naturaleza extrema del ambiente como a su deteriorado estado trófico, el cual favorece el desarrollo masivo de poblaciones de unas pocas especies.

Un rasgo característico de la laguna es la presencia de tapetes microbianos dominados por cianobacterias, que se erigen en los productores primarios más importantes de la misma. No obstante, se encuentran bastante alterados debido al estado de eutrofización del humedal. Su estructura es similar a la observada en otros ambientes evaporíticos, con una capa superficial de color verdoso compuesta principalmente de cianobacterias filamentosas, en particular dos morfotipos de *Oscillatoria* y uno de *Pseudoanabaena* (Guerrero y de Wit, 1992). Por debajo de esta última puede observarse en muchos casos una lámina de bacterias purpúreas sulfúreas fotosintéticas. Tanto por la presencia de estos organismos, como por la acumulación de sedimentos orgánicos sobre la que se asientan los tapetes microbianos, cabe pensar que en esta laguna las poblaciones de bacterias sulfatorreductoras podrían ser importantes.

La precipitación de minerales bioinducida por las poblaciones bacterianas, además de la precipitación antigénica (Cabestrero *et al.*, 2013), conlleva la presencia de estructuras sedimentarias distintivas que, a su vez, condicionan la estabilidad de los sedimentos del lecho (Sanz *et al.*, 2012 y 2013), siendo por tanto un factor determinante la presencia de estas comunidades bentónicas en la dinámica de los sedimentos de la laguna. También es importante considerar el papel que los tapetes microbianos juegan en la bioestabilización del sedimento lagunar, estimándose que pueden resistir velocidades de corriente próximas a 1,60 m/s antes de ser desprendidos del lecho (Sanz *et al.*, 2015). Estas consideraciones estructurales resultan de interés en estudios en los que se pretende analizar formaciones sedimentarias biogénicas observadas en el registro fósil (como las series evaporíticas 'terciarias') de ambientes salinos continentales,



Figura 10.3. Tapete microbiano que cubre buena parte de la laguna (A. Camacho)

que pueden resultar análogas a las observadas en la laguna de El Longar (Sanz *et al.*, 2013).

La comunidad del zooplancton es poco diversa, como corresponde a sistemas hipersalinos que además sufren un cierto grado de alteración. En este sentido, en las observaciones realizadas en la laguna en los años 90 del pasado siglo, como base para la elaboración del Plan de Ordenación de Recursos Naturales (Vicente *et al.*, 1998), cuando su estado trófico era incluso más deficiente que en la actualidad, se destaca la casi sola presencia en el plancton del rotífero *Brachionus plicatilis*. En relación a la comunidad meiobentónica, las primeras observaciones indican la existencia de los copépodos *Arctodiaptomous salinus* y el harpacticoide *Cletocamptus retrogresus* (Alonso, 1998). En estudios posteriores se describe sin embargo una comunidad dominada por cladóceros en comparación a copépodos y anostráceos (Boronat *et al.*, 2001). Otros estudios, como los de Roca *et al.* (2000), sugieren que la laguna podría haber perdido su comunidad de ostrácodos como consecuencia del deterioro de su estado trófico. Adicionalmente, existen otros estudios que destacan la presencia de poblaciones importantes de larvas y adultos de moscas efídridas en las lagunas de este complejo (Sanz *et al.*, 2013).

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos de mayor relevancia que ofrece esta laguna son:

- Servicios de soporte: mantenimiento de la biodiversidad.
- Servicios de regulación: climática, hídrica y de ciclos biogeoquímicos.
- Servicios culturales: conocimiento científico, identidad cultural, disfrute estético, ecoturismo, educación ambiental.

Estado ecológico e impactos

El Longar es la laguna más cercana al núcleo urbano de las que integran el complejo lagunar de Lillo, población de la que, como ya se ha comentado, recibe sus aguas residuales parcialmente tratadas, con concentraciones de fósforo por encima de los niveles recomendables. Guerrero y de Wit (1992) la describen ya como hipertrófica debido a estos aportes, los cuales se sumarían al natural enriquecimiento progresivo que sufre como consecuencia de su régimen endorreico. Los trabajos de la red de control biológico de la cuenca del Guadiana (años 2007 y 2010) califican la calidad ecológica de la laguna como *"mala"* de forma recurrente, tanto en base al elemento de calidad "Fitoplancton" como para las métricas "Concentración de Clorofila-a" e "Índice IGA", comprometiendo con ello la calificación de su estado ecológico global. En los mencionados trabajos tampoco se observaron patrones temporales que permitieran establecer una tendencia a la mejoría de dicho estado ecológico. Las únicas métricas con una calificación *"moderadamente buena"* correspondieron, sin embargo, a las características hidromorfológicas y fisicoquímicas de la laguna.

Estudios posteriores tampoco indican una mejoría significativa en el estado trófico del humedal. Así, el análisis de distintos parámetros de calidad del agua, llevados a cabo entre 2012 y 2014 de forma estacional por la Universidad de Valencia en el contexto del proyecto Ecolake, muestran concentraciones de clorofila-a que se mantienen, por lo general, en niveles de hipereutrofia (*sensu* OCDE, 1982). No obstante, durante algún ciclo hidrológico y, en particular, en los periodos invernales cuando la inundación del vaso lagunar es máxima, estas concentraciones se reducen hasta valores en torno a los 30 µg/l, siendo de este modo más moderados que los observados durante los periodos de recarga. Por el contrario, en el periodo previo a la desecación total de la laguna se observan concentraciones incluso más bajas de clorofila-a (<10 µg/l), lo que en cualquier caso respondería a las extremas condiciones de elevada salinidad que tienen lugar puntualmente en la época de estiaje mientras todavía mantiene una lámina de agua.

Existen otros impactos, como se describe en el Plan de Gestión de Humedales (PGH-CLM, 2015). En este aspecto, las actividades e infraestructuras próximas a la laguna que pueden tener mayor o menor incidencia sobre ella son el aeródromo deportivo, situado al norte de la cubeta, así como un campo de tiro y una pista de motocross localizados en su entorno más inmediato.

En particular, el uso de la pista de motocross del Cerro de los Tablones está prohibido entre el 1 de abril y el 30 de junio, según Decreto 85/2006, con la finalidad de minimizar impactos sobre la avifauna reproductora. Por otra parte, en el vaso lagunar existen restos de canales y diques asociados a la extracción salina, sin embargo son poco apreciables y se encuentran muy naturalizados como consecuencia de la erosión hídrica y eólica.

Valores históricos y culturales

Historia

Diversos restos arqueológicos encontrados en el Cerro de San Antón y en el yacimiento de Dancos parecen indicar que la ocupación del núcleo de Lillo se remonta a la Prehistoria, con un poblamiento que abarca desde la Edad del Hierro hasta la época medieval.

El yacimiento del Cerro de San Antón, cercano a la actual ermita de Monroy, posee vestigios que datan del Bronce Pleno (1500-1300 a.C.) y de la segunda Edad del Hierro, donde la primacía de la zona se desplazaría hacia el yacimiento de Dancos, anterior a la época romana, situado unos 10 km al suroeste sobre la Vía 29. Dicha vía, que discurre cerca de El Longar, era conocida como el Itinerario de Antonino y en su variante central unía Alces con Titulcia (SEHA, 2014). El yacimiento, con un poblamiento desde los siglos VI-V a.C. hasta la Edad Media, se encuentra en los terrenos de la ermita de Virgen de la Esperanza, junto a una antigua laguna endorreica desecada. En sus cercanías se documentan vestigios romanos y otros de época musulmana y medieval, por lo que se ha intentado identificar Dancos con la población de Alces citada en el Itinerario de Antonino en la vía XXIX de Mérida a Caesar Augusta.

Según la Sociedad Española de Historia de la Arqueología SEHA (2014), el origen del municipio de Lillo está relacionado con su posición estratégica, al encontrarse situado en el centro de una red viaria de comunicaciones que, en forma de estrella, enlaza varios pueblos de la zona: Corral de Almaguer, Villatobas, La Villa de Don Fadrique, El Romeral, Villacañas y La Guardia.

Aunque en el término municipal se han localizado restos arqueológicos dispuestos según el esquema de un campamento romano (Urbina, 2015), con *cardus* (calle con orientación norte-sur) y *decumanus* (calle con orientación este-oeste), existen pocos datos de esa época. También son escasos los relacionados con la reconquista del territorio por Alfonso VIII, quien lo entregó a la Orden de San Juan tras recuperarlo del poder del califa almohade Miramamolín, en la batalla de las Navas de Tolosa librada el 16 de julio de 1212. Posteriormente, en 1228, pasó al Arzobispado de Toledo.

Por otra parte, el nombramiento como Villa de Lillo no llega hasta el 19 de noviembre de 1430, cuando el arzobispo toledano don Juan Martínez de Contreras, previa licencia del rey Juan II de Castilla, le otorga carta de privilegio y ordenanzas propias. Pese a su título de Villa, en 1576 seguía perteneciendo al Arzobispado de Toledo y formaba parte de la gobernación de Yepes en lo civil y en lo eclesiástico del arciprestazgo de La Guardia. En 1584 fue comprada por don Pedro López de Ayala, conde de Fuensalida, en cuya progenie y en la de los condes de Miranda estuvo hasta la extinción de los señoríos en el siglo XIX.

Independientemente de la importancia histórica del municipio, el estudio de las lagunas merece un capítulo aparte dada la diferente realidad que tienen en los textos y mapas antiguos. En este sentido, la documentación histórica de la laguna de El Longar es insuficiente y no se encuentra referenciada en Las Relaciones Histórico geográficas de Felipe II, de 1576, texto de primera importancia para estudiar los pueblos de Castilla en el siglo XVI. Cuando Lillo responde al vigésimo tercer capítulo referente a las aguas, fuentes y lagunas del pueblo y de sus términos, el Concejo de la Villa no hace mención a sus lagunas: *"de las aguas dulces para la gente se provee de ciertos pozos media legua de esta villa, y de esta no hay mucha abundancia, hay en el pueblo y cercano de el muchos pozos de agua y muy someros que no dulce. Vase a moler el pan a los ríos sobre dichos a los mas cercanos, y traen agua, y en todo tiempo al rio de Tajo"*.

Esta misma suerte corre en la representación cartográfica, ya que aún a finales del siglo XVIII, y a diferencia de otras lagunas manchegas como la de Quero, El Longar no aparece en los mapas geográfi-

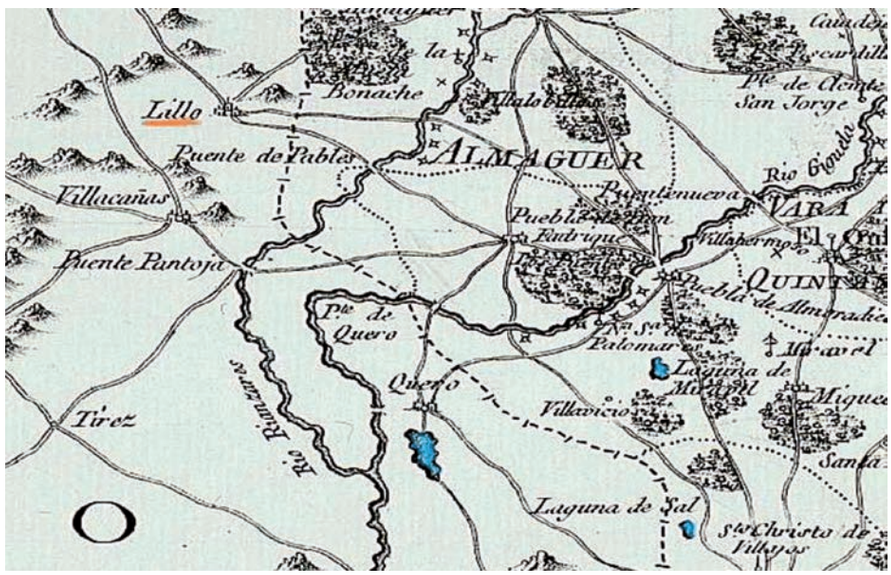


Figura 10.4. Detalle del Mapa Geográfico del Partido de Ocaña que comprende el gobierno, la misma villa, Campo de Criptana y Corral de Almaguer. Se aprecia como las lagunas de Lillo no están representadas (modificado de López, 1784)

cos de la época, como el Mapa de la Provincia de Toledo elaborado en 1768. Tampoco se localiza en el Mapa Geográfico del Partido de Ocaña, de 1784 (figura 10.4), que comprende el territorio geográfico del Gobierno de la misma villa perteneciente a la Orden de Santiago.

El Longar sigue sin ser mencionado en la descripción contenida en el Diccionario Geográfico de España de Tomás López de 1766, a pesar de ser visible desde las inmediaciones del transitado camino manchego que enlazaba, según una dirección norte-sur, las poblaciones de la Mesa de Ocaña con el sector central de La Mancha (Fidalgo y González, 2015) capitalizado por Alcázar de San Juan. Tomás López describe así la hidrografía: "*cerca de la Jurisdicción de esta villa hay un rio de pocas aguas llamado Riansares que corre desde más arriba del corral de Almaguer por su término y el de la Puebla de Don Fadrique*". Del mismo modo, en la Descripción del Cardenal Lorenzana de 1784, publicada por Porres *et al.* (1986), se recoge: *"esta villa (Lillo) no está a orilla de río ni laguna, pero está cerca de su jurisdicción un río de pocas aguas llamado Riansares"*.

Hay que esperar al siglo XIX para que la laguna de El Longar aparezca representada en el Bosquejo de la provincia de Toledo de Francisco Coello (1866). Sin embargo, el Diccionario de Madoz (1846) sigue sin reconocerlas y, en referencia a las aguas de esta localidad, relata cómo *"se surte de aguas potables en dos pozos bastante distantes, porque esta villa es verdaderamente un pueblo de la mancha, por la aridez de su terreno,… sin aguas"*.

Salina de interior

La sal ha sido, y sigue siendo, un producto de elevado interés comercial en todos los periodos y culturas, por lo que algunas lagunas fueron explotadas para la obtención de este elemento vital (figura 10.5). En el caso de El Longar, su explotación salinera fue facilitada por su favorable localización en medio del entramado de caminos del entorno de Lillo, donde se entrecruzan, además de la mencionada Cañada Real Soriana, la Cañada de Alcázar de San Juan conectada por el Carril de los Torteros, la Senda Galeana o Cañada de las Cojas y el Camino Real de la Plata. Estas vías de comunicación debieron fomentar su comercio dando lugar, además, a una importante actividad arriera (Ayarzagüena *et al*., 2012).

Las primeras referencias escritas que hablan de explotaciones salineras en las lagunas de la zona datan de principios del siglo XIV, cuando la monarquía castellana ya había asentado jurídicamente la propiedad real sobre las aguas y pozos salados, y perfilaba las grandes líneas de la renta real de la sal. Precisamente, ante las numerosas quejas provocadas por la pesquisas de los alvareros (funcionarios encargados de administrar las salinas), Alfonso XI decidió regular el mercado de la sal en las Cortes de Burgos (1338), partiendo de la consideración de que todas las salinas eran propiedad de la Corona, y en su relación incluía todas estas lagunas (Ladero, 2011).

La pequeña explotación de sal continuó durante los siglos posteriores, haciéndose referencia a las salitreras de la zona de Lillo en las respuestas particulares



Figura 10.5. Panorámica en agosto de 2016 (L.A. Carreño)

del Catastro de Ensenada del siglo XVIII, donde se menciona la existencia de unas *"seiscientas fanegas de lagunas saladas infructíferas"*.

Como se recoge en el Plan de Ordenación de esta Reserva Natural (2006), en el siglo XVIII uno de los destinos más importantes del salitre obtenido de la laguna era la producción de pólvora. A finales del siglo XIX la fórmula para la fabricación de este compuesto cambió y el salitre dejó de utilizarse.

Según información de Antonio Pedraza Gómez, vecino de Lillo y coronel del ejército especialista en infraestructuras y medio ambiente, la técnica de explotación de este recurso se mantuvo hasta finales del siglo XIX. Esta consistía en la abertura de surcos en el vaso lagunar y la construcción de balsas rectangulares que facilitaban la evaporación del agua y la obtención de la sal.

De la antigua explotación quedan vestigios bastante deteriorados por la erosión y apenas apreciables a simple vista, como varias islas artificiales y restos de pequeñas balsas y diques. No obstante, según comunicación personal del coronel Pedraza, un posterior intento de explotación salinera trajo consigo la excavación de zanjas que dejaron un dibujo blanco sobre el vaso de la laguna, visible aún hoy desde el aire.

Otros aprovechamientos tradicionales del entorno lagunar

El clima y las características endorreicas del humedal conforman un singular paisaje (Cirujano, 1980b) en el





Figura 10.6. Planta de salicor (L.A. Carreño)

que se desarrollan plantas adaptadas halófilas y xerófilas, entre ellas destacan varias especies de salicornias, salsolas, sacocornias, *suaedas*, juncos, carex, *limonium*, junto al albardinar y los tarays de porte arbustivo o arbóreo.

Además, una planta halófila destacó por su especial interés en los usos tradicionales de esta laguna: el salicor de La Mancha o *Salsola kali*. En este sentido lo recoge Jiménez (1962), que indica que uno de los aprovechamientos más abundantes en el área fue el de *salicor* (figura 10.6), empleado para la obtención de sosa o barrilla y para la fabricación de pólvora. Las plantas barrilleras son muy ricas en sales alcalinas y, sobre todo, en sodio, de ahí la denominación de "sosa", una especie muy abundante en la planta barrillera *salsola kati*. Las producciones de barrilla, relacionadas con la abundancia de sal en el terreno, se vinculan a la existencia de estos humedales que se desecaban durante buena parte del año. Durante mucho tiempo estas plantas han sido fuente tradicional del álcali, necesario en muchas fábricas de jabón, tintes, vidrio, etc. En cuanto a su tratamiento, la barrilla se recogía y, tras su secado, era quemada formando cenizas con forma de bolas negras y compactas llamadas "piedras de barrilla", ricas en carbonato de sodio (Esteban, 2008).

En pleno siglo XVIII el carbonato sódico seguía siendo un producto fundamental en la mayoría de las industrias relacionadas con la química, así el Catastro del Marqués de la Ensenada (1752) nos revela que, además de las costras salinas desarrolladas en las lagunas, se explotaba la vegetación halófila próxima.



Figura 10.7. Caz por el que llegan las aguas residuales tratadas a la laguna de El Longar, agosto de 2016 (L.A. Carreño)

Ofrecía también datos económicos del provecho de la barrilla y salicor, que en aquel ejercicio ascendía a sesenta mil reales, especificando que: "*en el regadío de barrilla produce cinco quintales; en secano, el cultivo de barrilla es "venturero" porque se pierde si no llueve, pero si caen las aguas a tiempo se pueden recoger dos quintales (por fanega). La fanega de barrilla en regadío deja un beneficio de 270 reales*".

Esta explotación permanece hasta el siglo XX, como recoge el Diccionario de los pueblos de la provincia de Toledo de 1962, donde en relación con los cultivos de Lillo dice: *"lo más del terreno es salitroso y se siembra barrilla. También se produce salicor, en cuya explotación trabajan sus vecinos".*

También el albardín, especie propia de las estepas ibéricas, fue significativo en la vida diaria de los habitantes de este enclave. El albardinar, situado entre la laguna y el municipio de Lillo, es considerado en 2016 como uno de los más extensos y mejor conservados de la provincia de Toledo. Gómez Díaz, historiador de la localidad, en comunicación personal en septiembre de 2016, comenta sobre los usos tradicionales de esta planta: "*el albardín era utilizado principalmente por los agricultores de la localidad, para confeccionar cordelería, usada para atar las gavillas de sarmientos procedente de la poda de las viñas; también para hacer pasos de estera para el suelo, que antaño eran de tierra, en los fríos inviernos de los de antes. Para las espuertas y otros utensilios de la agricultura se empleaba el esparto, aunque más profusamente en el pueblo vecino de El Romeral. En el caso de Lillo la fabricación era exclusivamente para uso propio, según las necesidades de cada agricultor, no para su venta*".



Figura 10.8. Observatorio en la laguna de El Longar (C. Camuñas)

Espacio de educación ambiental

La laguna de El Longar ha sido modificada significativamente por el hombre. En las últimas décadas gran parte de su ecosistema lacustre ha sufrido el vertido de parte de las aguas residuales del núcleo urbano de Lillo y sus márgenes han servido como basurero y depósito incontrolado de escombros, entre otras alteraciones.

Este humedal está retornando poco a poco a su situación natural gracias a diversas actuaciones de protección que han logrado limpiar y recuperar parte del terreno perilagunar, incluidas en el proyecto LIFE "Humedales de La Mancha" cuyo objetivo es restaurar hábitats de albardinales y estepas salinas. Pese a las mejoras, la laguna aún recibe el agua residual depurada de la EDAR de Lillo (figura 10.7) y debe coexistir con la práctica de las actividades recreativas ya citadas.

La Reserva Natural se ha convertido en un espacio de educación ambiental destinado a personas que buscan el estudio, la contemplación y el disfrute de la vida vegetal y animal; actividades promovidas, entre otros, por la web oficial de Turismo de Castilla-La Mancha. Para satisfacer la demanda se han instalado diversos paneles explicativos de los valores ecológicos, su flora y su fauna, así como señalizaciones para su acceso. Dispone, además, de un observatorio (figura 10.8) instalado en 2008, con dispositivos funcionales para discapacitados, desde donde, entre grandes albardinales, se puede contemplar durante todo el año una de las mejores colonias de pagaza piconegra y tarro blanco, así como flamencos que suelen desplazarse de una laguna a otra.

Contexto socioeconómico

Con una extensión de 151,40 km² el término municipal de Lillo cuenta con una población de 2.898 habitantes (INE, 2014) lo que supone una densidad de 19,14 hab/km² (figura 10.9).

Entre sus habitantes predomina el nivel de estudios de segundo grado (43,7%), seguido del primer grado (25,2%), siendo el minoritario el de analfabetos (6,9%), casi equiparable con el 3er grado con un 7,3% (tabla 10.6).

NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	%
Analfabetos	143	*6,9*
Sin estudios	352	*16,9*
1er Grado	524	*25,2*
2º Grado	908	*43,7*
3er Grado	152	*7,3*
TOTAL	**2.079**	***100***

Tabla 10.6. Nivel de estudios (Censo de Población y Vivienda 2011. INE)

La actividad económica (tabla 10.7) se basa en el sector servicios, con un 50,0% de empresas, al que le sigue la agricultura, con un 35,8%. El 14,2% restante se reparte a partes iguales entre la industria y la construcción. En consecuencia, predominan los trabajadores afiliados a los sectores de servicios y agricultura, con un 56,5% y 21,9% respectivamente. Por el contrario, son minoritarios los afiliados a los sectores de la construcción (13,9%) y de la industria (7,7%). En cuanto a la evolución ocupacional (tabla 10.8), se observa un incremento en el número de parados en el lapso temporal entre 2009 y 2013, con una reducción en el año 2014.

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	74	*21,9*	20	*35,8*
Industria	26	*7,7*	4	*7,1*
Construcción	47	*13,9*	4	*7,1*
Servicios	191	*56,5*	28	*50,0*
TOTAL	**338**	***100***	**56**	***100***

Tabla 10.7. Empresas y afiliación en Lillo (Tesorería General de la Seguridad Social 2014)



Respecto al territorio (tabla 10.9), la mayor parte del municipio está ocupado por tierras de cultivo (93,7%) con predominio de los herbáceos (71,8%) y viñedos (21,3%), siendo minoritaria la presencia de olivar (6,4%) y de frutales (0,5%).

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº de parados	333	389	392	431	530	462

Tabla 10.8. Desempleados (Paro municipal registrado. SPEE)

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	10.077	7.239	*93,7*	*71,8*
	Frutales		49		*0,5*
	Olivares		642		*6,4*
	Viñedos		2.147		*21,3*
Pastos		220		*2,0*	
Otras		463		*4,3*	
TOTAL		**10.760**		***100***	

Tabla 10.9. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2009, INE)

Por su parte, la práctica totalidad de la cabaña ganadera (tabla 10.10) está constituida por la tipología ovina (89,8%), con porcentajes muy inferiores para equinos (4,5%), caprinos (3,9%) y aves (1,8%).

CABEZAS DE GANADO		
	Nº de cabezas	%
Bovinos	0	*0,0*
Ovinos	1.091	*89,8*
Caprinos	47	*3,9*
Porcinos	0	*0,0*
Aves	22	*1,8*
Equinos	55	*4,5*
TOTAL	**1.215**	***100***

Tabla 10.10. Cabezas de ganado (Censo Agrario 2009, INE)

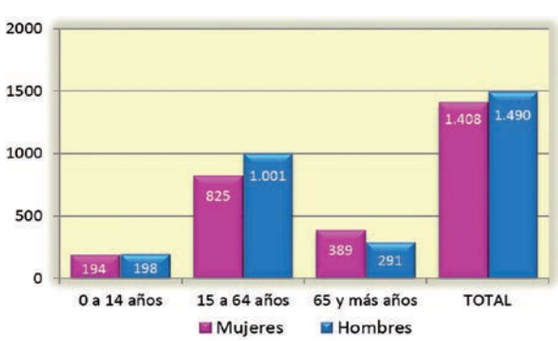


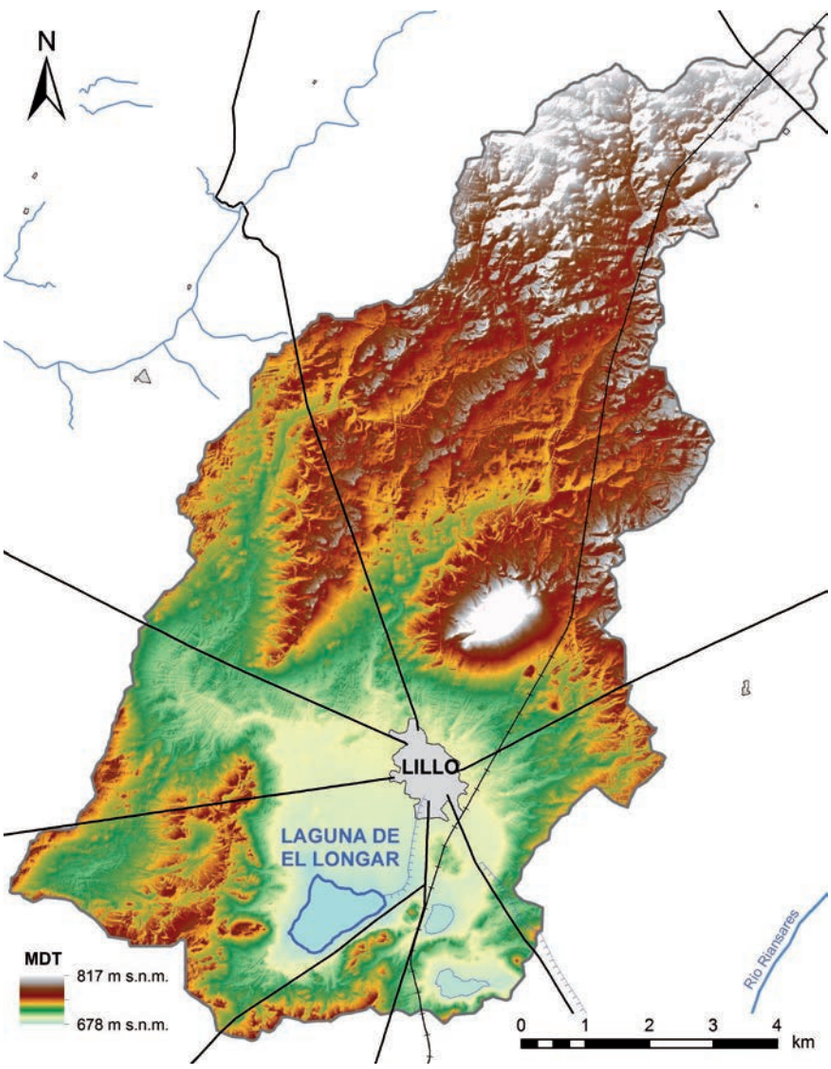
Figura 10.9. Pirámide (izquierda) y Grupos de población de Lillo (derecha) (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha 2014. Padrón Municipal de Habitantes a 1 de enero 2014. Instituto Nacional de Estadística, INE)

Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna de El Longar, situada dentro de la cuenca alta de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, constituye un área de carácter endorreico localizada al oeste de la subcuenca del río Riansares, al norte del complejo lagunar de Villacañas, y a escasa distancia de las lagunas del Altillo Grande y del Altillo Chica. Su área vertiente, de 9.416 ha, se extiende sobre los términos municipales de Lillo y de Corral de Almaguer con una morfología alargada y un flujo en sentido norte-sur (figura 10.10). La relación entre la superficie total y la superficie de la propia laguna es de 99, la mayor relación de las lagunas incluidas en la publicación.

La morfología de la cuenca hidrológica es relativamente suave, con apenas unos 138,5 m de diferencia entre las cotas más elevadas (817,1 m s.n.m) y las más bajas, que corresponden al fondo del vaso de la laguna (678,6 m s.n.m.). La excepción la constituye el pequeño relieve del cerro de San Antón (815 m s.n.m) que se alza de forma súbita al norte de Lillo. La pendiente media es del 2,9%, por lo que existe un claro predominio de las inferiores al 3%, con la particularidad del cerro de San Antón, donde los desniveles son más acusados. En consecuencia, la mayor parte de los límites del área vertiente son de difícil determinación y vienen condicionados por la presencia de otras zonas endorreicas colindantes, como las cuencas de la laguna Larga de Villacañas y la de Albardiosa situadas al sur, por la cuenca vertiente del río Riansares al este y, al oeste, aparecen arroyos de poca entidad que pertenecen a la cuenca hidrográfica del Tajo, como el arroyo de Santa María.

Figura 10.10. Cuenca hidrológica de la laguna de El Longar



En cuanto a la red hidrográfica de la cuenca, su reducido tamaño y suave topografía no permiten diferenciar ningún río ni arroyo digno de mención, por lo que su drenaje tiene lugar mediante pequeñas vaguadas apenas distinguibles sobre el terreno.

El vaso de la laguna se sitúa en el extremo meridional del área vertiente y, en régimen natural, sus aportes superficiales provenían de la escorrentía generada por la precipitación del agua de lluvia caída sobre toda su superficie, esencialmente sobre los relieves de la zona norte. Sin embargo, esta situación ha sido modificada por la acción humana, ya que la laguna recibe por su extremo nororiental las aguas residuales de la población de Lillo. Esta circunstancia ha alterado drásticamente el ciclo hidrológico del humedal al proporcionarle un aporte regular de agua durante todos los meses del año, a la vez que ha incrementado la escorrentía superficial al canalizar las precipitaciones caídas sobre la superficie impermeabilizada del casco urbano.

Geología

En la cuenca hidrológica que vierte sus aguas a la laguna de El Longar afloran materiales de naturaleza y comportamiento desigual, así como con un lapso temporal muy dilatado, perteneciendo los sedimentos más antiguos al Cámbrico inferior y los más modernos al Cuaternario. No obstante, las formaciones mesozoicas se encuentran ausentes y son las de edad cenozoica las mejor y más extensamente representadas. En este sentido, el Plioceno ocupa casi la totalidad de la mitad norte, y el Mioceno y Cuaternario predominan en la mitad sur (figura 10.11).

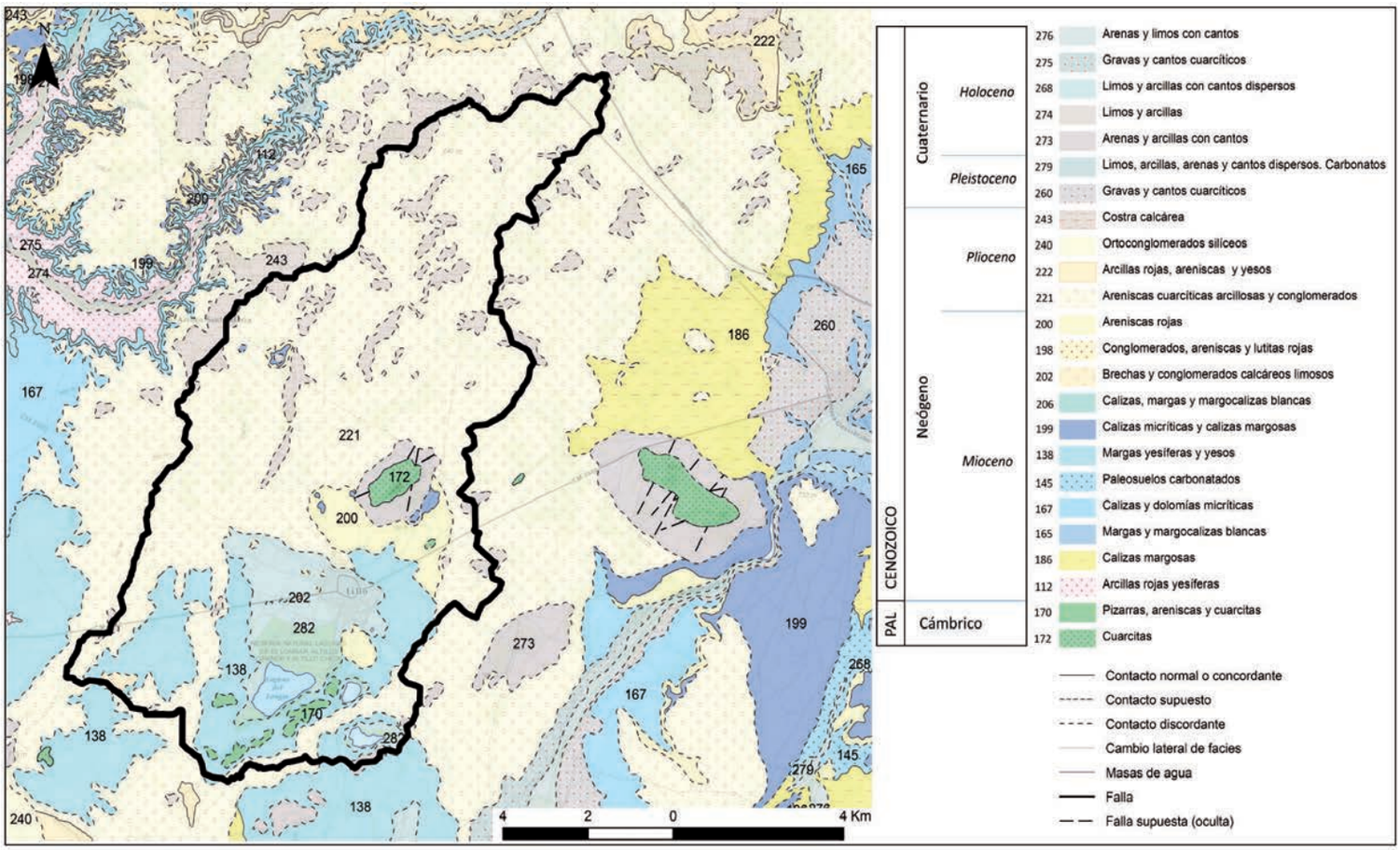


Figura 10.11. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de El Longar (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

En cuanto a su comportamiento hidrogeológico (tabla 10.11), cabe señalar que abundan los afloramientos de materiales con permeabilidad media (Tipología B: 70%), compuestos por areniscas, conglomerados y caliches del Plioceno, así como por derrubios de ladera cuaternarios que aparecen de forma minoritaria. Las formaciones con permeabilidad baja se presentan en menor proporción (Tipología C: 13%) estando representadas por las cuarcitas y pizarras del Cámbrico inferior, y también por limos del Cuaternario. Por último, en la mitad sur de la cuenca afloran de forma mayoritaria materiales calificados como impermeables (Tipología D: 17%) constituidos por margas con yesos del Mioceno medio-superior.

Como se ha comentado, los materiales más antiguos datan del Cámbrico inferior y afloran en cerros aislados, lo cual dificulta su correlación estratigráfica. No obstante, al presentar características similares a los Montes de Toledo se engloban en la serie de transición Precámbrico-Cámbrico, con un tramo inferior de más de 100 m constituido por cuarcitas y cuarcitas feldespáticas. Sobre ésta aparece otra serie de unos 30 m, bien definida al sur de la laguna, compuesta por cuarcitas, areniscas y

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
FORMACIÓN GEOLÓGICA	**Edad**	**Tipología**	**%**
Areniscas, conglomerados y caliches	Plioceno	B	70
Derrubios de ladera	Cuaternario	B	
Cuarcitas y pizarras	Cámbrico	C	13
Limos	Cuaternario	C	
Margas con yesos	Mioceno medio-superior	D	17
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Tabla 10.11. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de El Longar

pizarras que definen lomas alargadas de dirección suroeste-noreste.

En ascensión cronológica, son los sedimentos continentales de tipo evaporítico, pertenecientes al Mioceno, los que conforman la base donde se acomoda el entorno lagunar. Esencialmente, están constituidos por niveles decimétricos de yesos y niveles margosos, ambos de tonalidad blanquecina, con una potencia relativamente uniforme de unos 15 m. Este conjunto queda apoyado sobre unas arcillas yesíferas de colores rojizos.

Depositados de forma discordante sobre las formaciones miocenas, y con el mayor porcentaje de afloramientos de la cuenca, se disponen los sedimentos detríticos del Plioceno. Están constituidos por areniscas cuarcíticas rojas con matriz areno-arcillosa y cemento calcáreo, así como por niveles conglomeráticos cuarcíticos, con una potencia media de unos 25 m. También discordantes sobre estos materiales y, fosilizando una superficie erosiva, aparecen costras calcáreas con un espesor máximo de 6 m.

Los sedimentos cuaternarios de mayor interés corresponden a los derrubios de ladera que bordean las elevaciones alomadas paleozoicas. Su litología es de cantos cuarcíticos con matriz arcillosa, a los que se les ha atribuido una permeabilidad media. Por último, sedimentos evaporíticos de esta misma edad y origen lacustre, constituidos por limos y arcillas, tapizan la base planar de las lagunas.

Hidrogeología

Las formaciones geológicas sobre las que se dispone la laguna de El Longar, como ya se ha comentado, están constituidas por sedimentos cenozoicos de carácter detrítico y evaporítico dispuestos según una estructura tabular, sobre un zócalo paleozoico. El espesor conjunto de estos materiales puede llegar a ser muy importante, pero también estar ausente en algunos puntos en los que llega a aflorar el basamento paleozoico (figura 10.12).

Entre estas formaciones se encuentran materiales permeables, capaces de almacenar y permitir el flujo de agua subterránea, y materiales impermeables, que impiden su circulación. Los primeros corresponden casi de forma exclusiva a las areniscas cuarcíticas con niveles de conglomerados del Plioceno (PL), siendo el resto de las formaciones cenozoicas eminentemente impermeables. Existen también otras litologías con cierta permeabilidad, tales como los horizontes de areniscas y cuarcitas del Cámbrico, pero carecen de relación alguna con la laguna al encontrarse desconectadas de ésta por los depósitos arcillosos del Mioceno.

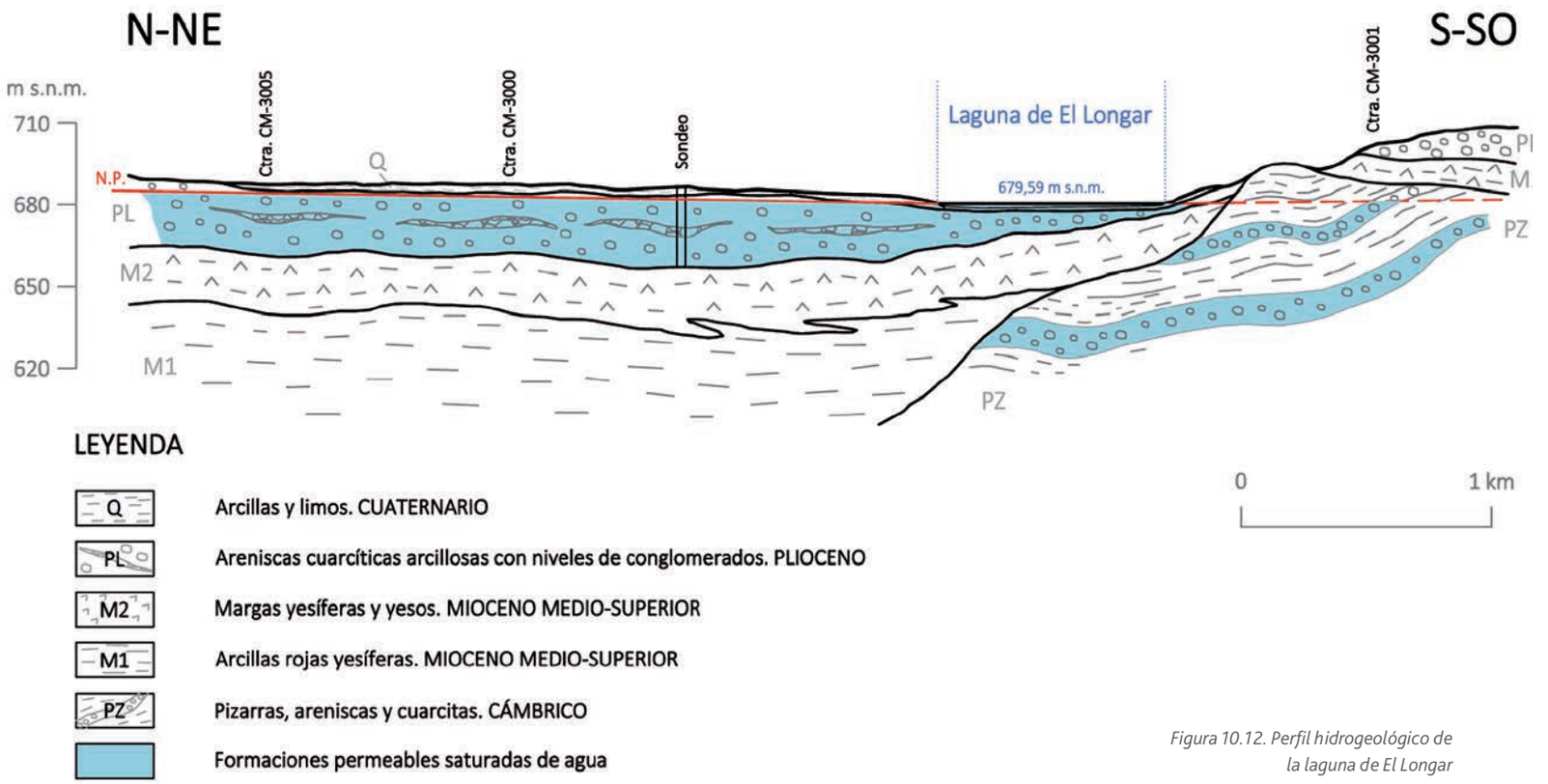


Figura 10.12. Perfil hidrogeológico de la laguna de El Longar



Figura 10.13. Mapa piezométrico y sentido del flujo subterráneo (IGN)

Las areniscas y conglomerados pliocenos presentan una permeabilidad media-baja debido al contenido arenoarcilloso que conforma su matriz, y su espesor varía entre los 20 y los 30 m, por lo que en algunas captaciones se pueden obtener caudales aceptables. Esta última formación configura el subsuelo del sector que se extiende al norte de la laguna hasta el núcleo urbano de Lillo, y todo apunta a su continuidad bajo los sedimentos cuaternarios lagunares.

Como es característico, el escaso espesor de los sedimentos lacustres, compuestos en este caso por arcillas y limos con importantes depósitos de carbonatos y sulfatos, relacionados con los procesos sedimentarios de la propia laguna, hace que carezcan de significado hidrogeológico.

Dentro de este esquema geológico-hidrogeológico, la superficie piezométrica se encuentra muy próxima a la superficie topográfica. Las lecturas de nivel piezométrico realizadas en noviembre de 2016 en los pozos y sondeos existentes en el sector septentrional de la laguna mostraron que un kilómetro al norte de ésta se situaba a una cota cercana a los 682 m s.n.m., descendiendo progresivamente hacia el sur hasta coincidir con la cota del vaso de la propia laguna (679,59 m s.n.m.). El gradiente hidráulico es, por tanto, muy bajo y del orden del 0,2%.

En consecuencia, la componente del flujo subterráneo se establece a través del conjunto de sedimentos areniscosos del Plioceno según una alineación norte-sur en dirección al humedal (figura 10.13). Esta disposición implica la existencia de relación hídrica entre dicha formación permeable y la laguna.

El esquema hidrogeológico descrito también explica la existencia de captaciones de agua subterránea, si bien presentan contenidos salinos poco aceptables para su uso agrícola.

Hidroquímica

La analítica de la muestra tomada en la laguna de El Longar presenta un valor de la conductividad eléctrica (CE) cercano a los 110.000 µS/cm, extremadamente superior a los valores hallados en las aguas subterráneas del entorno, con valores máximos de 6.260 µS/cm. Por su parte, el pH en la laguna es de 8,74, ligeramente superior al de los pozos cercanos que es de 8,06.

Los contenidos en aniones mayoritarios son mucho más elevados en la laguna que en las aguas subterráneas. Las diferencias más notables las aportan los cloruros y los sulfatos. En las aguas subterráneas los primeros arrojan valores entre 159 y 695 mg/L y los segundos entre 1.618 y 2.070 mg/L, mientras que en la laguna se obtienen de 42.098 mg/L para los cloruros y de 76.473 mg/L para los sulfatos.

Los cationes sodio, magnesio y potasio se mantienen en proporciones similares a los aniones, esto es, en cantidades muy elevadas en la laguna frente a las registradas en las aguas subterráneas. Destaca el calcio, que aparece en proporciones bajas e ínfimas en las muestras de 2014 y muy elevadas en las del 2016. En consecuencia, la facies hidroquímica en la laguna es sulfatada-clorurada magnésico-sódica (figura 10.14), mientras que en las aguas subterráneas es sulfatada magnésica en 2014 y sulfatada cálcica en 2016 (figura 10.15).

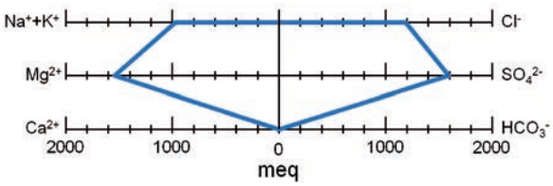


Figura 10.14. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna de El Longar. Fecha de ensayo 25/11/2014

La comparativa entre los principales parámetros del agua de la laguna y los recogidos en la normativa que regula la calidad para aguas de consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero), por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, se exponen en la tabla 10.12.

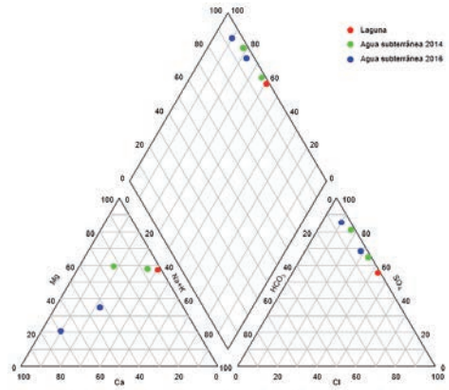


Figura 10.15. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de las muestras de la laguna de El Longar y de los pozos aledaños

La CE del agua de la laguna (periodo diciembre de 2012-junio de 2014, figura 10.16) registra valores mínimos entre 20.000 y 52.300 µS/cm, a finales de junio de 2013 y a finales de abril de 2014, respectivamente. Tras estos mínimos temporales, en ambas ocasiones se aprecia un ascenso brusco de la CE en los meses siguientes, a finales de agosto de 2013 (507.000 µS/cm) y en junio de 2014 (292.200 µS/cm), siendo el primer ascenso bastante más acusado. El resto de la serie temporal aporta valores cercanos a los 41.000 µS/cm.

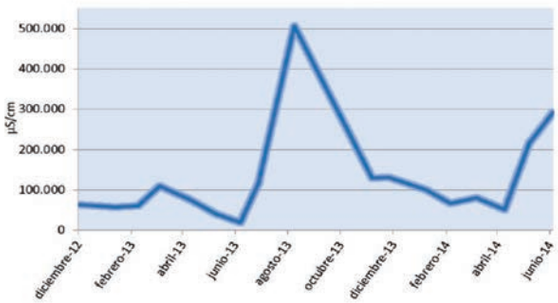


Figura 10.16. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna de El Longar entre diciembre de 2012 y junio de 2014

	Fecha de análisis			25/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	123	10
	Boro	B	mg/L	5,206	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	42.097	250
	Conductividad	CE	µS/cm	109.300	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	93	50
	pH	-	Ud de pH	8,74	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	21.095	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	76.473	250

Tabla 10.12. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

El funcionamiento hidrológico de la laguna de El Longar presenta una cierta complicación dada la confluencia de factores tanto de orden geológico/hidrogeológico como antrópico. Como ya se ha hecho referencia en varias ocasiones, estos últimos corresponden a los aportes de aguas residuales procedentes del núcleo urbano de Lillo. No obstante, y a pesar de ello, la laguna sigue manteniendo las características esenciales de su régimen natural, es decir, se trata de una zona húmeda hipersalina somera de carácter temporal en la que el vaso queda prácticamente seco durante los estiajes y adquiere una lámina de agua de escasos centímetros de altura durante los periodos húmedos.

En cuanto a los factores naturales, su funcionamiento hidrológico está condicionado por su relación con las aguas subterráneas, ya que el pequeño acuífero constituido por las areniscas cuarcíticas de edad Plioceno, sobre el que se asienta, drena de forma natural hacia la laguna. Sin embargo, esta relación puede llegar a invertirse en períodos secos o muy secos al quedar la superficie piezométrica por debajo de la cota topográfica de su vaso. Este hecho estaría provocado por la evaporación generada en los primeros metros del subsuelo de la cubeta, saturado de agua, al que contribuiría la afección causada por la extracción de agua en los pozos y sondeos cercanos. En estos casos, los aportes permanentes de aguas residuales pasarían a alimentar al acuífero subyacente, quedando el vaso del humedal prácticamente seco.

Este esquema de funcionamiento explicaría la elevada salinidad de la laguna, al ser alimentada por aguas subterráneas con alto contenido en sulfatos y cloruros, sometidas posteriormente a una intensa evaporación.

Balance hídrico

Como se ha procedido para el conjunto de los ecosistemas estudiados, el balance hídrico de la laguna de Lillo se ha determinado mediante el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua a su vaso, según la metodología expuesta en el capítulo 5. Las entradas al sistema corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento (94,64 ha), a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (9.416 ha), al vertido de aguas residuales depuradas en la EDAR de Lillo y al aporte difuso de aguas subterráneas en la cubeta. Por contra, las salidas son debidas a la evaporación

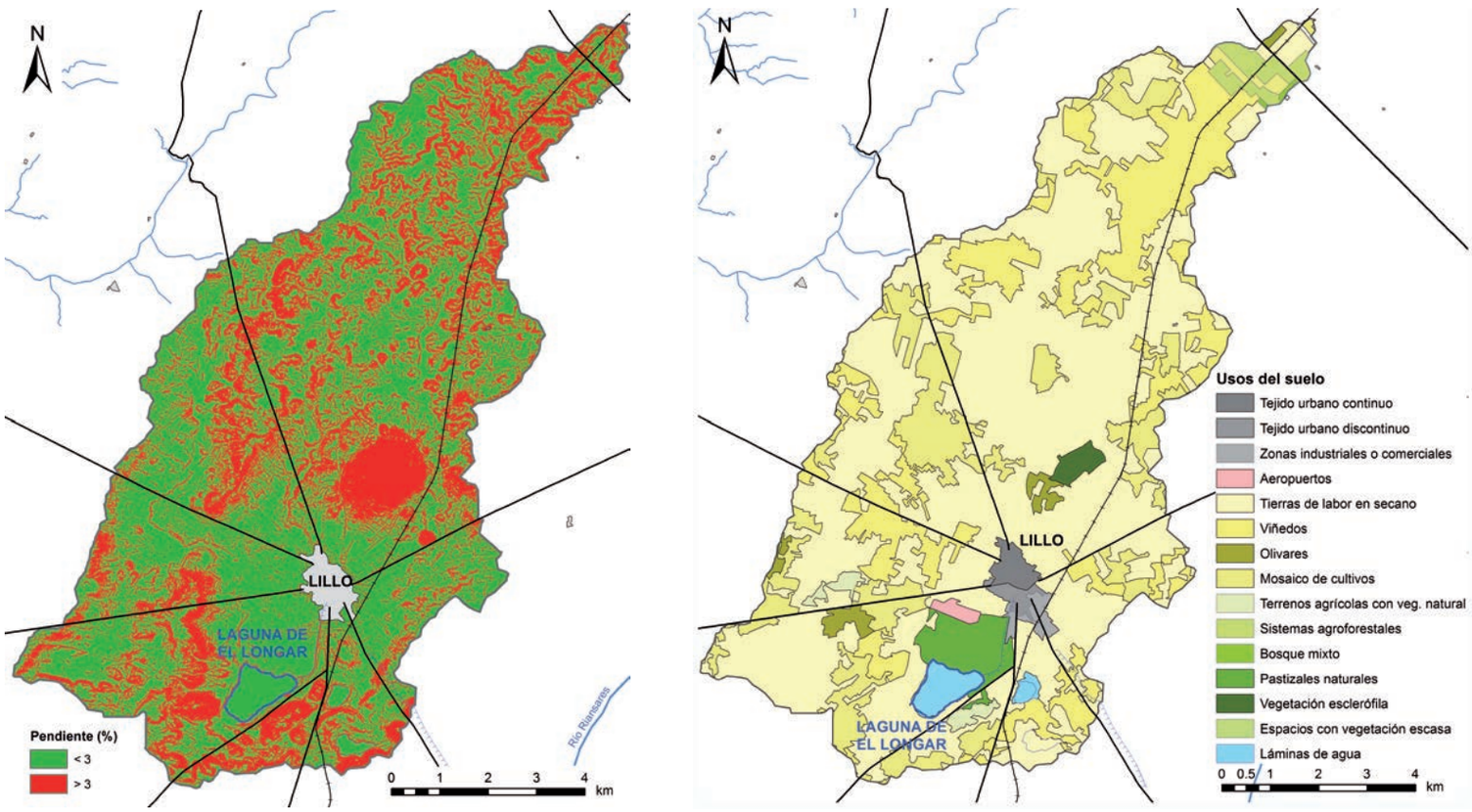


Figura 10.17. Cuenca hidrológica de la laguna de El Longar. Mapa de pendientes (izquierda) y Mapa de usos del suelo (derecha) (Corine Land Cover 2012)

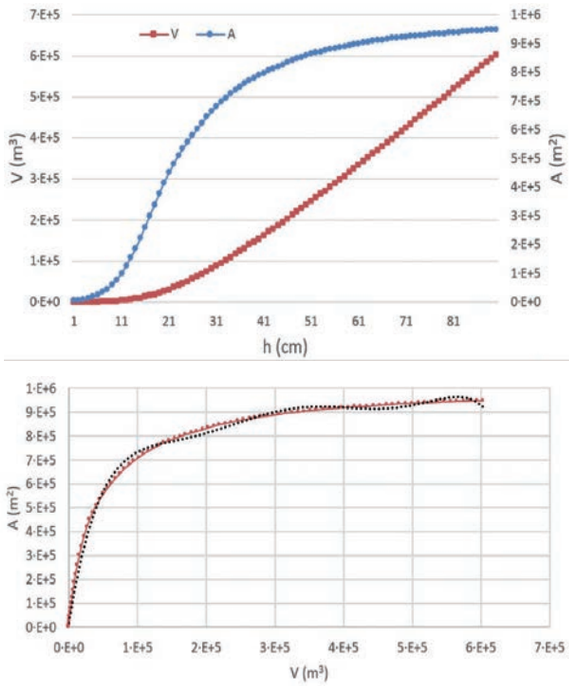


Figura 10.18. Laguna de El Longar. Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A) Abajo: relación entre área inundada (A) y volumen almacenado (V)

producida sobre la lámina de agua libre, limitada por el volumen de agua disponible ya que, en la estación estival, la laguna llega a secarse, así como a la infiltración de agua hacia el acuífero.

Los datos climáticos se han obtenido de la estación TO10 del SIAR para el periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo kc, para este caso igual a 1. Para determinar de la evaporación se ha tenido en cuenta la extensión de la lámina de agua de la laguna en cada momento.

El análisis geológico de las formaciones aflorantes en la cuenca vertiente ha arrojado como resultado un suelo de tipo B (tabla 10.11). Por su parte, la pendiente media es inferior al 3% (2,9%), mientras que al uso de la tierra se la ha asignado la tipología de labor de secano con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 10.17). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

El número de curva resultante ha sido recalibrado mediante el ajuste de los volúmenes calculados por dicho método con los obtenidos a partir de medidas limnímétricas recopiladas durante el proyecto Ecolake (2012-2014).

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC (*Antecedent Runoff Condition*) 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=60, que se corresponde con un valor de CN I=40 para condiciones de humedad baja y CN III=78 para condiciones de humedad alta. Esto supone unos valores umbral de escorrentía (P_0) medio de 33,87 mm, con un máximo de 76,61 mm y un mínimo de 14,04 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 10.13).

El intercambio difuso con las aguas subterráneas se ha calculado considerando que se generan salidas de agua hacia el acuífero subyacente por infiltración cuando el volumen de la laguna se encuentra por encima de los 1000 m^3 (lo que se corresponde con una superficie inundada de unas 3,4 ha), mientras que para volúmenes inferiores se considera que se produce evaporación de aguas subterráneas a través de la superficie de la cubeta, dado que el nivel piezométrico se encuentra muy próximo a la superficie. En ambos casos, el ritmo de aportes o pérdidas obtenido a partir de la calibración ha sido de 0,1 mm/d, aplicado a la superficie inundada total de la laguna para el cálculo de la evaporación y a la superficie inundada en cada momento para la determinación de las salidas.

La batimetría de la cubeta se ha obtenido del Modelo Digital del Terreno (MDT), del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). A partir de ellos, y mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG, se ha determinado el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación, con pasos de altura de 0,01 m. Posteriormente, se han establecido y representado las líneas de tendencia de las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen, con la obtención de la función que las definen (figura 10.18).

Los resultados de la simulación aplicada al periodo 2012-2014 muestran un comportamiento estacional, donde la laguna normalmente está seca en la temporada estival y almacena agua en los meses de invierno y primavera. En concreto, en el periodo referido, la laguna contiene volúmenes de agua considerables desde noviembre de 2012 hasta julio de 2013, y volúmenes menores entre enero y abril de 2014.

Tabla 10.13. Cuenca de la laguna de El Longar. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
> 3	> 50% Labor de secano	Media baja	B	76,61	33,87	14,04

Año hidrológico	ENTRADAS				SALIDAS			Variación de volumen (m³)
	Precipitación directa (m³/año)	Escorrentía (m³/año)	EDAR (m³/año)	Totales (m³/año)	ETP laguna (m³/año)	Aguas subterráneas (m³/año)	Totales (m³/año)	
2012/13	343.911	296.527	127.750	768.188	735.570	25.605	761.175	7.013
2013/14	93.686	0	127.750	221.436	221.110	4.127	225.237	-3.801
Media periodo	218.799	148.263	127.750	494.812	478.340	14.866	493.206	1.606

Tabla 10.14. Balance hídrico de la laguna de El Longar. Periodo 2012-2014

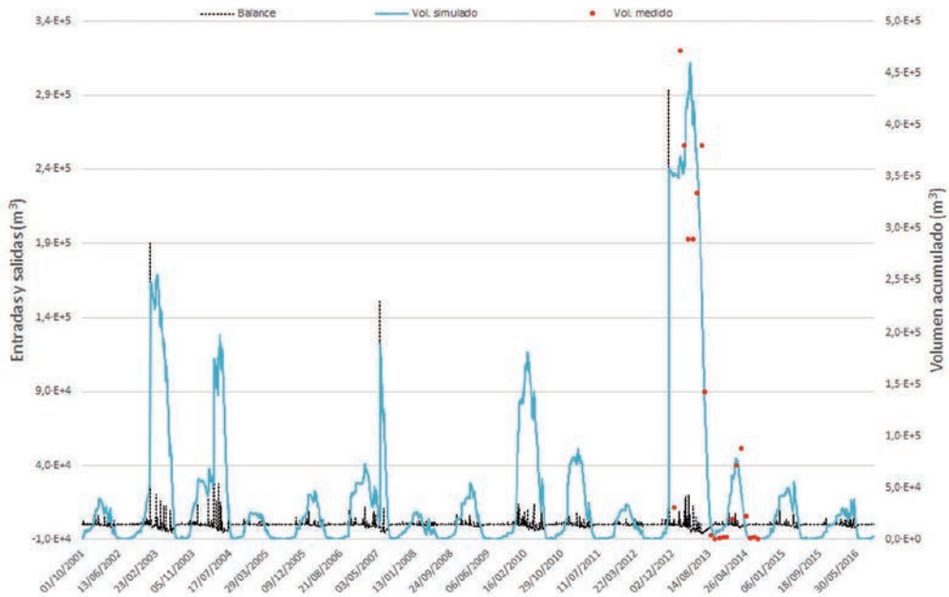


Figura 10. 19. Simulación del balance hídrico para la laguna de El Longar. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

El balance hídrico medio anual obtenido para dicho periodo indica que la precipitación directa sobre la lámina de agua libre de la laguna es de 218.799 m³ (44% del total de entradas por precipitación directa), que la escorrentía generada en la cuenca vertiente es de 148.263 m³ (30%) y los aportes de aguas residuales de la EDAR de Lillo son de 127.750 m³ (26%). Por su parte, el intercambio difuso con las aguas subterráneas supone globalmente unas pérdidas de 14.866 m³ (3%). Además, la evapotranspiración supone la pérdida de otros 478.340 m³ (tabla 10.14).

Con los parámetros validados para el periodo de calibración, se ha procedido a la determinación del balance hídrico hiperanual del humedal (figura 10.19) para un periodo de 15 años (2001-2016). En esta simulación se observa que la laguna ha permanecido seca la mayor parte del tiempo, excepto para las épocas húmedas registradas en 5 años hidrológicos: 2002/03, 2003/04, 2006/07, 2009/10 y 2012/13.

La superficie inundada máxima durante este periodo ha sido de 918.058 m², alcanzada el 5 de abril de 2013 como resultado de un periodo excepcionalmente húmedo iniciado en noviembre de 2012. El balance hídrico hiperanual de la laguna de El Longar (15 años) muestra que sus aportes son de 330.803 m³/año (tabla 10.15), de los que la mayor parte (158.176 m³/año, 48%) corresponden a precipitación directa, otro 39% a vertidos de aguas residuales de la EDAR de Lillo (127.750 m³/año, 38%) y el resto (44.877 m³/año, 14%) a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente. En cuanto a las salidas del sistema, la evapotranspiración asciende a 319.252 m³/año, por lo que el intercambio de aguas subterráneas, en este caso por pérdidas en el lecho hacia el acuífero subyacente, supone unos 11.551 m³/año.

DATOS			ENTRADAS				SALIDAS		
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km²)	Área media inundada (m²)	Precipitación directa (m³/año)	Escorrentía (m³/año)	EDAR (m³/año)	Totales (m³/año)	ETP laguna (m³/año)	Aguas subterráneas (m³/año)	Totales (m³/año)
356,63	94,16	320.680	158.176	44.877	127.750	330.803	319.252	11.551	330.803

Tabla 10.15. Balance hídrico hiperanual de la laguna de El Longar. Periodo 2001-2016

Evolución visual del territorio

El perímetro lagunar y su entorno inmediato apenas se han modificado en los últimos 55 años, tal y como puede apreciarse de la comparativa entre las dos imágenes de la figura 10.20. La red viaria principal se mantiene en el tiempo, siendo visibles las mejoras de las vías asfaltadas, así como el crecimiento del núcleo urbano de Lillo.

Como desarrollo de infraestructuras destaca el aeródromo deportivo, construido a 1 km al norte de la laguna e inaugurado en el año 2000 durante la celebración de los Campeonatos Aéreos Mundiales.

Las imágenes de las figuras 10.21 a 10.26 muestran el estado de la laguna en diversos momentos. En invierno, con una importante área inundada, y durante el periodo estival, arropada por un manto blanco y suavemente ondulado por las costras de salitre, camuflado bajo una mínima lámina de agua.

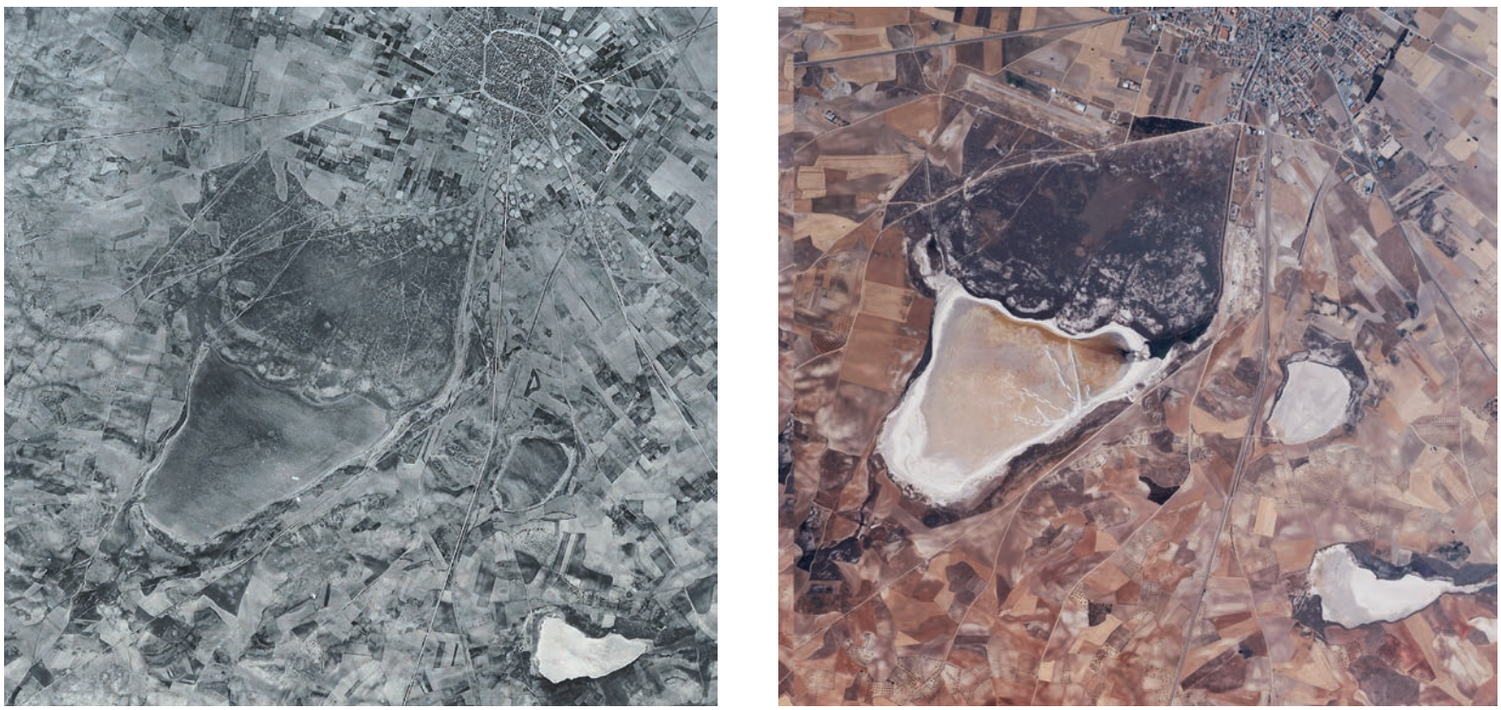


Figura 10.20. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 10.21. Laguna en diciembre de 2013 (B.J. Ballesteros)



Figura 10.22. Panorámica del extremo suroeste lagunar (C. Camuñas)



Figura 10.23. Vegetación arbustiva, conato de vallado y cerro de San Antón (C. Camuñas)



Figura 10.24. Costras salinas. Agosto de 2015 (C. Camuñas)



Figura 10.25. Panorámica desde el Cerro de los Tablones (C. Camuñas)



Figura 10.26. Laguna en abril de 2018 (C. Camuñas)

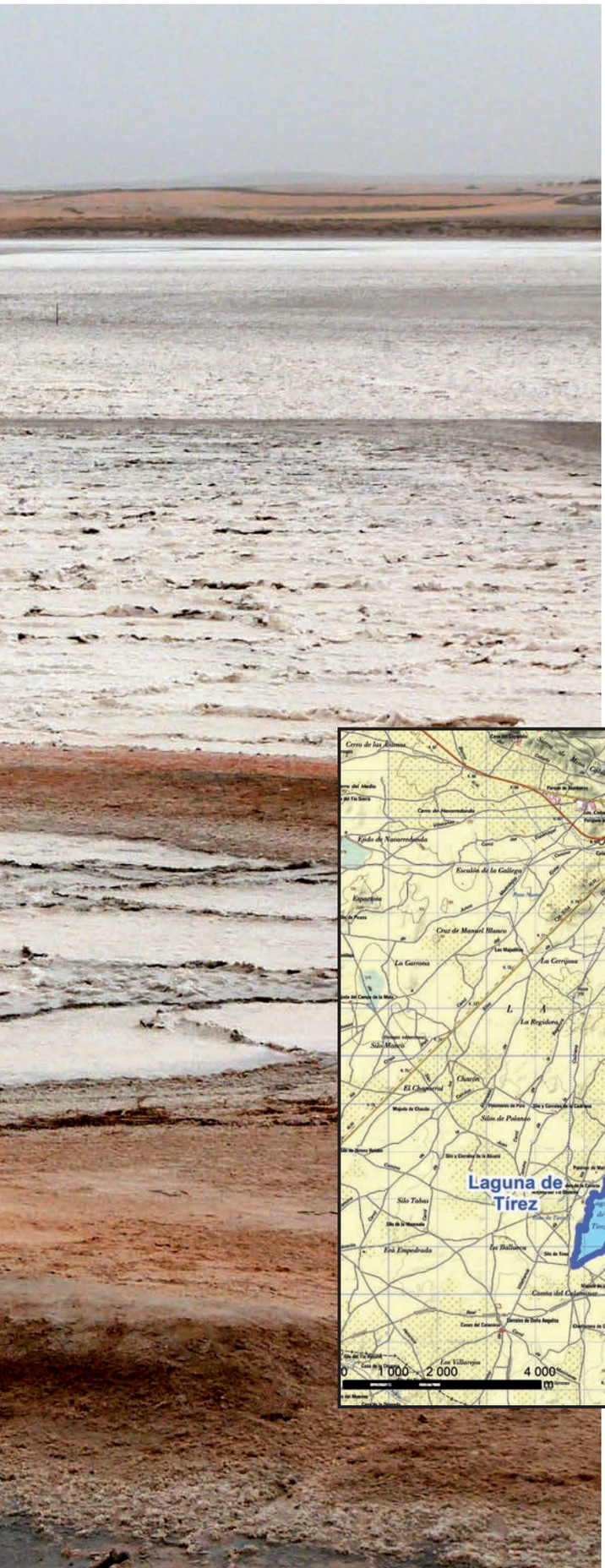
Capítulo 11



COMPLEJO LAGUNAR DE VILLACAÑAS

LAGUNAS: LARGA, TÍREZ Y PEÑA HUECA





11. COMPLEJO LAGUNAR DE VILLACAÑAS

11.1. INTRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

El complejo lagunar de Villacañas, constituido por las lagunas Larga, Tírez y Peña Hueca, se sitúa al sureste de la provincia de Toledo, a unos 80,5 km de su capital, y está clasificado como un humedal hipersalino con vegetación halófila terrestre.

La laguna Larga, ubicada a algo más de un kilómetro de Villacañas en dirección sureste, es la más cercana a la población que da nombre al complejo. Las lagunas de Tírez y Peña Hueca se sitúan algo más alejadas hacia el sur y a unos 8 y 10 km, respectivamente, del núcleo urbano (figura 11.1).

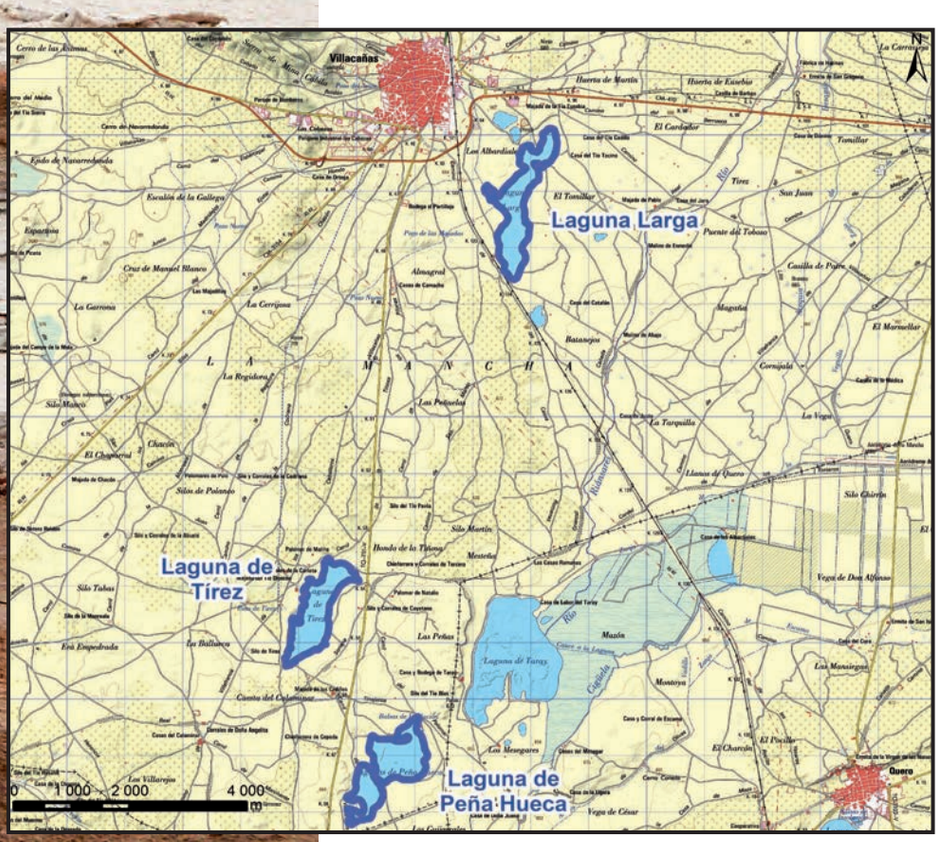


Figura 11.1. Situación geográfica del complejo lagunar de Villacañas (hoja 687 del Mapa Topográfico Nacional, a escala 1:50.000, del Instituto Geográfico Nacional, IGN)

Climatología

Las características climáticas del complejo lagunar han sido determinadas a partir de la estación meteorológica TO10, La Puebla de Almoradiel, situada al noroeste de esta localidad toledana, perteneciente a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha (tabla 11.1).

La precipitación media anual de los últimos 15 años (2001/02-2015/16) es de 344,1 mm, con un máximo de 571,4 mm en el más húmedo (2003/04) y un mínimo de 162,8 mm en el más seco (2004/05). A nivel diario el hecho más destacado es el intenso episodio de lluvia torrencial ocurrido el 16 de enero de 2003, en el que se acumularon 100,6 mm en un solo día. Los datos de precipitación más significativos se muestran en la tabla 11.2.

Los registros mensuales reflejan que en todos los meses se superan los 30 mm de lluvia, salvo en los de verano (junio, julio, agosto y septiembre), siendo el más húmedo el de abril y el más seco el de julio con valores de 48,6 mm y 4,7 mm, respectivamente. En este periodo la precipitación máxima acumulada en un solo mes fue de 128,8 mm (enero de 2003).

Registros climáticos anteriores a los de la estación TO10 del SIAR, se han tomado de la estación meteorológica La Puebla de Almoradiel (nº 4050) de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), cuyos valores más representativos se resumen en la tabla 11.3, con un registro temporal de 40 años (1960/61 a 1999/2000).

El análisis de los datos permite concluir que la precipitación media anual en los últimos 15 años ha sufrido un descenso considerable, algo superior a 75 mm, respecto a los 40 años anteriores.

Por su parte, la temperatura media anual es de 13,7 °C (tabla 11.4). Tomando el registro de las temperaturas máximas y mínimas diarias, el resultado es de 21,2 °C y 6,4 °C respectivamente.

Valores ambientales

Valoración global

Las lagunas del complejo de Villacañas tienen un gran valor ambiental debido a su carácter endorreico y a las condiciones extremas a las que se encuentran sometidas por la elevada salinidad de sus aguas, lo cual determina la composición de sus comunidades naturales y los procesos de precipitación mineral. Al igual que el resto de lagunas salinas ibéricas, son únicas en el contexto de Europa Occidental.

Biodiversidad: flora y fauna

Las lagunas de Tírez y Peña Hueca se encuentran rodeadas por estepas con pastizales y matorrales halófilos (Cirujano y Medina, 2002; PGH-CLM, 2015), siendo su extensión algo superior en la segunda. En Tírez, los juncales halófilos, así como los matorrales halonitrófilos de las zonas más alteradas, muestran, por el contrario, una distribución más restringida. De este modo, aunque los niveles de hipersalinidad impiden el desarrollo de macrófitos sumergidos en la cubeta, la laguna presenta una orla marginal de vegetación halófila terrestre representativa de la zona. En este sentido, destacan las formaciones de almajo salado *(Sarcocornia perennis)*, almajo dulce *(Suaeda vera)* y las formaciones de *Limonium*.

En el caso de la laguna Larga la vegetación halófila se ha visto progresivamente sustituida por comunidades helofíticas más cosmopolitas, como son los carrizales y eneales,

Tabla 11.1. Datos de ubicación y periodo de registro temporal empleado (SIAR)

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
TO10	La Puebla de Almoradiel	488433	4384582	698	01/10/2001	30/09/2016

PRECIPITACIÓN (mm)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**344,1**	**1,0**	**33,6**	**31,2**	**36,6**	**48,6**	**36,4**	**21,9**	**4,7**	**8,2**	**16,5**	**45,9**	**34,3**	**33,4**
Máxima absoluta	571,4	100,6	128,8	67,6	115,0	102,4	105,6	85,2	17,9	34,8	44,2	103,6	91,7	115,4
Fecha	2003/04	16/01/2003	2003	2010	2013	2016	2007	2010	2014	2003	2012	2003	2012	2009
Mínima absoluta	162,8	0,0	0,0	2,6	6,3	0,8	0,0	2,2	0,0	0,0	0,6	20,8	9,6	0,0
Fecha	2004/05	-	2005	2002	2014	2014	2014	2012	2005 y 2009	Varios años	2011	2009	2007	2015

Tabla 11.2. Valores de precipitación más relevantes registrados en la estación termo-pluviométrica TO10 La Puebla de Almoradiel (SIAR)

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
4050	La Puebla de Almoradiel	489935	4383290	695	1960/61	1999/2000

PRECIPITACIÓN (mm)		
	Precipitación anual	Fecha
Media	**419,2**	1960/61 - 1999/2000
Máxima absoluta	675,3	1961/62
Mínima absoluta	249,5	1993/94

Tabla 11.3. Datos de ubicación, registro temporal y valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica nº 4050 La Puebla de Almoradiel (AEMET)

TEMPERATURA (°C)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**13,7**	**-**	**4,2**	**5,3**	**8,7**	**12,2**	**16,5**	**22,0**	**25,0**	**24,2**	**19,5**	**14,2**	**7,9**	**4,4**
Máxima media	21,2	-	10,6	12,1	15,9	19,2	23,9	30,2	33,9	33,3	28,0	21,7	14,6	11,0
Mínima media	6,4	-	-1,2	-0,9	1,9	5,2	8,4	13,1	15,0	14,9	11,4	7,6	2,1	-1,0
Máxima absoluta	-	42,1	20,5	23,3	26,0	29,7	37,8	39,2	40,7	42,1	39,9	33,8	26,0	19,1
Fecha	-	10/08/12	27/01/03	27/02/10	24/03/02	08/04/11	17/05/06	29/06/05	06/07/15	10/08/12	07/09/16	02/10/04	01/11/09	05/12/15
Mínima absoluta	-	-13,3	-13,3	-10,2	-8,6	-3,5	-1,2	0,0	0,0	5,5	0,0	-3,5	-10,0	-13,3
Fecha	-	15/12/09	28/01/05	23/02/12	08/03/05	02/04/16	04/05/02	03/06/03	31/07/08	21/08/04	11/09/02	27/10/10	18/11/07	15/12/09

Tabla 11.4. Valores de temperatura más relevantes registrados en la estación termo-pluviométrica TO10 La Puebla de Almoradiel (SIAR)

consecuencia de la dulcificación provocada por los masivos vertidos de aguas poco mineralizadas. Como hecho más significativo, únicamente se conserva cierta extensión marginal de estepas halófilas en la ribera septentrional de la cubeta y tarayales halófilos en su parte oriental (PGH-CLM, 2015). Al igual que en Tírez y Peña Hueca, los trabajos realizados por la empresa URS para la red de control biológico de la cuenca del Guadiana, que incluyen la identificación de especies de plantas presentes en la laguna Larga, describen también la presencia en estas estepas de *Sarcocornia perennis* y *Suaeda splendens*, al igual que *Salicornia ramosissima* y *Limonium* sp. No obstante, son dominantes las extensiones de helófitos compuestas por *Phragmites* sp. y *Scirpus* sp. También el Plan de Gestión de Humedales menciona como una particularidad de esta laguna la presencia de una pequeña plantación de Orzaga (*Atriplex halimus*) en los alrededores del observatorio del Flamenco, proveniente de las labores de restauración del antiguo basurero (PGH-CLM, 2015).

Con respecto a la avifauna, censos llevados a cabo en los últimos años en el contexto del proyecto Ecolake muestran como los altos niveles de salinidad y temporalidad limitan el establecimiento de poblaciones abundantes y estables (Gil-Delgado *et al*., 2016). En este sentido, las densidades de avifauna son significativamente más elevadas en la laguna Larga, debido esencialmente a la alteración hidrológica que provoca el descenso de su salinidad, sustentadas en la alta densidad de flamencos (*Phoenicopterus roseus*), lo que en origen responde al crecimiento exponencial que ha manifestado la abundancia de esta especie durante la década de 1980. Diversos estudios reportan cifras superiores a los 2.000 individuos a principios del presente siglo (Gosálvez *et al*., 2016). Censos más recientes dentro del contexto del proyecto Ecolake (Gil-Delgado *et al*., 2016) muestran la acentuación de este proceso.

A pesar de estas altas densidades de flamencos, la laguna Larga presenta en la actualidad (2013-2016) una avifauna más rica en especies que las otras dos lagunas del complejo, superior a la decena de especies en muchos de los censos realizados, en la que destaca, sin considerar a los flamencos, la presencia en orden de mayor a menor abundancia del ánade real (*Anas platyrhynchos*), el pato cuchara (*Anas clypeata*) y la cigüeñuela común (*Himantopus himantopus*).

Las lagunas de Tírez y Peña Hueca, que mantienen unas características naturales mucho más salinas, presentan por el contrario riquezas no superiores a 5 especies, con valores de abundancia algo superiores en el caso de Tírez. Así, censos recientes en esta última laguna muestran de forma puntual poblaciones significativas, unos 300 individuos, de gaviota sombría (*Larus fuscus*) y gaviota patiamarilla (*Larus cachinnans*) durante los meses invernales, cuando la cu-

beta presenta mayor lámina de agua (Gil-Delgado *et al*., 2016), siendo avistadas estas mismas especies de manera ocasional en Peña Hueca. De igual forma, Tírez alberga pequeñas poblaciones de tarro blanco (*Tardona tardona*) y archibebe claro (*Tringa nebularia*), con presencias de la primera también en Peña Hueca. Aunque menos comunes, también es posible observar en Tírez ejemplares de avoceta (*Recurvirostra avosetta*) y archibebe común (*Tringa totanus*), así como avistamientos en las inmediaciones de esta laguna del cernícalo primilla (*Falco naumanni*), que utiliza la zona como parte de su área de caza.

Biodiversidad microbiana y del plancton

Debido a sus distintivos rasgos geoquímicos, al relativo buen estado de conservación y, en particular, a su carácter atalásico, las lagunas de Tírez y Peña Hueca constituyen un enclave ideal para el estudio de las comunidades microbianas, siendo no obstante más amplios los estudios llevados a cabo en la primera de ellas, en parte por su interés en el campo de la Astrobiología (Prieto *et al*., 2003). Motivados por este hecho, distintos trabajos, abordados mediante técnicas tradicionales de enriquecimiento como de biología molecular, han permitido esbozar la diversidad microbiana, y a su vez funcional, en la laguna de Tírez (Prieto *et al*., 2003; Montoya *et al*., 2011 y 2013). Algunos de los estudios fisiológicos indican una notable producción de H_2S por parte de bacterias sulfatorreductoras, principalmente *Deltaproteobacteria*. Por su parte, la aplicación de técnicas moleculares (i.e., amplificación parcial o total del 16S rRNA, PCR-clonaje y DGGE) ha constatado una mayor abundancia de proteobacterias respecto a otros grupos bacterianos, principalmente de las clases Gamma -y Alpha- Proteobacteria. No obstante, estos estudios inciden en las notables variaciones que pueden presentar las comunidades microbianas en función del periodo del ciclo hidrológico debido a los significativos cambios de salinidad generados por la concentración de sales a causa de la evaporación. Cabe mencionar la presencia de diversos miembros de la familia *Halobacteriaceae*, del dominio *Archaea*, típicos de ambientes salinos, lo que explicaría el color rojizo observado ocasionalmente en las balsas de evaporación (figuras 11.24) causado por el característico pigmento bacteriorodopsina de estas arqueas. Igualmente, y a pesar de las altas concentraciones de sulfato, en la laguna de Tírez se ha constatado la presencia de metanógenos consumidores de hidrógeno (Montoya *et al*., 2011). A pesar de que los estudios sobre la diversidad molecular en Peña Hueca no son tan extensos, existen trabajos que ponen de manifiesto la particular composición de la comunidad procariota de esta laguna con respecto a otras de su entorno (Camacho *et al*., 2014), siendo muy probablemente la salinidad el principal factor que lo determina.

Con respecto a la microbiota fotosintética del plancton, los estudios realizados en Tírez por Montoya y colaboradores muestran una comunidad compuesta principalmente por clorófitas propias de sistemas salinos (*Dunaliella* sp.) y cianobacterias (*Nodularia* sp., *Microcoleus* sp., *Anabaena* sp., *Nostoc* sp. y *Pseudoanabaena* sp.), posiblemente de tipo nectobentónico, siendo más abundantes las primeras cuando la salinidad aumenta hacia el final del hidroperiodo. Estudios previos muestran también la dominancia en términos relativos de otros géneros de clorófitas como *Chlamydomonas* sp. durante determinadas épocas (Alonso, 1998). Las primeras observaciones llevadas a cabo en Peña Hueca (Armengol *et al*., 1975), aunque muy descriptivas, ponían de manifiesto una comunidad del fitoplancton que no difiere notablemente de la anterior, con una presencia también de *Dunaliella* sp. y *Chlamydomonas* sp., aunque en este caso también se destaca la presencia de diatomeas.

Los citados estudios no contemplaban el monitoreo de la laguna Larga, sin embargo, los trabajos ya referidos de identificación taxonómica realizados por la empresa URS para la Confederación Hidrográfica del Guadiana (2005 y 2006), permiten tener una idea de la composición de la comunidad del fitoplancton. Así, las muestras analizadas durante ese periodo indican una comunidad dominada por cianobacterias picoplanctónicas (*Synechococcus* sp.). Se constata también la presencia de formas filamentosas de este grupo (*Phormidium tenue*, *Oscillatoria* sp., *Nodularia* sp.), aunque su presencia en el plancton es probablemente circunstancial ya que principalmente medran en el compartimento bentónico. Trabajos posteriores de la misma empresa (2007-2010) describen también una comunidad de diatomeas exigua en términos de riqueza de especies que, a su vez, genera valores bajos en los índices de calidad y densidades puntualmente masivas de clorofíceas clorococales (i.e., *Oocysis* sp., *Chlorella* sp.). Igualmente, se certifica la ausencia de vegetación sumergida o flotante en la laguna.

Como sucede con la flora vascular, la elevada salinidad de Tírez y Peña Hueca restringe notablemente la distribución de zooplancton. No obstante, en periodos de menor salinidad se han observado en Tírez ejemplares de rotíferos como *Hexartra* sp., e incluso de crustáceos del género *Artemia* sp., propios de ambientes hipersalinos (Montoya *et al*., 2011). Cabe destacar las observaciones del estudio limnológico realizado en los años 90 como base para la elaboración del Plan de Ordenación de Recursos Naturales (Vicente *et al*., 1998), donde se resalta el interés biogeográfico de Tírez por la presencia del copépodo *Arctodiaptomus salinus*. Por contra, este mismo estudio señala a *Megacyclops viridis* como el copépodo dominante en Peña Hueca.

Por otra parte, diversos trabajos citan una muy limitada presencia de ostrácodos tanto en Tírez como en Peña Hueca (Roca *et al*., 2000). En este sentido, en Tírez sólo han sido observados de forma puntual algunos especímenes de *Heterocypris barbara* (Castillo-Escrivá *et al*., 2016), especie que al parecer tiende a constituir de forma característica poblaciones monoespecíficas en lagunas con elevadas salinidades (Castillo-Escrivá *et al*., 2015). Otro aspecto a destacar en estas dos lagunas es la presencia del cladócero *Alona salina* (Boronat *et al*., 2001), endémico de la Península Ibérica.

En la laguna Larga, los recientes estudios limnológicos llevados a cabo en el contexto del proyecto Ecolake muestran una comunidad de invertebrados exigua en términos de biodiversidad, aunque en este caso no respondería tanto a los altos niveles de salinidad, como sucede en las lagunas de Tírez y Peña Hueca, sino al empobrecimiento del estado ecológico como consecuencia de la alteración trófica que sufre. Durante el periodo primaveral ha sido posible observar hemípteros de la familia *Corixidae* y dípteros de las familias *Orthocladiinae*, así como *Chironominae* en muestras bentónicas, mientras que el zooplancton estuvo representado casi únicamente por el rotífero *Brachionus plicatilis*. Igualmente, es destacable también una virtual ausencia de ostrácodos, con su única aparición, principalmente *Heterocypris barbara*, también durante el periodo primaveral. Los trabajos de la empresa URS (2007-2010) ponen de manifiesto los bajos niveles de biodiversidad de las comunidades de macroinvertebrados y microinvertebrados bentónicos en esta laguna.

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos de mayor relevancia que ofrecen estas lagunas son:

- Servicios de abastecimiento: materias primas de origen mineral (extracción de sal), materias primas de origen biológico (pastoreo, caza), acervo genético.
- Servicios de soporte: mantenimiento de la biodiversidad.
- Servicios de regulación: climática, hídrica y de ciclos biogeoquímicos.
- Servicios culturales: conocimiento científico, identidad cultural, disfrute estético, ecoturismo, educación ambiental.

Estado ecológico e impactos

En las lagunas del complejo existe una desigual afección de impactos ambientales, tanto en términos cuantitativos como cualitativos, que cabe atribuirlos esencialmente a la ubicación geográfica de las mismas, de tal modo que el aislamiento que presentan Tírez y Peña Hueca respecto a la Larga favorece el mejor estado de conservación de las primeras. Tanto Tírez como Peña Hueca han sido objeto de explotación salinera en el pasado, pero mientras que en Tírez las modificaciones morfológicas derivadas de esta actividad son vestigiales, en el caso de Peña Hueca son más evidentes. De este modo, a pesar de no existir en ambas lagunas aportes de nutrientes procedentes de actividades humanas, la ocurrencia en el pasado de obras de dragado en la laguna de Peña Hueca para la extracción de salmuera (Vicente *et al*., 1998), así como de vertidos, se manifiesta todavía en una cierta alteración de su estado ecológico con respecto a Tírez. Esta última representa, por otra parte, la situación de mejor conservación dentro del complejo lagunar, sin que se observe que el uso de la tierra en su cuenca vertiente incida en ella de forma significativa. Por el contrario, el vertido de las aguas residuales de la población de Villacañas a la laguna Larga, a pesar de su tratamiento desde los años 90 (Pérez y García, 2004), mantiene concentraciones de fósforo por encima de los niveles recomendables, con la consecuente eutrofización del humedal y la reducción de los niveles de salinidad. Estos aportes de agua dulce, además de dilatar el ciclo hidrológico natural de la laguna, la convierten de forma artificial en semipermanente.

En cualquier caso, tanto la incidencia de alteraciones únicamente hidrológicas como las acompañadas de una alteración trófica, provocan la pérdida de algunas de las características ecológicas esenciales de estos humedales, siendo la Larga la que muestra una mayor perturbación. Los análisis de los parámetros de calidad del agua, llevados a cabo de forma estacional durante los últimos años (2012-2014), ilustran de forma clara las diferencias existentes en el estado trófico de las tres lagunas del complejo. A modo de resumen, estos muestran niveles de concentración de clorofila-*a* más elevados, habitualmente superiores a 100 µg/l, en la laguna Larga, siendo más moderados en los periodos invernales pero manteniéndose siempre en niveles de hipereutrofia según la clasificación del grado de eutrofia de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 1982). Por el contrario, en Peña Hueca estas concentraciones son más bajas y muestran una oscilación entre niveles de mesotrofia e hipereutrofia durante el trascurso del ciclo hidrológico, con valores máximos algo superiores a 50 µg/l. En Tírez, con una mejor situación, los niveles de clorofila-*a* raramente superan los 10 µg/l, lo que la mantienen de forma invariable en un estado mesotrófico, que es el que cabría esperar de una laguna endorreica con esta tipología. Con respecto a la laguna Larga, las observaciones del proyecto Ecolake resultan coincidentes con las de los trabajos de la empresa URS (2007-2010). En ellos se clasifica recurrentemente la calidad ecológica de la laguna como de nivel "Mala" tanto para el elemento de calidad Fitoplancton como para su estado global, evidenciando la ausencia de posibles procesos de regeneración en los últimos años.

Contexto socioeconómico

La referenciación de diversos indicadores estadísticos permite una aproximación a los aspectos socioeconómicos más relevantes del municipio de Villacañas, donde se asienta el complejo lagunar. Con una extensión de su término municipal de 268,51 km^2, Villacañas cuenta con una población de 10.089 habitantes (INE, 2014), lo que supone una densidad de 37,57 hab/km^2 (figura 11.2).

En el nivel de estudios de sus habitantes predomina el de segundo grado con el 43,5%, al que le sigue el de primer grado con el 26,2%, siendo el minoritario el de analfabetos con un 3,3% (tabla 11.5).

Tabla 11.5. Nivel de estudios (Censo de Población y Vivienda 2011. INE)

NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	%
Analfabetos	232	*3,3*
Sin estudios	1.107	*15,7*
1er Grado	1.854	*26,2*
2º Grado	3.080	*43,5*
3er Grado	799	*11,3*
TOTAL	**7.072**	***100***

La actividad económica (tabla 11.6) tiene su eje principal en el sector servicios, con un 58,6% de empresas, le siguen en número de empresas la industria y la agricultura, con un 19,9% y 15% respectivamente. El 6,5% restante corresponde al sector construcción. En contrapartida, los trabajadores afiliados al sector industria se equiparan al sector servicios (43,7% y 42,7%), siendo minoritarios los trabajadores afiliados al sector agricultura (8,4%) y la construcción (5,2%).

Tabla 11.6. Empresas y afiliación en Villacañas (Tesorería General de la Seguridad Social 2014)

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	229	*8,4*	46	*15,0*
Industria	1.189	*43,7*	61	*19,9*
Construcción	142	*5,2*	20	*6,5*
Servicios	1.162	*42,7*	180	*58,6*
TOTAL	**2.722**	***100***	**307**	***100***

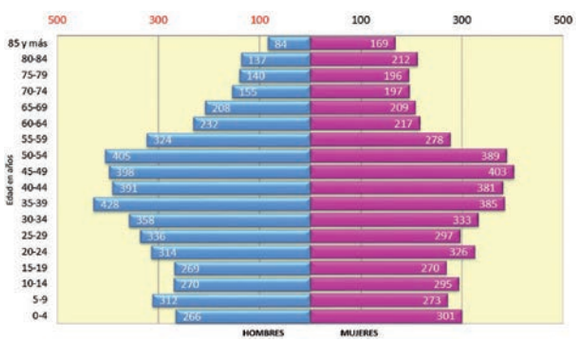


Figura 11.2. Pirámide (izquierda) y Grupos de población de Villacañas (derecha) (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha 2014. Padrón Municipal de Habitantes a 1 de enero 2014. Instituto Nacional de Estadística, INE)

La tabla 11.7 muestra la evolución ascendente del número de parados en el lapso temporal entre 2009 y 2014, descendiendo en este último año.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº de parados	1.074	1.237	1.473	1.551	1.960	1.838

Tabla 11.7. Desempleados (Paro municipal registrado. SPEE)

En cuanto a la agricultura (tabla 11.8), la mayor parte de su término municipal está ocupado por cultivos (83,1%). Entre ellos dominan los herbáceos (60,6%) y los viñedos (31,3%), siendo minoritaria la presencia de olivar (7,5%) y frutales (0,5%).

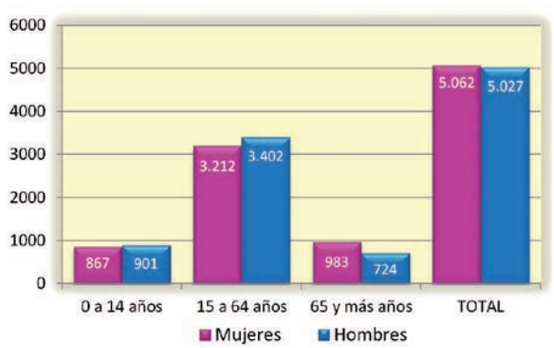
EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	17.943	10.874	*83,1*	*60,6*
	Frutales		96		*0,5*
	Olivares		1.350		*7,5*
	Viñedos		5.623		*31,3*
Pastos		1.594		*7,4*	
Forestal		2.048		*9,5*	
TOTAL		**21.585**		***100***	

Tabla 11.8. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2009, INE)

Respecto a la ganadería, se reparte casi en su totalidad entre las de tipo ovina y porcino, con un 47,4 y un 47,1%, respectivamente (tabla 11.9).

CABEZAS DE GANADO		
	Nº de cabezas	%
Bovinos	0	*0,0*
Ovinos	6.032	*47,4*
Caprinos	655	*5,1*
Porcinos	6.000	*47,1*
Aves	32	*0,3*
Equinos	7	*0,1*
TOTAL	**12.726**	***100***

Tabla 11.9. Cabezas de ganado (Censo Agrario 2009, INE)



11.2. LAGUNA LARGA

Situación geográfica, coordenadas y accesos

Como se ha comentado, la laguna Larga se sitúa muy próxima a Villacañas y a casi un kilómetro de su núcleo urbano (figura 11.3), siendo las coordenadas de su punto central X: 472700, Y: 4383850 (UTM ETRS89 H30) y su altitud de 657,6 m s.n.m., según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

Son varios los accesos que presenta, todos ellos libres. Las entradas más directas quedan al norte del humedal; una de las cuales se toma desde el p.k. 94,35 de la carretera nacional CM-410, punto cercano al cruce con la carretera local CM-3001. Recorridos 1,2 km por un camino de tierra se alcanza la cubeta después de bordear el margen suroeste de dos pequeñas lagunas anexas: laguna Redondilla o de Los Santos y laguna de La Gramosa.

Otro de los accesos señalizados y más directos se toma en el p.k. 94 de la carretera nacional CM-410 donde nace el camino de Villacañas a Quero, que discurre hacia el sur subparalelo al margen oeste de la laguna y a la acequia de Los Albardiales, llegando al extremo sur del humedal tras recorrer 3 km, donde transcurre paralelo a la vía de ferrocarril.

En la zona es común la elevada densidad de caminos rurales que, además de dar acceso a las múltiples parcelas agrícolas, derivan en varios puntos hacia el vaso de la laguna por su margen este, así como hacia los observatorios instalados. La cañada Real Soriana Oriental, que recorre de sur a norte las provincias de Toledo y Ciudad Real, discurre paralela al río Riansares, a unos 2 km al este del humedal.

Características fisiográficas

La laguna tiene forma alargada con dos direcciones predominantes, desde la zona más cercana a la localidad hasta el área central de la cubeta adquiere una dirección noreste-suroeste, para pasar a una dirección norte-sur en la zona más alejada de Villacañas, con una longitud aproximada de 2,8 km siguiendo el eje imaginario de ambas direcciones (figura 11.3).

De apariencia serpenteante, posee una superficie máxima inundación de 108,17 ha, con un perímetro aproximado, según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021 (BOE, 2016), de 8,4 km.

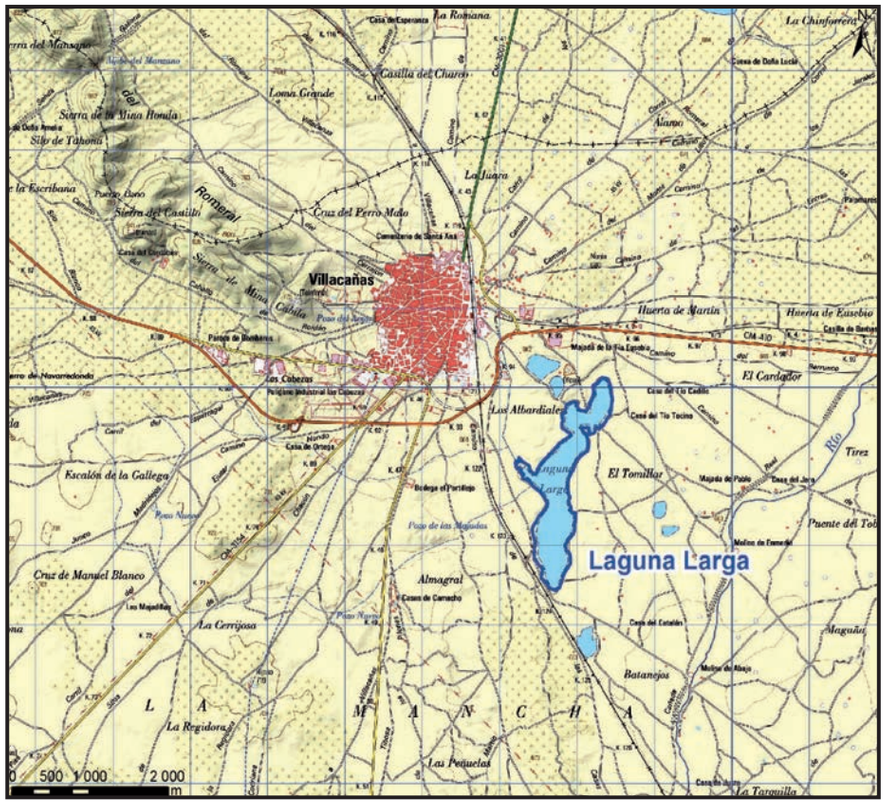


Figura 11.3. Situación geográfica de la laguna Larga (hoja 687 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

Las muy escasas diferencias topográficas dibujan un paisaje llano, en el que únicamente sobresalen de forma natural leves montículos alomados y, de manera artificial, el terraplén que constituye el tramo electrificado de la línea férrea Madrid-Valencia a su paso por Villacañas.

Geomorfológicamente, la laguna, con sólo algunos centímetros de profundidad, destaca de forma nítida en el paisaje al conservar cierta lámina de agua de forma permanente a lo largo del año.

La red fluvial aledaña queda restringida al paso del río Riansares que cursa al este del humedal, con un encajamiento poco acusado, entre parcelas cultivadas de cereal, viñedos y olivos, intercaladas entre ellas zonas que mantienen la vegetación esteparia de relieve ligeramente más acusado (figura 11.4).

Normativa específica y figuras de protección

La laguna Larga está incluida dentro de la Zona Núcleo de la Reserva de la Biosfera "La Mancha Húmeda", declarada por la UNESCO en 1980,



Figura 11.4. Imagen aérea de la laguna Larga. Año 2000 (Archivo Fundación Global Nature)

ostentando, dentro de ella, una especial protección. Este humedal también se encuentra incluido en la Red Natura 2000 y ha sido declarado Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Humedales de La Mancha" (tabla 11.10).

A nivel autonómico no se ha llegado a implantar su Plan de Ordenación de Recursos Naturales, ni ha sido declarada Reserva Natural.

Actualmente, el humedal es propiedad del ayuntamiento de Villacañas. Utilizado durante décadas como escombrera local, su situación ha mejorado debido a las acciones de recuperación y restauración ecológica acometidas por la Fundación Global Nature a través del Proyecto LIFE "Humedales de Villacañas" (LIFE 99 NAT/E/6339).

VALORES HISTÓRICOS Y CULTURALES

Vertedero urbano

El antiguo vertedero municipal de Villacañas quedaba situado sobre la orilla de la laguna, soportando basuras y escombros. Cercano quedaba también un circuito de motocross y durante años la laguna recibía las aguas residuales procedentes del municipio sin una depuración adecuada, circunstancia que originó un fuerte proceso de contaminación y erosión, así como un impacto severo a sus aguas.

Esta situación se prolongó hasta la ejecución del proyecto LIFE "Humedales de Villacañas" entre los años 1999 y 2002, responsable de la limpieza de gran parte del entorno lagunar, retirada de escombros y basuras, recuperando la vegetación halófila de sus orillas (figura 11.5).

Espacio de educación ambiental

Las actuaciones acometidas por la Fundación Global Nature han desembocado en la creación de un espacio de ocio donde se practican diversas actividades relacionadas con la naturaleza. Todo ello favorecido por el cambio de actitud a favor de la conservación del complejo lagunar de Villacañas por parte de los vecinos y el grado de participación demostrada por otros colectivos sociales.

Para paliar los efectos de las aguas residuales depuradas se ha instalado un sistema de filtración natural o filtro verde que realiza un tratamiento terciario de los vertidos. Estos aportes mantienen cierta lámina de agua en el humedal, favoreciendo las colonias permanentes de aves, como los flamencos, que acuden a miles durante su migración hacia el sur (figura 11.6), anátidas y, en época de reproducción, la pagaza y la canastera.

Para el avistamiento de estas aves se construyeron dos observatorios: "El Flamenco" y "La Canastera", así como paneles informativos sobre los valores ecológicos, la flora y la fauna.

Tabla 11.10. Figuras de protección de la laguna Larga

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA LARGA
RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA
Declaración de la UNESCO de 30 de noviembre de 1980
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Humedales de La Mancha", código ES4250010 Zona de Especial Protección para las Aves Z.E.P.A. "Humedales de La Mancha", código ES0000091



Figura 11.5. Vegetación halófila (L.A. Carreño)

La positiva transformación del humedal, convertido en espacio natural donde se pueden realizar numerosas actividades para disfrutar de la naturaleza, ha cambiado la percepción de los villacañeros, que empiezan a estar orgullosos de sus lagunas.

Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna Larga, situada dentro de la cuenca alta de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, se localiza al oeste de la subcuenca del río Riansares, cerca de su confluencia con el río Gigüela. La extensión de su área vertiente es de 6.971 ha (figura 11.7), pertenecientes a los términos municipales de Villacañas y de Lillo (cercano a un tercio). La relación entre la superficie de la cuenca hidrológica y la superficie de la propia laguna es de 64, una de las más altas de las lagunas incluidas en esta publicación.

Esta cuenca es relativamente llana, excepto en su zona occidental donde las sierras de Mina Cabila, del Castillo y de la Mina Honda se alzan con desniveles de hasta 200 m respecto a la llanura donde se ubica el vaso de la laguna. Sus cotas topográficas se encuentran entre los 657,6 y los 852,2 m s.n.m., con un valor promedio de 688,4 m s.n.m. La pendiente media es del 3,8%, con predominio de las inferiores

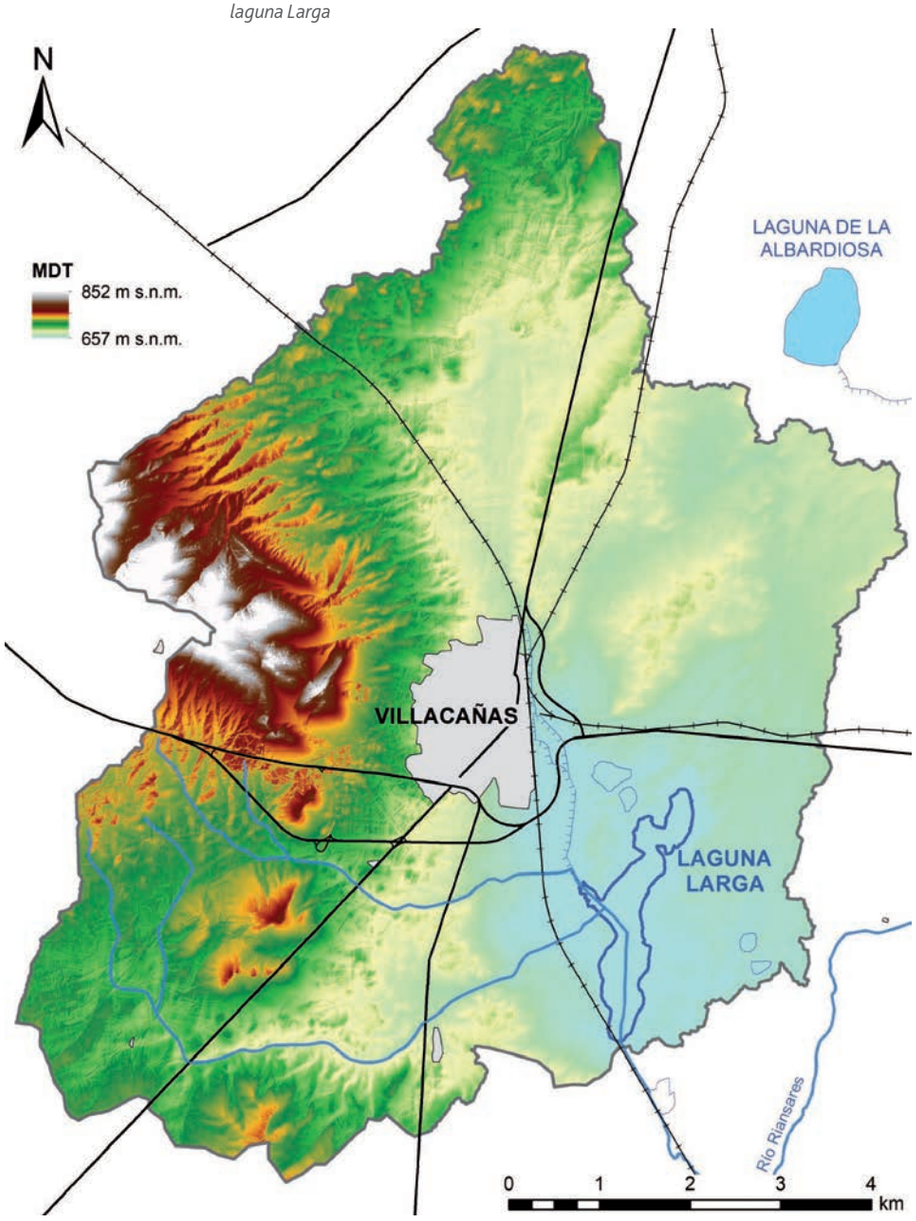


Figura 11.6. Grupo de flamencos levantando el vuelo indicativo de la recuperación del humedal (C. Camuñas)

al 3%, excepto en el extremo más occidental donde se dan los desniveles más acusados. En consecuencia, la mayor parte de los límites de su área vertiente son de difícil determinación y vienen condicionados por la presencia de otras zonas endorreicas colindantes, tales como la de la laguna de Tírez, al sur, y las correspondientes a las de Lillo o El Longar y la Albardiosa, al norte.

En el sector meridional de la cuenca discurren dos pequeños arroyos con dirección oeste-este que confluyen en la laguna por su orilla occidental, entroncando uno de ellos con la Acequia de los Albardiales a pocos metros de su vaso. Al sur de éste, otro arroyo conduce su eventual rebose hacia el río Riansares, con el que confluye tras un recorrido de unos 4 km. El resto de la red de drenaje consiste en pequeñas vaguadas apenas distinguibles en el territorio.

Figura 11.7. Cuenca hidrológica de la laguna Larga



Existen, además, dos canales con solera de hormigón que después de recorrer el flanco oriental del núcleo urbano de Villacañas y confluir cerca del cruce con la vía del ferrocarril, vierten sus aguas a la laguna por su ribera occidental. Estas aguas presentan cierta continuidad temporal y proceden del drenaje de flujos subsuperficiales del entorno de dicha localidad, muy posiblemente incrementados por las pérdidas de sus redes de abastecimiento y saneamiento.

El vaso de la laguna se sitúa en el extremo suroriental de la cuenca y sus aportes en régimen natural provenían exclusivamente de la escorrentía generada por la precipitación del agua de lluvia caída sobre la superficie de la cuenca y, esencialmente, sobre los relieves de la zona occidental donde se localizan las pequeñas elevaciones de las sierras de Mina Cabila, del Castillo y de la Mina Honda. Sin embargo, esta situación ha sido totalmente modificada por la acción humana, ya que la laguna recibe el vertido de la EDAR de Villacañas, con la consecuente alteración de su ciclo hidrológico al proporcionarle un aporte regular de agua durante todos los meses del año. También ha influido en la modificación de su régimen natural la canalización que drena la zona del entorno del núcleo urbano y vierte sus aguas al humedal por su margen oeste.

Geología

En la cuenca hidrológica que vierte sus aguas a la laguna Larga afloran formaciones geológicas de diferente naturaleza y comportamiento. Como en las vecinas cuencas de Tírez y Peña Hueca los sedimentos más antiguos corresponden al Ordovícico, mientras que los más modernos pertenecen al Cuaternario. En este caso no aparecen materiales de edad jurásica ni cretácica, y sí lo hacen de manera muy amplia las formaciones neógenas, pertenecientes sobre todo al Mioceno medio y superior. Estas últimas, junto con los sedimentos más recientes de edad cuaternaria, ocupan cerca del 83% de la superficie total de la cuenca (figura 11.8).

Atendiendo a su comportamiento hidrogeológico (tabla 11.11), predominan de manera muy marcada los afloramientos de materiales con permeabilidad media

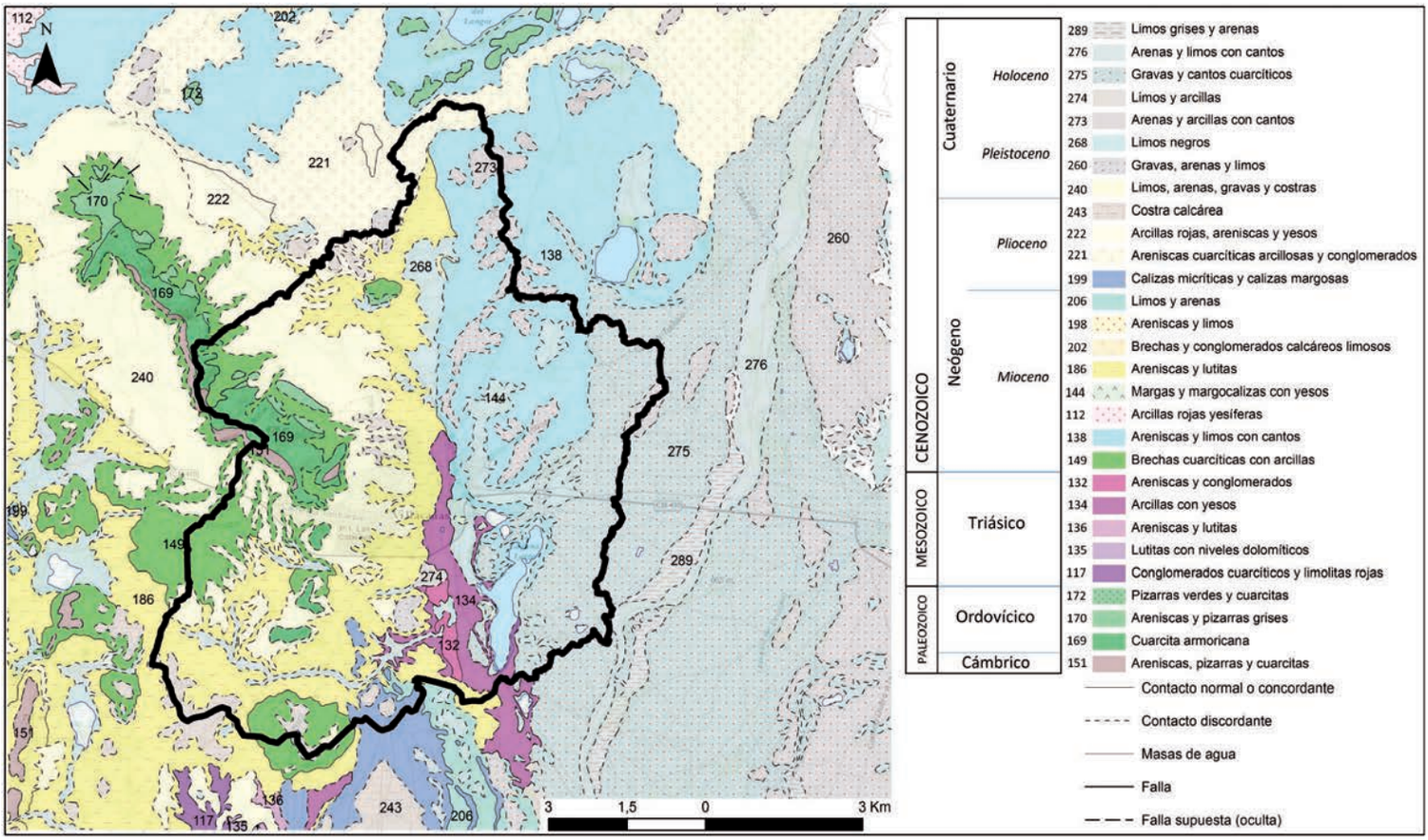


Figura 11.8. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna Larga (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

(Tipología B: 40%) y con permeabilidad baja (Tipología C: 50%), siendo los impermeables minoritarios (Tipología D: 10%). Entre los primeros se encuentran las formaciones paleozoicas compuestas por areniscas y cuarcitas con pizarras subordinadas, las areniscas y conglomerados del Trías en facies Keuper, las brechas cuarcíticas con arcillas del Mioceno medio y los sedimentos de limos, gravas, arenas y costras cuaternarios. Entre los de baja permeabilidad se encuentran la mayoría de los sedimentos neógenos, como son las areniscas, limos y arenas del Mioceno medio-superior, y las calizas con margas, limos y caliches del Mioceno superior-Plioceno. A este último grupo también se pueden añadir los limos de fondo de laguna cuaternarios.

Como ya se ha citado, los materiales de carácter impermeable tienen una reducida extensión comparada con la superficie total de la cuenca, y quedan circunscritos al sector localizado entre la laguna y la población de Villacañas. No obstante, como se verá a continuación, su importancia es esencial para explicar la formación del humedal.

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
FORMACIÓN GEOLÓGICA	Edad	Tipología	%
Areniscas, cuarcitas y pizarras	Ordovícico	B	40
Areniscas y conglomerados	Triásico Keuper	B	
Brechas cuarcíticas y arcillas	Mioceno medio	B	
Limos, arenas y gravas	Cuaternario	B	
Limos, arenas, areniscas, calizas y margas	Mioceno medio-superior	C	50
Limos	Cuaternario	C	
Arcillas con yesos	Triásico Keuper	D	10
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Tabla 11.11. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna Larga

Según lo expuesto, el entorno más inmediato de la laguna (figura 11.8) está caracterizado por la presencia de las arcillas rojas con yesos del Trías Keuper, que configuran el substrato geológico de su cubeta y se extienden ampliamente en profundidad. Esta formación, que engloba ocasionalmente algún tramo de areniscas y conglomerados de escala métrica, presenta un buzamiento suave hacia el este y puede alcanzar espesores muy importantes, superiores a los 100 m, por estar afectada por una dinámica halocinética.

Bajo la formación anterior se encuentran las restantes litologías que configuran el Trías Keuper en facies germánica: las areniscas y lutitas rojas compuestas por un tramo superior de lutitas (12 m) y otro inferior de areniscas (15 m), a la que siguen en profundidad las lutitas rojas y verdes (40 m). A mayor profundidad subyace la formación de areniscas, conglomerados y dolomías del Muschelkalk (50 m) y las limolitas y conglomerados cuarcíticos del Buntsandstein (100 m).

Superpuestos a los materiales anteriores, mediante superficie erosiva y en disposición subtabular, se sitúan las areniscas y limos anaranjados con cantos del Mioceno medio. Estos sedimentos tienen escaso espesor (5 m) y son, a su vez, recubiertos por los depósitos cuaternarios de terrazas aluviales, también de potencia muy reducida.

El esquema estructural que configura el entorno de la laguna Larga es semejante a las de sus vecinas Tírez y Peña Hueca, es decir el de un monoclinal en formaciones triásicas vergente hacia el este con buzamientos suaves cercanos a 10º. En este caso, sobre las formaciones anteriores se han depositado, de forma discordante, los sedimentos neógenos del Mioceno medio.

Hidrogeología

La formación geológica sobre la que se dispone la laguna Larga, como se ha comentado en el apartado de geología, corresponde a los sedimentos de arcillas con yesos (Tk3) pertenecientes al Trías en facies Keuper que aquí adquieren una potencia superior a los 100 m. Esta formación es netamente impermeable, si bien contiene un horizonte de unos 5 m compuesto por areniscas y conglomerados (Tk3a), con permeabilidad media, que puede observarse en superficie unos cuantos centenares de metros al oeste del humedal, donde llega a aflorar (figura 11.9).

Subyacente a la formación anterior aparecen las areniscas y lutitas rojas del Keuper (Tk2) y las lutitas rojas y verdes (Tk1), con un espesor conjunto de más de 70 m, lo que sitúa su base cerca de los 200 m por

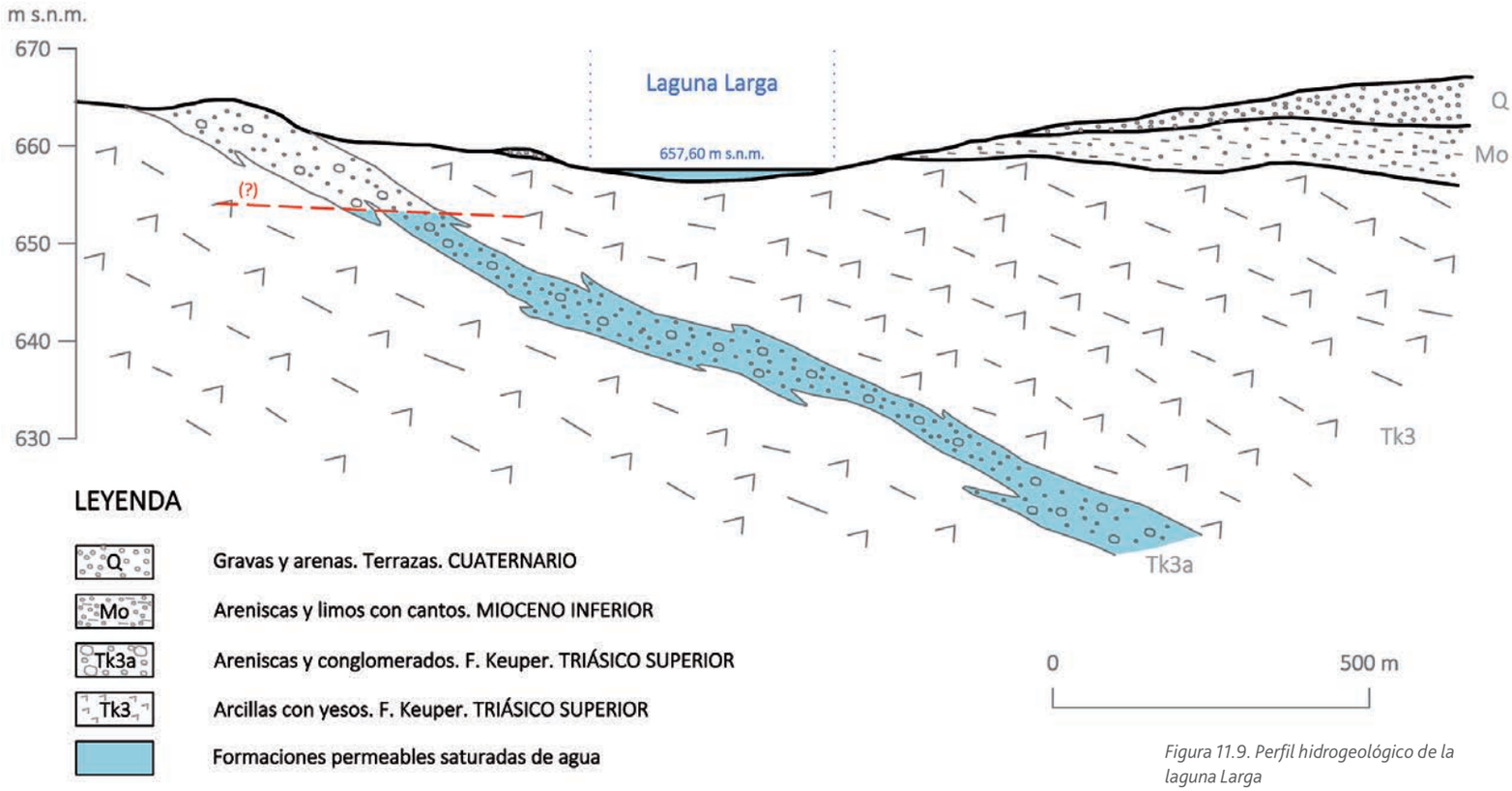


Figura 11.9. Perfil hidrogeológico de la laguna Larga

debajo de la laguna. A esta profundidad se localizarían ya las formaciones de permeabilidad media de la facies Muschelkalk (Tm) y Buntsandstein (Tb) del Triásico, que en este sector se encuentran totalmente desconectadas de la superficie.

El conjunto de sedimentos más recientes, compuesto por las areniscas y limos anaranjados con cantos del Mioceno medio (Mo) y los depósitos cuaternarios de las terrazas aluviales (Q) que recubren a los anteriores, se sitúa en posición elevada y tiene escasos metros de espesor, por lo que carecen de significación hidrogeológica. Como confirmación de lo expuesto, en las cercanías del humedal sólo existe algún que otro pozo de poca profundidad y escaso o nulo interés hidrogeológico que recoge las aguas infiltradas a través de los depósitos que recubren a las arcillas con yesos de Keuper.

En este caso, el importante espesor de sedimentos impermeables existente bajo la laguna, cercano a los 200 m, imposibilita cualquier relación con flujos subterráneos que pudieran establecerse a través del conjunto de sedimentos del Buntsandstein-Muschelkalk. Este hecho explica la práctica ausencia de pozos y sondeos en los alrededores, circunstancia que no ha permitido conocer la carga hidráulica de estas últimas formaciones. Lo único digno de resaltar, desde el punto de vista hidrogeológico, es el pequeño tramo areniscoso (Tk3a) con cierta permeabilidad intercalado en la secuencia de las arcillas rojas con yesos del Keuper, que debe contener pequeñas cantidades de agua con elevada salinidad, pero al no ser captado por ningún pozo no es posible conocer realmente tanto este dato como su conductividad hidráulica. Por otra parte la calidad del agua de los eventuales pozos artesanales existente es bastante deficiente, con CE entre los 4.000 y los 6.000 µS/cm.

Las aguas de la laguna son de carácter hipersalino, con valores más habituales entre los 27.000 y 35.000 µS/cm y facies cloruradas, si bien su contenido en sales es inferior al que tenía en régimen natural debido a los aportes de aguas de baja salinidad provenientes del saneamiento del núcleo urbano de Villacañas, que la han rebajado sustancialmente, ya que su CE ronda los 2.000 µS/cm.

Como se ha comentado, además de las aguas residuales, esta laguna tiene los aportes adicionales de aguas superficiales a través de los dos canales que acceden a ella por su margen noroccidental. Estas aguas presentan caudales reducidos y deben estar relacionados con el drenaje de las formaciones de cierta permeabilidad existentes inmediatamente al oeste de Villacañas. Su calidad es también muy deficiente con CE variables entre 3.500 y 9.000 µS/cm.

Hidroquímica

La analítica de la muestra tomada en la laguna Larga arroja un valor para la conductividad eléctrica (CE) de 38.800 µS/cm y un pH de 8,66. Por su parte, las muestras de las canalizaciones adquieren valores máximos de 8.980 µS/cm con un pH ligeramente inferior.

En esta misma línea se encuentran los cloruros y los sulfatos. Los primeros presentan un valor de 10.864 mg/L en la laguna, con valores entre 140 y 460 mg/L en los aportes de las canalizaciones. Por su parte, los valores mínimos y máximos de sulfatos varían entre 288 y 3.620 mg/L en estas últimas, siendo de 8.787 mg/L en la laguna. Los cationes también son mucho más elevados en la laguna que en los aportes que recibe, salvo en el caso del Ca^{2+}.

La facies hidroquímica predominante del agua de la laguna es clorurada-sulfatada magnésico-sódica (figura 11.10), mientras que el resto de aguas, tanto las vertidas por la EDAR como las de los canales, son sulfatadas magnésicas y magnésico-sódicas (figura 11.11).

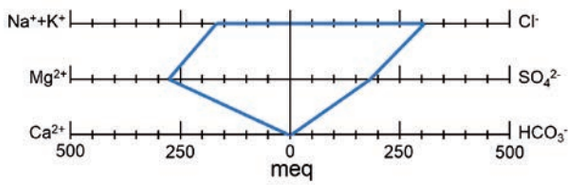


Figura 11.10. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna Larga. Fecha de ensayo 26/11/2014

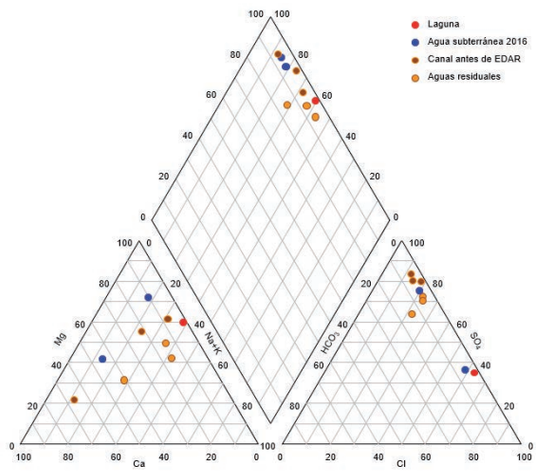


Figura 11.11. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de las muestras de la laguna Larga y su entorno

Es de destacar el aumento del catión Ca^{2+} en las analíticas de 2016 frente a las de 2014, de tal manera que las facies pasan de ser sulfatadas magnésicas a sulfatadas cálcicas.

La comparativa entre los principales parámetros del agua de la laguna y los recogidos en la normativa que regula la calidad para aguas de consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero), por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, se exponen en la tabla 11.12.

La CE en la laguna durante el periodo de control (diciembre 2012-julio 2014) arroja valores habituales entre 25.000 y 40.000 µS/cm, con máximos en febrero y marzo de 2013, momentos en los que se alcanzan los 58.000 µS/cm (figura 11.12). Ascensos más moderados se dan en noviembre de 2013 (41.750 µS/cm) y junio de 2014 (37.200 µS/cm). Los mínimos se datan a finales de mayo de 2013 (20.700 µS/cm) y a finales de febrero de 2014 (24.100 µS/cm).

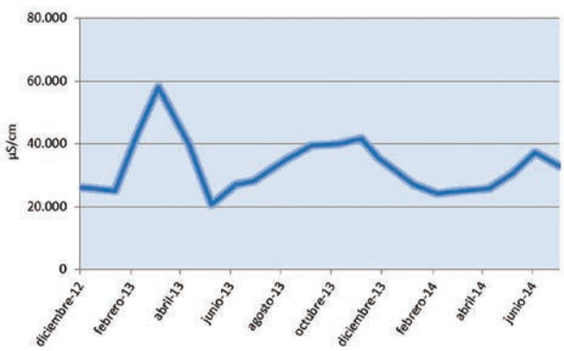


Figura 11.12. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna Larga entre diciembre de 2012 y julio de 2014

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

El funcionamiento hidrológico de la laguna Larga viene determinado por las características climáticas de la zona, así como por la morfología y la estructura geológica-hidrogeológica de la cuenca. En régimen natural, estos factores dieron lugar a una zona húmeda hipersalina somera y de carácter temporal con una lámina de agua de algunos centímetros de altura durante los periodos más húmedos, cuyo vaso quedaba totalmente seco durante los estiajes. Sin embargo, esta situación cambió con los aportes antrópicos procedentes del saneamiento de la población de Villacañas, pasando a ser una laguna con aguas de menor salinidad y carácter, prácticamente, permanente.

Por otra parte, la laguna carece de surgencias o manantiales en su cubeta, o de drenaje difuso hacia ella, debido a que se dispone sobre una formación netamente impermeable (arcillas y margas con yesos del Trías Keuper) la cual impide cualquier relación entre las aguas subterráneas y las aguas superficiales.

El funcionamiento hidrológico actual, como se ha comentado, está fuertemente modificado por la acción humana, lo cual dificulta la determinación de su balance hídrico. En sus entradas hay que considerar, además de la precipitación directa sobre la cubeta y de la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente, las aguas residuales vertidas directamente al vaso y los aportes de las canalizacio-

	Fecha de análisis			26/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA	
				Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	84,1	10
	Boro	B	mg/L	4,504	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	10.863	250
	Conductividad	CE	µS/cm	38.800	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	167	50
	pH	-	Ud de pH	8,66	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	3.332	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	8.787	250

Tabla 11.12. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

nes que drenan el entorno del casco urbano. A pesar de la inexistencia de datos de aforo de estas canalizaciones, todo apunta a que estos aportes provienen en gran parte de pérdidas en las redes de suministro y saneamiento de la población, por lo que inicialmente se ha estimado una aproximación a las mismas, ajustada posteriormente como el término residual obtenido en el balance hídrico hiperanual.

Coherente con el modelo referido, el drenaje de este sistema hidrológico se verifica, también de forma exclusiva, por la evaporación del agua acumulada en el vaso de la laguna.

Balance hídrico

El balance hídrico se ha determinado mediante el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua en su vaso, según la metodología expuesta en el capítulo 5. Las entradas a la laguna corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento (108,2 ha), a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (6.972 ha), a los vertidos de la EDAR de Villacañas y a los procedentes de las canalizaciones que drenan el entorno del casco urbano. Por su parte, las salidas son debidas a la evaporación producida sobre la lámina de agua libre, limitada por el volumen de agua disponible en cada momento.

Los datos climáticos se han obtenido de la estación agroclimática TO10 La Puebla de Almoradiel del SIAR para el periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0), se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo, si bien para este caso se ha considerado un valor kc=1. Para la determinación de la evaporación se ha considerado la extensión de la lámina de agua de la laguna en cada momento.

El análisis geológico de la cuenca, según las distintas formaciones aflorantes, ha arrojado como resultado un suelo de tipo C (tabla 11.11). Por su parte, la pendiente media hallada ha sido del 3,8%, es decir, superior al 3% (figura 11.13). Al uso de la tierra se le ha asignado la tipología de labor de secano, al ser el predominante (38% de tierras de labor en secano, y 47% incluyendo los mosaicos de cultivos), si bien la presencia de superficies impermeables en los alrededores de la laguna (en torno al 7% de la superficie de la cuenca) introduce una perturbación en el número de curva que aumenta su valor, por lo

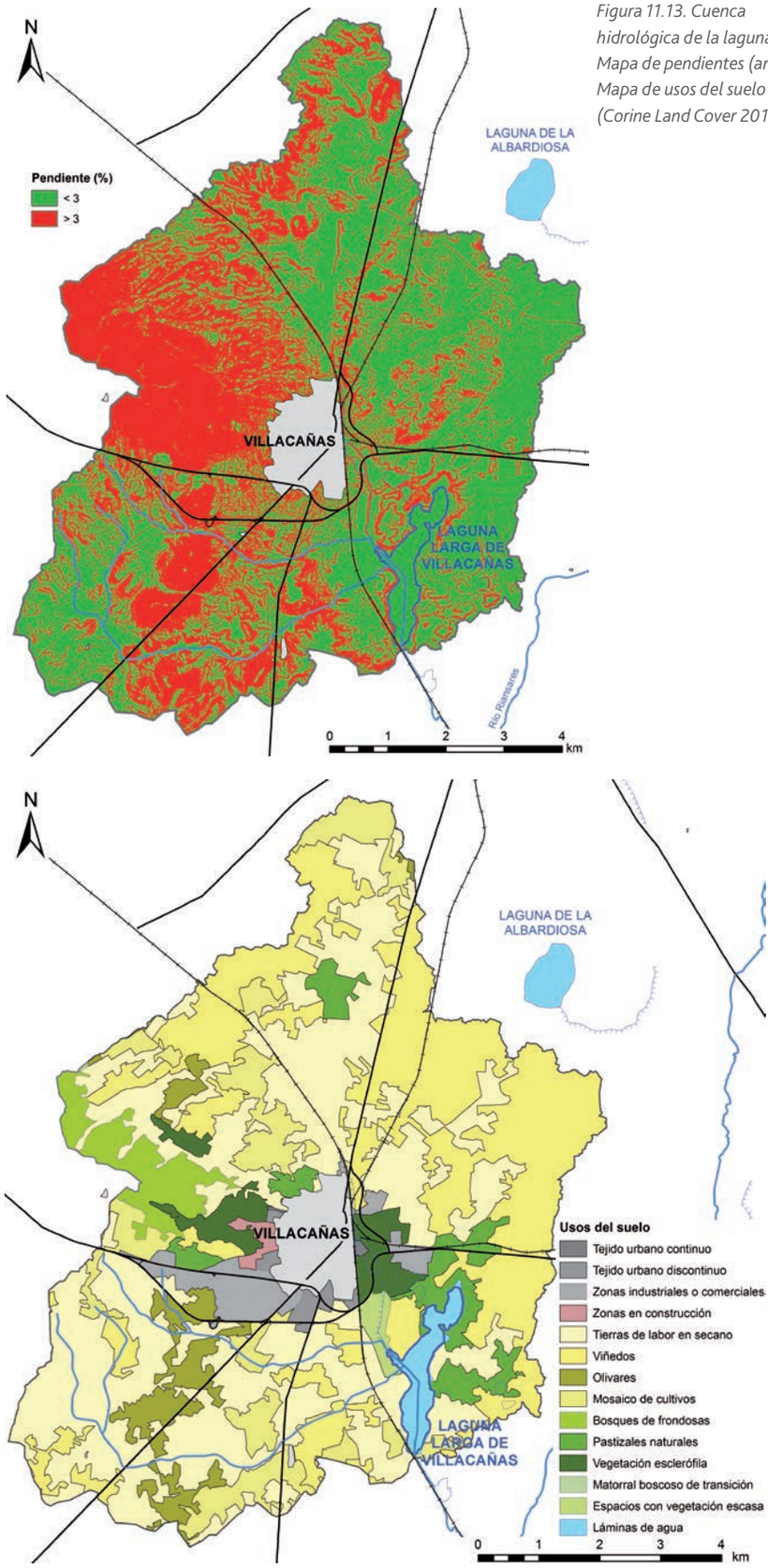


Figura 11.13. Cuenca hidrológica de la laguna Larga. Mapa de pendientes (arriba) y Mapa de usos del suelo (abajo) (Corine Land Cover 2012)

que se incrementa el porcentaje de agua de lluvia que escurriría hacia ella (figura 11.13). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

La determinación de la escorrentía superficial mediante el método del número de curva, así como de los aportes por precipitación directa sobre la lámina de agua libre, junto con las medidas limnimétricas recopiladas durante el proyecto Ecolake (2012-2014), han permitido calibrar los aportes de las canalizaciones superficiales, dada la ausencia de aportes o salidas subterráneas.

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC (*Antecedent Runoff Condition*) 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=59, que se corresponde con un valor de CN I=39 para condiciones de humedad baja y CN III=77 para condiciones de humedad alta. Esto supone un valor umbral de escorrentía (P_0) medio de 35,3 mm, con un máximo de 79,5 mm y un mínimo de 15,2 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 11.13).

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), y mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG, se ha determinado el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación, con pasos de altura de 0,02 m.

Posteriormente, se han establecido y representado las relaciones altura lámina agua-área inundada y altura lámina agua-volumen, con la obtención de la función que las definen (figura 11.14).

Los resultados de la simulación aplicada al periodo 2012-2014 muestran un comportamiento hidrológico estacional, en el que el humedal no llega a secarse por completo durante los periodos de estiaje.

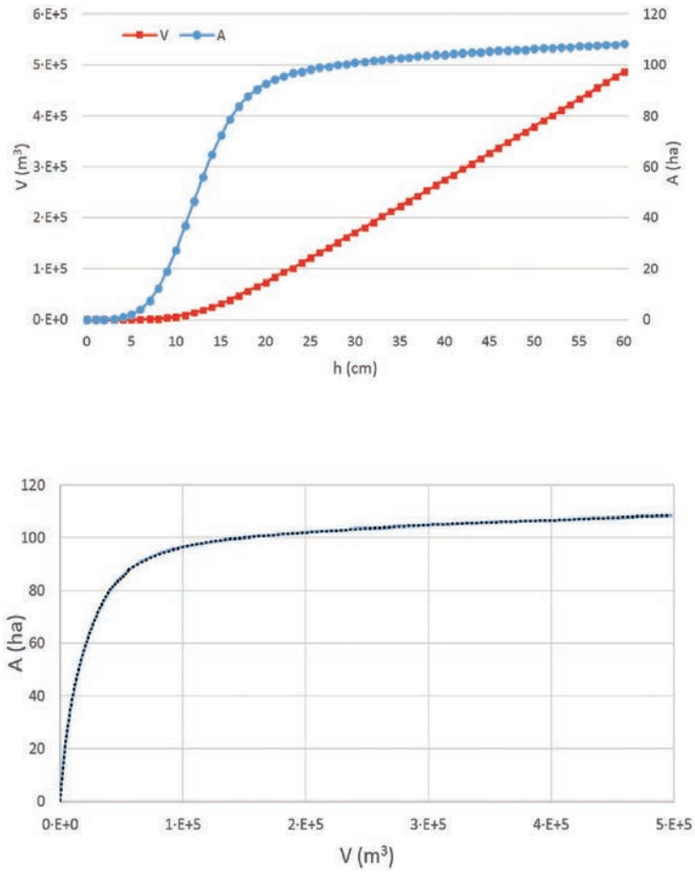


Figura 11.14. Laguna Larga. Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A) Abajo: relación entre área inundada (A) y volumen almacenado (V)

El balance hídrico medio anual obtenido para dicho periodo arroja unas entradas por precipitación directa sobre la cubeta de 373.101 m³ y por escorrentía superficial de la cuenca vertiente a la laguna de 86.917 m³. Con un volumen de vertido de aguas residuales de la EDAR de Villacañas estimado en 517.448 m³, los aportes de aguas superficiales canalizadas serían de 126.144 m³.

Por su parte, las salidas de agua se deben a la evapotranspiración en la laguna (1.109.174 m³), ligeramente superiores a las entradas debido a la pérdida de volumen almacenado en la cubeta durante el periodo evaluado (tabla 11.14). El resultado es que en estos dos años la laguna ha sufrido un vaciado de 5.564 m³.

Tabla 11.13. Cuenca de la laguna Larga. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
> 3	> 50% Labor de secano	Media baja	C	79,5	35,3	15,2

Año hidrológico	ENTRADAS					SALIDAS	Variación volumen (m³)
	PP directa (m³/año)	Escorrentía (m³/año)	EDAR (m³/año)	Canalizaciones (m³/año)	Totales (m³/año)	ETP laguna (m³/año)	
2012/13	510.154	173.834	517.448	126.144	1.327.580	1.126.865	200.715
2013/14	236.048	0	517.448	126.144	879.640	1.091.483	-211.843
Media periodo	373.101	86.917	517.448	126.144	1.103.610	1.109.174	-5.564

Tabla 11.14. Balance hídrico de la laguna Larga. Periodo 2012-2014

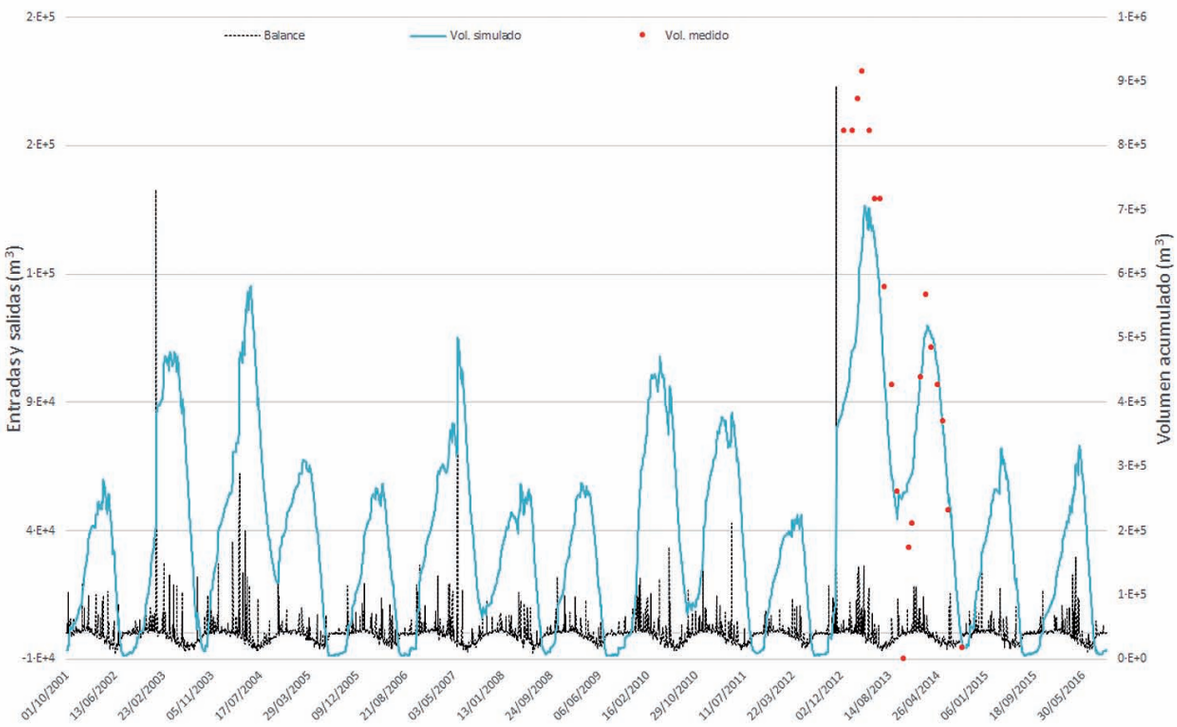


Figura 11.15. Simulación del balance hídrico para la laguna Larga. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

Con los parámetros validados para el periodo de calibración, se ha procedido a la determinación del balance hídrico hiperanual del humedal (figura 11.15) para un periodo de 15 años (2001-2016). En esta simulación se observa que la laguna ha mantenido un estado de inundación parcial la mayor parte del tiempo, con periodos húmedos en los que está prácticamente llena (años hidrológicos 2003/04 y 2013/14) pero también con momentos en los que se ha encontrado casi seca (estiaje de casi todos los años).

El balance hídrico hiperanual (15 años) muestra que los aportes medios son 1.015.728 m³/año, volumen equivalente a la evaporación en su lámina de agua libre. De estos aportes 372.044 m³/año son de origen natural (tabla 11.15), que en su mayor parte, 345.336 m³/año (34%), corresponden a precipitación directa y sólo 26.708 m³/año (3%) a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente. El resto se debe a los vertidos de la EDAR de Villacañas y al aporte de canalizaciones superficiales, que representan más de la mitad (63%) de las entradas de agua.

DATOS			ENTRADAS					SALIDAS
PP media (mm)	Área cuenca (km²)	Área media inundada (m²)	PP directa (m³/año)	Escorrentía (m³/año)	EDAR (m³/año)	Canalizaciones (m³/año)	Totales (m³/año)	ETP laguna (m³/año)
356,63	69,72	912.536	345.336	26.708	517.448	126.236	1.015.728	1.015.728

Tabla 11.15. Balance hídrico hiperanual de la laguna Larga. Periodo 2001-2016

Evolución visual del territorio

El paso del tiempo en el entorno de la laguna Larga apenas se ha notado en el fraccionamiento parcelario agrario y en las principales vías de conexión entre estas parcelas (figura 11.16). La diferencia más notable es el crecimiento de la localidad con nuevas infraestructuras viarias, así como la construcción de la EDAR y la canalización de sus vertidos hacia el humedal.

Las fotografías tomadas en distintos periodos (figuras 11.17 a 11.22) confirman la presencia de una lámina de agua permanente en el vaso. En épocas húmedas, como es lógico, la lámina de agua tiene una mayor extensión, mientras que en periodos estivales se reduce el perímetro del humedal y aparecen costras salinas en su periferia.



Figura 11.16. Laguna Larga. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 11.17. Laguna en época invernal (C. Camuñas)

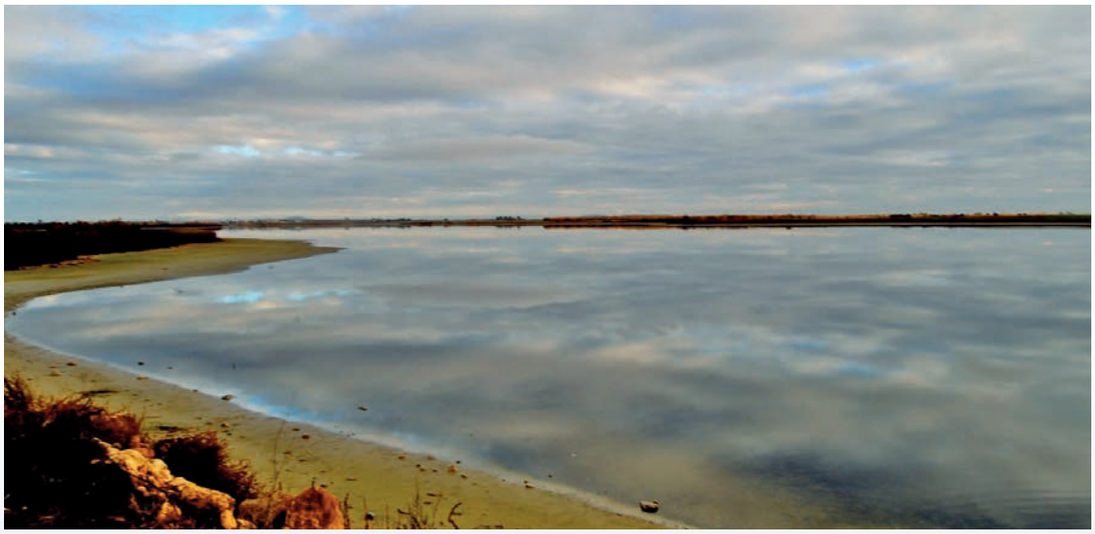


Figura 11.18. Laguna en época húmeda (B.J. Ballesteros)



Figura 11.19. Flamencos en abril de 2018 (C. Camuñas)



Figura 11.20. Laguna en época seca. Agosto de 2016 (L.A. Carreño)

Figura 11.21. Costras salinas en la periferia de la cubeta. Agosto de 2015 (C. Camuñas)





Figura 11.22 . Fauna en la laguna Larga (C. Camuñas)

11.3. LAGUNA DE TÍREZ

Situación geográfica, coordenadas y accesos

La laguna de Tírez se emplaza a unos 8 km al sur del núcleo urbano, muy próxima a la laguna de Peña Hueca y al noroeste de la misma (figura 11.23).

Las coordenadas de su punto central son X: 469300, Y: 4376550 (UTM ETRS89 H30), cuya altitud es de 649,4 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

El acceso a la laguna es libre y para llegar a ella se toma desde Villacañas la carretera local TO-3077 en dirección sur. Después de recorridos 8 km aparece un camino de tierra en su arcén derecho que da acceso al entorno del humedal, así como a una red de caminos de servicio a las parcelas agrícolas que lo circundan. Casi paralelo al borde oeste de la laguna discurre el camino rural de Villafranca de los Caballeros que en su extremo norte se bifurca en los carriles de la Tiñosa y de la Chinforrera.

También cerca de la laguna discurre la cañada Real Soriana Oriental, con tramos de hasta 90 m de ancho, que recorre de sur a norte las provincias de Toledo y Ciudad Real, atravesando las proximidades de varios humedales y lagunas salobres.

Características fisiográficas

La laguna tiene una forma alargada de dirección noreste-suroeste (figura 11.23), comparable a una pseudoelipse achatada en su eje menor. Su longitud es de 2 km y su anchura de 450 m, con una superficie de máxima inundación de 89,49 ha. Su perímetro aproximado, según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021 (BOE, 2016), es de 6,2 km.

En el entorno de la laguna, ubicado en la Llanura Manchega y caracterizado por sus escasas diferencias topográficas, predomina una morfología plana donde sólo destacan pequeñas lomas y suaves terrazas que, de forma tímida, asoman sobre ella. La red fluvial presenta encajamientos suaves y muy poco acusados, con dilatadas llanuras de inundación y zonas potencialmente inundables.

La laguna de Tírez, de sólo algunos centímetros de profundidad, se ubica en un entorno eminentemente agrícola, rodeada de parcelas con cultivos de cereal, viñedos, olivos y pastizales halófilos, interrumpidos de forma efímera por retazos de vegetación esteparia en los relieves más acusados, entre los que destaca el Cerro de Tírez, localizado al oeste.

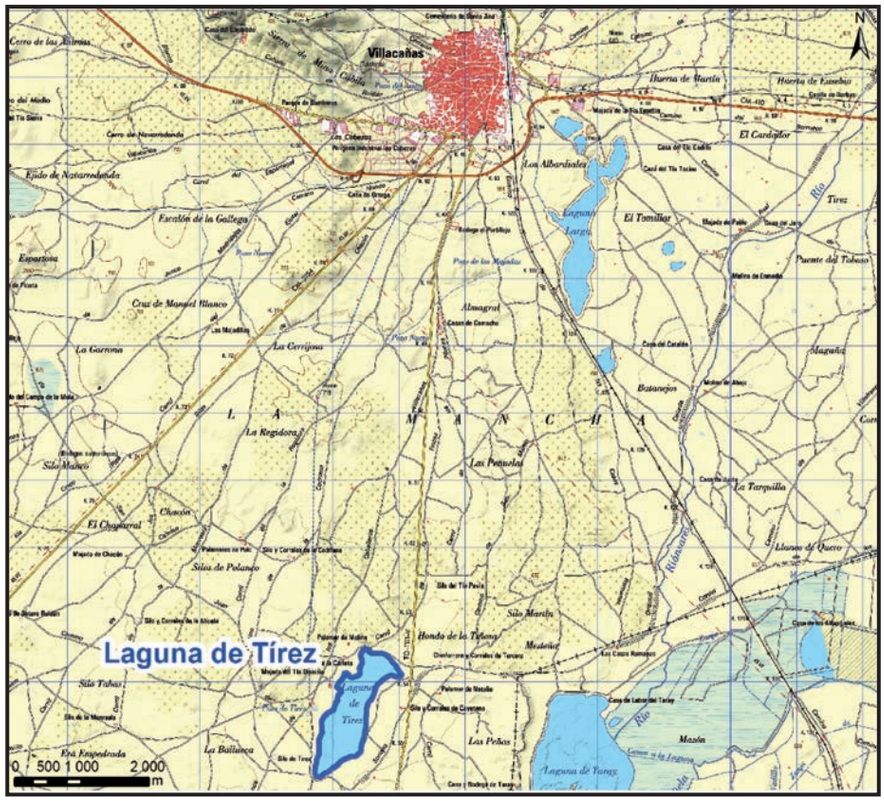


Figura 11.23. Situación geográfica de la laguna de Tírez (hoja 687 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

La laguna, que destaca netamente sobre el paisaje circundante por su tonos blanquecinos, es un elemento hidrogeomorfológico de carácter salino (figura 11.24) de gran variabilidad temporal y estacional. En épocas de déficit hídrico la cubeta permanece seca, lo que propicia la aparición de eflorescencias salinas que son posteriormente disueltas durante la estación húmeda con la llegada de las precipitaciones. El crecimiento de la lámina de agua durante estos últimos periodos también lleva aparejado el asentamiento de avifauna acuática, especialmente visible durante los pasos migratorios.

Normativa específica y figuras de protección

La laguna de Tírez es una de las lagunas manchegas favorecidas con la categoría superior de protección, o Zona Núcleo de la Reserva de la Biosfera "La Mancha Húmeda", declarada por la UNESCO en 1980. Este humedal también se encuentra incluido en la



Figura 11.24. Laguna de Tírez en el año 2010 con la capa de sal y las balsas de evaporación adyacentes (Archivo Fundación Global Nature)

Red Natura 2000 y ha sido declarado Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Humedales de La Mancha", que engloba la cubeta de la laguna y una zona periférica de protección, algo más restringida, en su parte este.

A nivel autonómico, el Consejo de Gobierno de la Junta de Castilla-La Mancha aprobó el Decreto 35/2006, de 28 de marzo de 2006, por el que se declara la Reserva Natural y el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la laguna de Tírez. El Decreto justifica su catalogación como Reserva Natural en su importancia y singularidad, así como por su elevado interés, tanto desde el punto de vista paisajístico y geológico, como de sus valores ambientales (tabla 11.16).

La laguna, de propiedad privada, es representativa de las lagunas hipersalinas de la zona. En ella se ha realizado la extracción de sal hasta épocas recientes, actividad que modificó parcialmente la fisonomía de la cubeta por la construcción de balsas de concentración de salmueras (figura 11.25). En la actualidad se encuentra en un buen estado de conservación por el cese de estas actividades y las acciones de recuperación acometidas por la Fundación Global Nature a través del proyecto LIFE "Humedales de Villacañas" entre los años 1999 y 2002.

Valores históricos y culturales

Arqueología e Historia

La zona ocupada por el cerro de Tírez, y la laguna homónima, hasta el caserío de Calamitar, se configura como un *continuum* arqueológico de unas 1.200 ha. Los yacimientos se remontan al Calcolítico y llegan hasta la época moderna-contemporánea. Diversas prospecciones arqueológicas, entre las que se encuentran las de la Sociedad Española de Historia de la Arqueología, han permitido descubrir asentamientos de la Edad del Bronce y de la Edad del Hierro, así como de las épocas romana y medieval (López-Barrajón, 2001).

Según Ramos *et al.* (2013) existen dos centros de concentración cerámica. El primero se ubica en la terraza inicial del Cerro de Tírez, al noroeste de la laguna, con abundantes restos romanos en superficie. El segundo, con mayor densidad de restos y conocido como yacimiento de Las Balluecas, se sitúa en el borde suroriental de la cubeta y contiene fragmentos cerámicos de la Edad del Hierro y de la época romana.

Los vestigios arqueológicos también indican la presencia de asentamientos ganaderos prehistóricos relacionados con las necesidades de este mineral para los animales, si bien el aprovechamiento de esta materia prima es regulado a partir del siglo XIV, según recoge el

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA DE TÍREZ
RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA
Declaración de la UNESCO de 30 de noviembre de 1980
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Humedales de La Mancha", código ES4250010 Zona de Especial Protección para las Aves Z.E.P.A. "Humedales de La Mancha", código ES0000091
RESERVA NATURAL
Decreto 35/2006, de 28 de marzo, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la laguna de Tírez en el término municipal de Villacañas de la provincia de Toledo, y se declara la Reserva Natural de laguna de Tírez (DOCM nº 68, de 31-03-2006)

Tabla 11.16. Figuras de protección de la laguna de Tírez

Libro de Actas del III Congreso Internacional de Geología y Minería Ambiental (2013). No obstante, indicios arqueológicos apuntan a una explotación industrial que se inició durante el Imperio Romano, actividad continuada a lo largo de casi 2.000 años hasta su finalización en época reciente.

En el siglo XIII Tírez fue una de las primeras encomiendas de la Orden de San Juan en La Mancha (año 1237). Molero (1993) explica que el interés de esta Orden, además del defensivo, también estaría motivado por el de la extracción de sal.

Como ya se ha mencionado, las primeras referencias escritas sobre las explotaciones salineras de la laguna datan de principios del siglo XIV, cuando Alfonso XI decidió regular el mercado de la sal en las Cortes de Burgos (1338), al establecer que todas las salinas eran propiedad de la Corona y quedar incluidas entre ellas las de Quero y Tírez (Ladero, 2011).

Las salinas se mencionan en las relaciones de Felipe II (1575) cuando en la respuesta 27 se dice: "*En esta villa hay dos lagunas que se hace sal en ellas, están sujetas a la salina de Borraga (antigua aldea de Alcaraz en la Sierra del Segura)*". Asimismo en el Catastro del Marqués de la Ensenada, en 1752, en las respuestas de la villa de Villacañas se hace referencia a tres lagunas saladas pertenecientes a Su Majestad el Rey. También en la Relaciones del Cardenal Lorenzana, informante de Villacañas, el presbítero don Ángel Ortiz de Vivancos hace en 1781 una detallada relación de las lagunas del término, así como la valoración del aprovechamiento humano: *"Se encuentra el río Riansares, sus aguas son saladas y no perennes, tiene curso del norte al sur y desagua en una laguna con el nombre de Taray, sita en el municipio de Quero… A distancia de medio cuarto de legua ay una laguna con el nombre de Redonda, sigue otra llamada Gramosa, otra llamada laguna Larga, a la distancia de un poco más o menos de un cuarto de legua, poco más o menos de esta villa. Estas son de acogida de agua salada, sin pesca alguna y se cargan y desecan en un todo, según las lluvias. Y lo mismo otra camino de Villafranca con el nombre de laguna de Tírez, es más copiosa en aguas y en esta se quaja porción de sal".*

Sin embargo, a partir del siglo XVI y durante los cuatro siguientes, el nombre de Tírez desaparece de la bibliografía salinera, manteniéndose únicamente el de Quero. El motivo puede ser la dependencia de la salina de Tírez respecto a esta última.

Una información manuscrita de 1823, que obra en el fondo antiguo de la Biblioteca Regional de Madrid, incluye la situación y características de cada salina y el coste de fabricación. En ella se informa sobre las que dependen de la administración general de Salinas de Valdemoro y, al detenerse en la de Quero, cita, como sujetas a la administración establecida en esta población, a las nombradas de: Villacañas, Bogarra, Tírez y su charco, en el término del mismo Villacañas. Años más tarde, Yegros (1852), abunda en la misma idea cuando afirma que dependen de Quero.

Según el Instituto Provincial de Investigaciones y Estudios Toledanos (2001), el salitre extraído ha tenido



Figura 11.25. Cubeta de evaporación excavada en el margen de la laguna. Agosto 2016 (L.A. Carreño)



Figura 11.26. Montículo de sal obtenido de la laguna de Tírez (Archivo Fundación Global Nature)

diferentes usos, pero a partir del siglo XII su producción tiene mayor repercusión fuera de la región por su utilización en la fabricación de pólvora. En este sentido, tal como se recoge en la propuesta del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales, 2006, en la laguna de Tírez se extraía la sal desde el siglo XII para la fabricación de pólvora y su exportación a Santander, por lo que su propiedad fue muy disputada entre las Órdenes Militares y el Arzobispado de Toledo.

Por último, cabe señalar que, aunque con producción escasa, la actividad salinera se ha venido manteniendo hasta finales del siglo XX. De las recientes extracciones de sal quedan algunos vestigios en el extremo nordeste de la laguna bajo la forma de diques y cubetas destinadas a la evaporación del agua salobre (figura 11.25).

Algunos de los humedales salobres han tenido mucha importancia en la economía de los pueblos asentados en sus proximidades por su tradicional uso para la obtención de sal. Este es el caso de la laguna de Tírez, que comparte, con las de la costa, el aprovechamiento de la energía calorífica del sol y la cinética del viento para evaporar la salmuera (figura 11.26).



Figura 11.27. Antiguo pozo del Cerro de Tírez. Enero de 2007 (A.P. Pazos)

Los pozos de captación de agua de Tírez

A pesar de la proximidad de la laguna, el recurso hídrico más importante para el abastecimiento de los asentamientos humanos del entorno de Tírez se encontraba en el subsuelo. La presencia de acuíferos con calidad de agua aceptable para el consumo humano pudo ser la clave para explicar los primeros asentamientos en su entorno.

Originariamente sólo existía un pozo, el llamado Pozo de Tírez, que aún puede contemplarse con su brocal empedrado en la finca del mismo nombre. Junto a los surcos de los roces para las sogas, aún conserva una inscripción que la tradición popular interpreta como árabe. Además de aportar agua durante siglos a los asentamientos que fueron sucediéndose, este pozo fue el primer suministro de agua para consumo de los villacañeros que, desde tiempos remotos, bebieron de sus aguas, así como de otros dos pozos que se abrieron para satisfacer esta demanda, situación que se prolongó hasta 1915.

Hasta dicha época los vecinos compraban el agua al aguador o tenían que desplazarse con mulas y transportarla en tinajas hasta sus casas, siendo considerada la del pozo antiguo como una de las mejores de la comarca. Posteriormente, con el aumento de la demanda se canalizó el agua de Tírez hasta la localidad de Villacañas. Para ello se creó un complejo hidráulico y de potabilización, inaugurado el 26 de junio de 1935. La conducción constaba de un depósito y de un sistema de tuberías que elevaba el agua hasta el cerro de La Cerrijosa y, desde aquí, por gravedad llegaba hasta la población, donde el agua era esterilizada y desodorizada para el consumo humano, instalándose fuentes en la vía pública.

Años más tarde los pozos de Tírez comenzaron a escasear y el agua dejó de ser potable, lo que llevó a la construcción de la presa de Finisterre en 1977 para paliar el problema del abastecimiento a Villacañas y a otras 36 poblaciones. En la Finca de Tírez aún se conserva el depósito de agua y varias dependencias (figuras 11.27 y 11.28).





Figura 11.28. Situación actual, agosto de 2016, de la boca del Pozo de Tírez, Pozo Mayor y depósito (L.A. Carreño)

Espacio de educación ambiental

En la actualidad, la laguna de Tírez no tiene ningún tipo de uso y sólo se trabaja en la difusión de sus valores como reserva natural, por lo que el humedal y sus inmediaciones están incluidos en algunas rutas arqueológicas y visitas guiadas.

No obstante, a pesar de que su localización se indica en las carreteras aledañas, el enclave no tiene excesiva afluencia de público, y sólo en determinados periodos del año se acercan visitantes a observar la avifauna. Al ser una propiedad privada, tampoco se ha podido instalar ningún observatorio de aves.

Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna de Tírez, ubicada dentro de la cuenca alta de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, constituye un área de carácter endorreico localizada al oeste de la subcuenca del río Riansares, cerca de su confluencia con el río Gigüela, y cerca también de la subcuenca de la Cañada del Torrejón, situada al sur. La extensión de su área vertiente es de 4.274 ha (figura 11.29) pertenecientes en su totalidad al municipio toledano de Villacañas.

Esta zona deprimida configura una cuenca relativamente llana, con cotas situadas entre los 648,6 y los 762,8 m s.n.m. y una pendiente media del 2,8%, que únicamente en su extremo más occidental adquiere desniveles importantes. En consecuencia, la mayor parte de sus límites son de difícil determinación y vienen dados por la presencia de otras zonas endorreicas colindantes, tales como la de Campo de Mula al noroeste, Larga al norte, Taray al este, y Peña Hueca al sur.

Debido a su reducido tamaño y a la suave topografía, dentro de ella no se diferencia ningún río ni arroyo digno de mención y sólo pequeñas vaguadas, apenas distinguibles en el territorio, configuran su red de drenaje.

El vaso de la laguna se sitúa en el extremo suroriental de la cuenca y, dada la inexistencia de manantiales, en régimen natural sus aportes provienen exclusivamente de la escorrentía generada por la precipitación del agua de lluvia caída, esencialmente, sobre los relieves de la zona noroccidental donde se localizan las pequeñas elevaciones de sierra Morena al oeste y Cerrijoso al norte.

Su rebose, en caso excepcional, ocasionaría la salida de agua por el sur hacia la cuenca de la laguna de

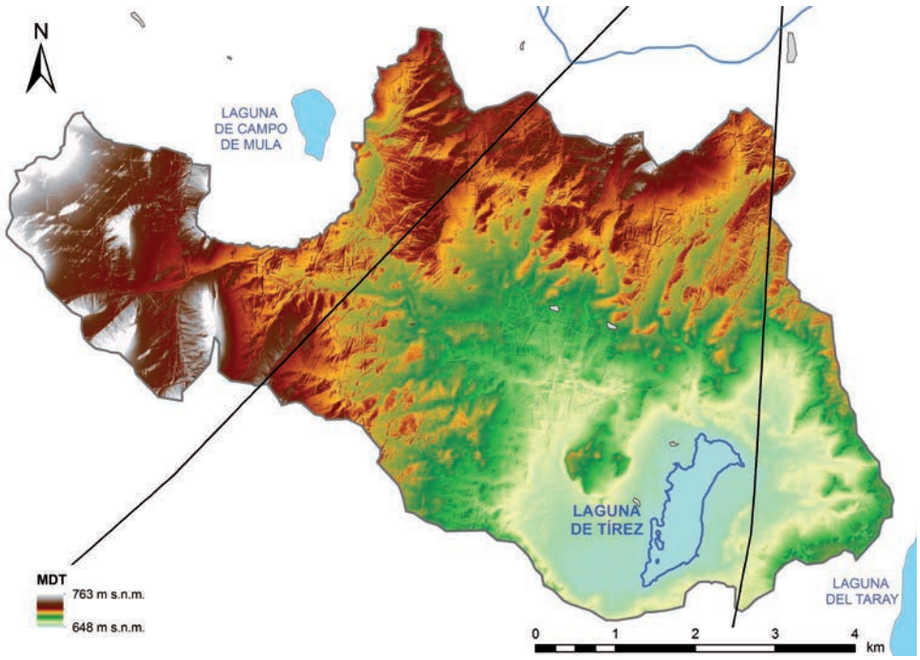


Figura 11.29. Cuenca hidrológica de la laguna de Tírez

Peña Hueca. A su vez, la laguna de Tírez podría recibir, también en caso de rebose, aguas procedentes de la cuenca de la laguna del Campo de La Mula que conforma su límite noroccidental.

Geología

La cuenca vertiente de la laguna de Tírez está ocupada por sedimentos que cubren un amplio lapso temporal en la escala geológica, ya que abarcan desde el Ordovícico inferior hasta el Cuaternario, si bien sólo se encuentran representados unos pocos pisos geológicos, entre los que predominan los pertenecientes al Cenozoico y, especialmente, al Neógeno (figura 11.30).

La mayor parte de los afloramientos (tabla 11.17) corresponden a formaciones de baja permeabilidad (Tipología C: 55%). Entre ellas destacan las areniscas y lutitas del Triásico en facies Keuper, las areniscas, arenas y limos del Mioceno, y los limos, arenas y gravas del Pliocuaternario. En menor proporción, se presentan sedimentos de cierta permeabilidad (Tipología B: 35%) correspondientes en este caso a los conglomerados y lutitas del Triásico en facies Buntsandstein, así como materiales de carácter detrítico pertenecientes al Albiense (areniscas, conglomerados y lutitas), Mioceno medio-superior y Plioceno (brechas, areniscas y microconglomerados con arcillas). En este grupo de formaciones también quedan integrados los pequeños niveles dolomíticos del Triásico en facies Muschelkalk y las calizas con cantos y margocalizas del Cenomaniense. Por último, y especialmente en la mitad más meridional de la cuenca, aparecen de forma minoritaria (Tipología D: 10%) las lutitas y arcillas con yesos del Keuper de carácter impermeable.

El substrato geológico del entorno de la laguna (figura 11.30) está compuesto, de más antiguo a más moderno y de más profundo a menos profundo, por los conglomerados cuarcíticos y limolitas rojas de la facies Buntsandstein (Tb) consistente en unos 100 m de paquetes de areniscas de grano grueso de color rojo intenso, con base de conglomerados y microconglomerados, y niveles lutíticos a techo.

Superpuestos a la formación anterior, y de forma concordante, se disponen algo más de 50 m de sedimentos formados por las areniscas, conglomerados y dolomías de la facies Muschelkalk (Tm), por encima de los cuales se encuentran los más de 40 m de lutitas rojas y verdes de la facies Keuper (Tk1). Por encima de los materiales anteriores aparece la formación de areniscas y lutitas rojas del Keuper (Tk2) compuesta por un tramo inferior de areniscas de unos 15 m de espesor y de otro superior de lutitas de unos 12 m, siendo este último horizonte el que configura el vaso de la laguna.

En el sector más oriental, de forma marginal y superpuestos a todas las formaciones anteriores, aparecen depósitos cretácicos compuestos por areniscas, conglomerados y lutitas del Albiense (Fm. arenas de Utrillas), sobre los que, a su vez, se dispone una formación de margas, margocalizas y dolomías de edad Cenomaniense. Estos materiales tienen escaso espesor y en conjunto no superan los 55 m.

Como es de esperar, el fondo del vaso de la laguna de Tírez lo configuran escasos metros de sedimentos integrados esencialmente por limos negros que en las zonas más periféricas pueden contener cantos y arenas.

El esquema estructural de la zona es relativamente sencillo, con una disposición de las formaciones triásicas en monoclinal vergente hacia el este de buzamientos suaves en torno a los 10º. Sobre estos materiales se depositan mediante discordancia erosivo-angular las formaciones cretácicas, que mantienen un esquema tectónico similar con un

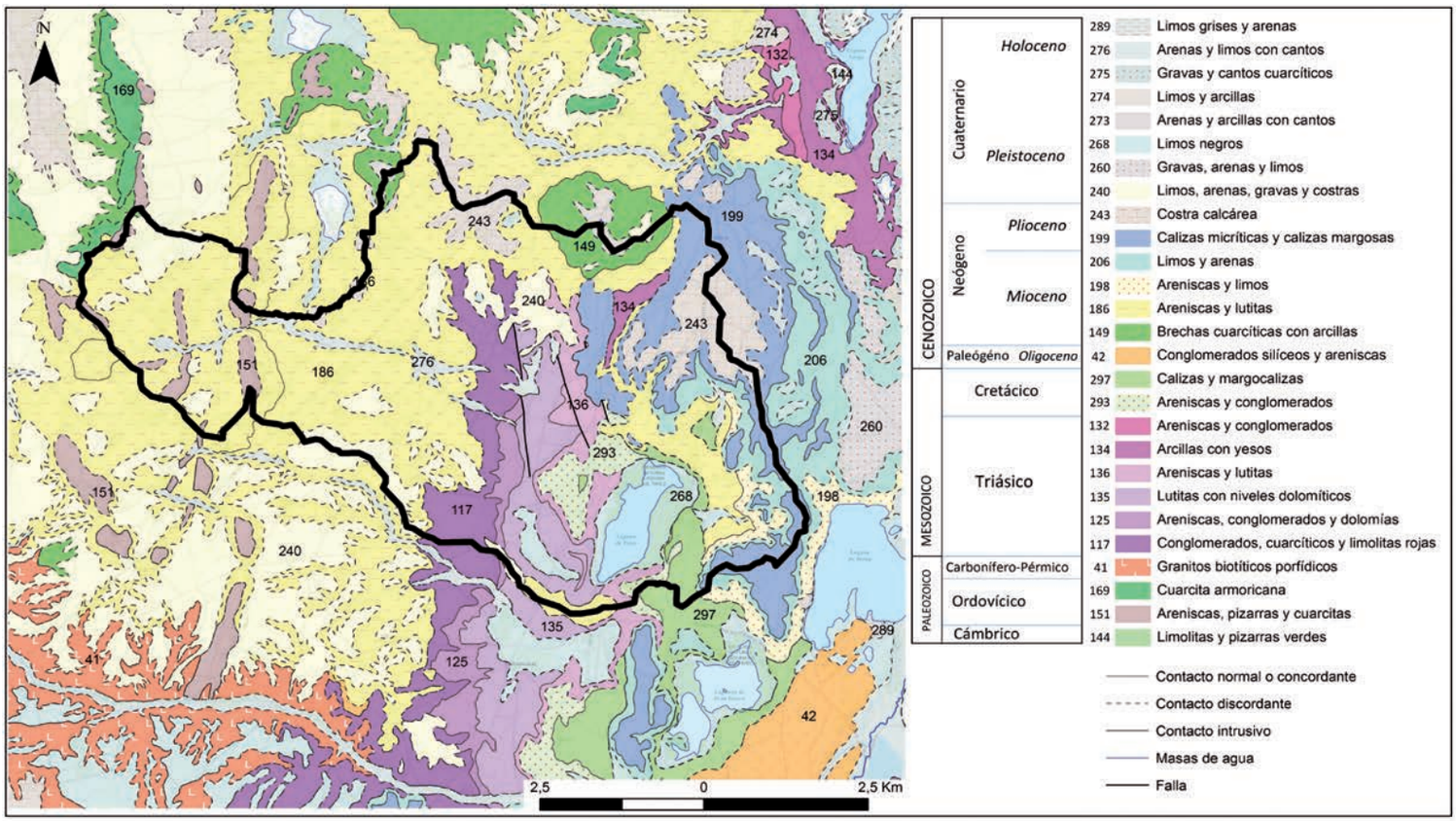


Figura 11.30. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de Tírez (Cartografía geológica digital GEODE el IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

basculamiento generalizado hacia el este, pero con buzamientos menores que oscilan entre los 5° y 7°. Los depósitos más recientes, de edad pliocuaternaria, aparecen de forma dispersa, y rellenan zonas deprimidas y fondos de lagunas, así como en glacis erosivos. Debido a su génesis estos sedimentos pueden situarse sobre cualquiera de las formaciones anteriores.

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
FORMACIÓN GEOLÓGICA	Edad	Tipología	%
Conglomerados y limolitas	Trías Buntsandstein	B	35
Areniscas, conglomerados y dolomías	Trías Muschelkalk	B	
Conglomerados, areniscas y lutitas	Albiense	B	
Calizas con cantos y margocalizas	Cenomaniense	B	
Brechas cuarcíticas con arcillas	Mioceno medio	B	
Calizas micríticas y margas	Mioceno superior-Plioceno	B	
Microconglomerados y areniscas	Mioceno superior-Plioceno	B	
Areniscas, pizarras y cuarcitas	Ordovícico	C	55
Areniscas y lutitas	Trías Keuper	C	
Limos y arenas	Mioceno medio-superior	C	
Areniscas, arenas y limos	Mioceno	C	
Limos, arenas, gravas y costras	Pliocuaternario	C	
Lutitas	Trías Keuper	D	10
Arcillas y lutitas con yesos	Trías Keuper	D	
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Tabla 11.17. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de Tírez

Hidrogeología

Las formaciones geológicas sobre las que se dispone la laguna de Tírez presentan diferentes litologías y características hidrogeológicas. Como se ha comentado anteriormente, están representadas por sedimentos de edad triásica que llegan a aflorar ampliamente en sus alrededores según una disposición tabular ligeramente basculada hacia el este, y adquieren un espesor conjunto superior a los 220 m (figura 11.31).

Entre estas formaciones se encuentran materiales permeables, capaces de almacenar y permitir el flujo de agua subterránea y materiales impermeables que impiden su circulación. Los primeros corresponden a los conglomerados cuarcíticos y limolitas rojas de la facies Buntsandstein (Tb) y a las areniscas, conglomerados y dolomías de la facies Muschelkalk (Tm). Ambos conjuntos, con una permeabilidad media-baja y espesor considerable (>150 m), configuran el principal horizonte acuífero de la zona. Otro horizonte transmisivo, aunque de menor entidad, lo constituyen las areniscas de la base de la formación areniscas y lutitas rojas del Keuper (Tk2).

Yacente sobre todos los materiales anteriores se dispone el tramo superior de esta última formación, verdadero responsable geológico del funcionamiento hidrológico de la laguna. Compuesto por un horizonte de lutitas (Tk3) de unos 12 m de potencia y un marcado carácter impermeable, estos materiales configuran el soporte litológico de la misma en prácticamente toda su extensión y sellan su base, impendiendo cualquier relación con las aguas subterráneas. El escaso espesor de los sedimentos de origen lacustre, compuestos por limos negros, y relacionados con los procesos sedimentarios de la propia laguna, carece de significado hidrogeológico.

Existen otras formaciones permeables en el sector, tales como los depósitos cretácicos de areniscas, conglomerados y lutitas del Albiense (C1), y las calizas y margas de edad Cenomaniense (C2), que al situarse en una posición más elevada no están saturados y, en consecuencia, no presentan relación con la laguna.

Dentro de este esquema geológico-hidrogeológico, se ha determinado que el flujo subterráneo adquiere una

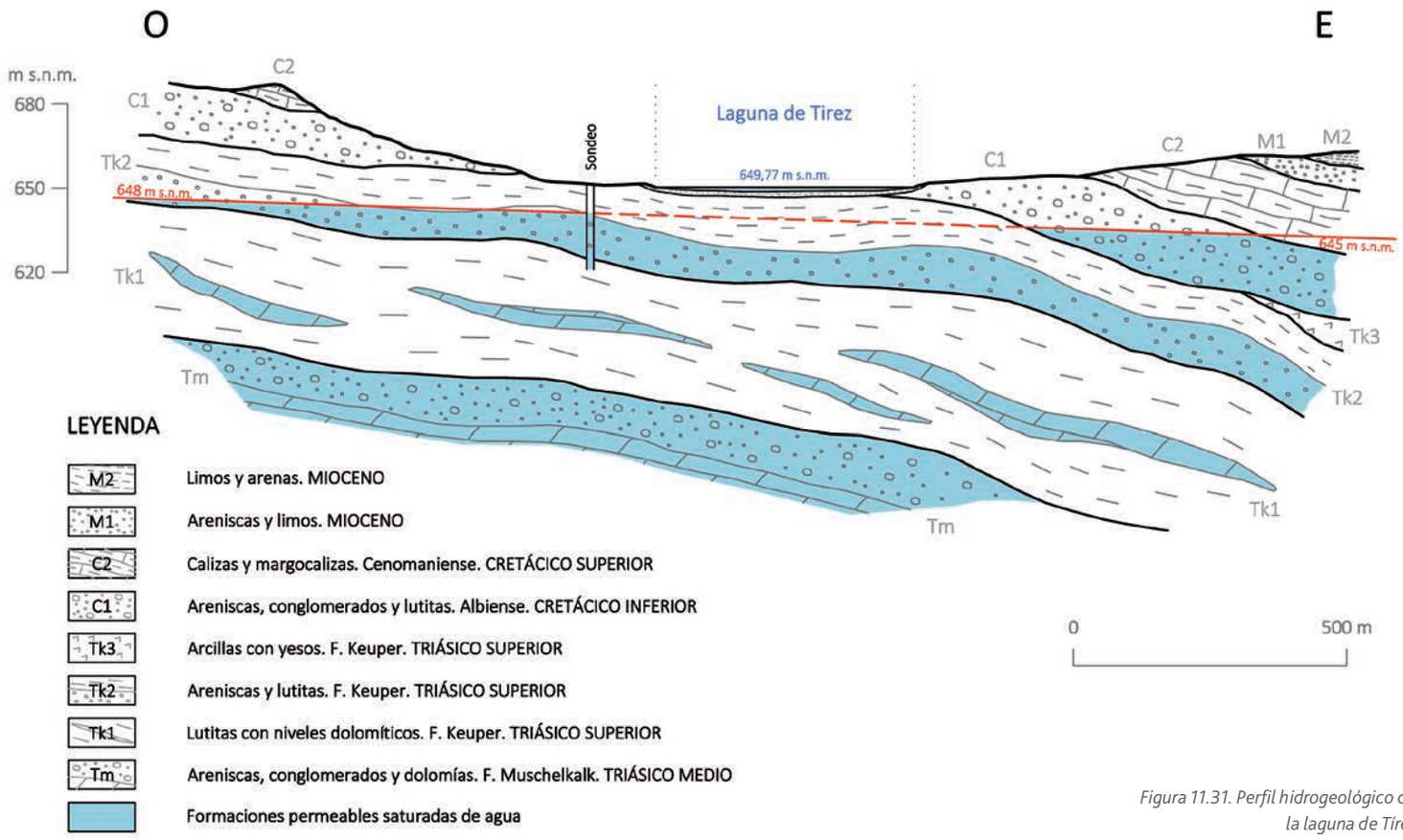


Figura 11.31. Perfil hidrogeológico de la laguna de Tírez

componente oeste-este y se establece tanto a través del conjunto de sedimentos del Buntsandstein-Muschelkalk como del pequeño tramo areniscoso del Keuper (figura 11.31).

Las cotas piezométricas están comprendidas entre los 649 m s.n.m. en el sector de su flanco occidental y los 645 m s.n.m. de su sector oriental (figura 11.32). El gradiente hidráulico es muy bajo, del orden del 0,3%, circunstancia en la que debe intervenir el relieve suave y las escasas diferencias topográficas. Las variaciones piezométricas estacionales son también muy reducidas y oscilan entre los 0,4 y 0,6 m, si bien algunos de los bombeos practicados en el entorno del humedal pueden modificar localmente el esquema descrito.

El nivel piezométrico en la vertical de la laguna se sitúa cercano a los 647 m s.n.m., lo que implica que se localiza a unos 2,8 m por debajo de su base. Esto supone la imposibilidad de que ésta reciba cualquier aporte hídrico de origen subterráneo. De forma adicional, e independientemente de dicha circunstancia, la extensión de las lutitas impermeables del Keuper, hasta una profundidad de 10 a 12 m, propician el confinamiento de las formaciones acuíferas infrayacentes y la presencia de una zona no saturada con un espesor equivalente. Este dispositivo hidrogeológico explica la desconexión entre el agua de la laguna y los flujos subterráneos de su entorno.



Figura 11.32. Mapa piezométrico y sentido del flujo subterráneo (IGN)

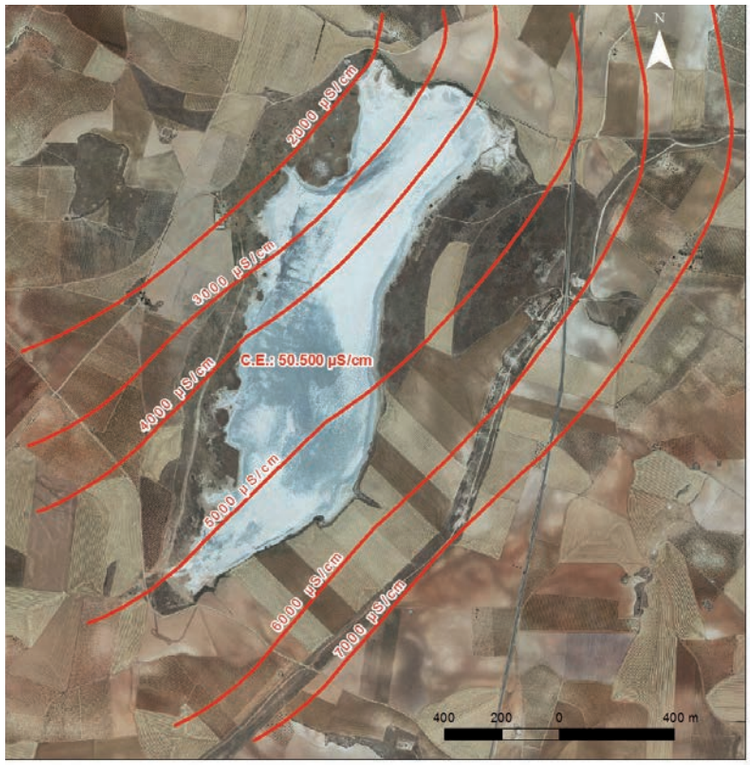


Figura 11.33. Mapa de isoconductividad eléctrica de las aguas subterráneas (IGN)

La afirmación anterior viene reforzada por la gran diferencia en la composición hidroquímica entre las aguas de la laguna y las subterráneas. Como se cita en el apartado posterior, las primeras son hipersalinas, con CE superior a los 50.000 µS/cm y facies cloruradas, mientras que las segundas presentan CE entre 1.450 y 7.040 µS/cm y facies sulfatadas. Hay que resaltar el importante enriquecimiento en sales que, con carácter general, se detecta hacia el flanco suroriental de la laguna (figura 11.33), circunstancia que no parece tener relación con la misma debido a las diferentes facies hidroquímicas encontradas y a que el incremento salino se orienta según la dirección noroeste-sureste, distinta a la del sentido del flujo subterráneo (oeste-este).

El esquema hidrogeológico descrito también explica la existencia de captaciones de agua subterránea en el entorno de la laguna, algunas de las cuales presentan contenidos salinos aceptables para su uso agrícola.

Hidroquímica

Las analíticas de las muestras tomadas en la laguna de Tírez muestran valores de CE por encima de los 50.000 µS/cm, muy superiores a los ensayados en las aguas subterráneas de pozos cercanos, con valores máximos de 7.040 µS/cm. Por su parte, el pH en la laguna es de 8,5, ligeramente superior al de los pozos.

En esta misma línea se encuentran los cloruros y los sulfatos. En las aguas subterráneas los primeros presentan variaciones notables entre 62 mg/L y 1.617 mg/L, con un valor de 16.126 mg/L en la muestra de la laguna. Por su parte, los valores mínimos y máximos de sulfatos en los pozos varían entre 343 y 1.546 mg/L, siendo de 9.055 mg/L en la muestra de agua superficial. Esta misma tendencia es seguida también por los cationes.

La facies hidroquímica predominante del agua de la laguna es clorurada magnésico-sódica (figura 11.34), mientras que la predominante en las aguas subterráneas es la sulfatada magnésica (figura 11.35).

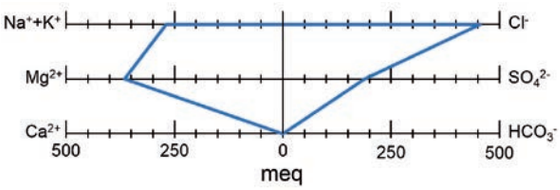


Figura 11.34. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna de Tírez. Fecha de ensayo 26/11/2014

La comparativa entre los principales parámetros del agua de la laguna y los recogidos en la normativa que regula la calidad para aguas de consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero), por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, se exponen en la tabla 11.18.

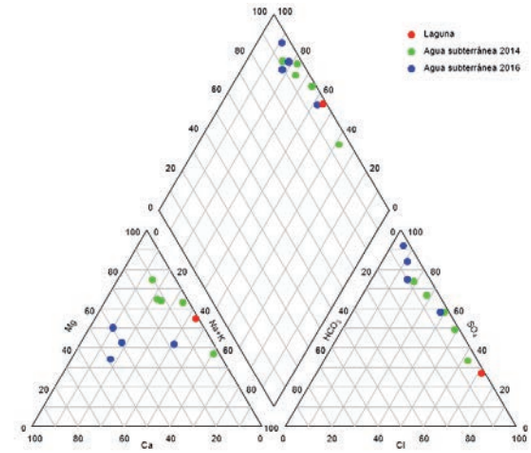


Figura 11.35. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de las muestras de la laguna de Tírez y de los pozos aledaños

La CE en la laguna durante el periodo de control (diciembre 2012-diciembre 2014) arroja valores habituales entre 20.000 y 37.000 µS/cm, tanto a finales de enero de 2013 como de 2014 (figura 11.36). En ambos casos se producen con posterioridad ascensos bruscos de la CE, a finales de febrero de 2013 (143.000 µS/cm) y en abril de 2014 (322.000 µS/cm), siendo este último bastante más acusado. El resto de la serie temporal aporta valores cercanos a los 52.000 µS/cm.

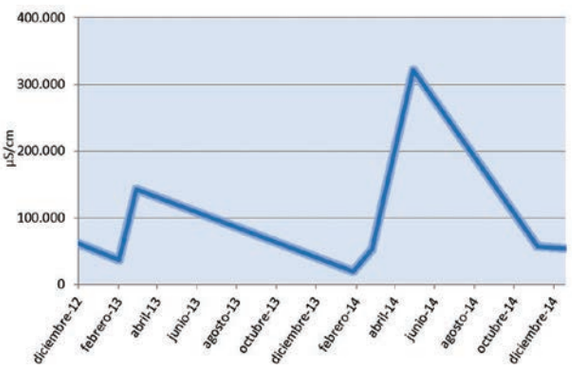


Figura 11.36. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna de Tírez entre diciembre de 2012 y diciembre de 2014

	Fecha de análisis			26/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA	
				Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	67	10
	Boro	B	mg/L	0,363	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	16.126	250
	Conductividad	CE	µS/cm	50.500	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	69	50
	pH	-	Ud de pH	8,5	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	5.696	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	9.055	250

Tabla 11.18. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

El funcionamiento hidrológico de la laguna viene determinado por las características climáticas de la zona, las particularidades morfológicas del área vertiente y la estructura geológica-hidrogeológica de la cuenca. La confluencia de todos estos elementos ha dado lugar a la presencia de una zona húmeda hipersalina somera y de carácter temporal, con una lámina de agua que alcanza algunos centímetros de profundidad durante los periodos más húmedos y desaparece durante la época estival, quedando su vaso totalmente seco.

Los estudios realizados indican la ausencia de surgencias de aguas subterráneas en la cubeta de la laguna, o de drenaje difuso hacia ella, debido a la estructura hidrogeológica existente en su entorno, la cual impide cualquier relación entre éstas y las aguas superficiales. En consecuencia, su funcionamiento hidrológico es relativamente sencillo, dado que tampoco existen manantiales en su área vertiente, por lo que los aportes externos provienen exclusivamente de la escorrentía generada por la precipitación del agua de lluvia.

Coherente con el modelo referido, el drenaje de este sistema hidrológico se verifica, también de forma exclusiva, por la evaporación del agua acumulada en la cubeta.

Balance hídrico

El balance hídrico se ha determinado mediante el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua en su vaso según la metodología expuesta en el capítulo 5. Las entradas a la laguna corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento (máx. 88,9 ha) y a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (4.274 ha). Por su parte, las salidas son debidas a la evaporación producida sobre la lámina de agua libre, limitada por el volumen de agua disponible, ya que en la estación estival la laguna llega a secarse.

Los datos climáticos se han obtenido de la estación agroclimática del SIAR de Herencia, para el periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0), se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo kc, considerado en este caso un valor igual a 1. Para la determinación de la evaporación se ha determinado la extensión de la lámina de agua de la laguna en cada momento.

El análisis geológico de la cuenca a partir de las distintas formaciones aflorantes ha arrojado como resultado un suelo de tipo C (tabla 11.17). Por su parte, la pendiente media hallada ha sido del 2,8%, es decir, inferior al 3%, mientras que al uso de la tierra se la ha asignado la tipología de labor de secano con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 11.37). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

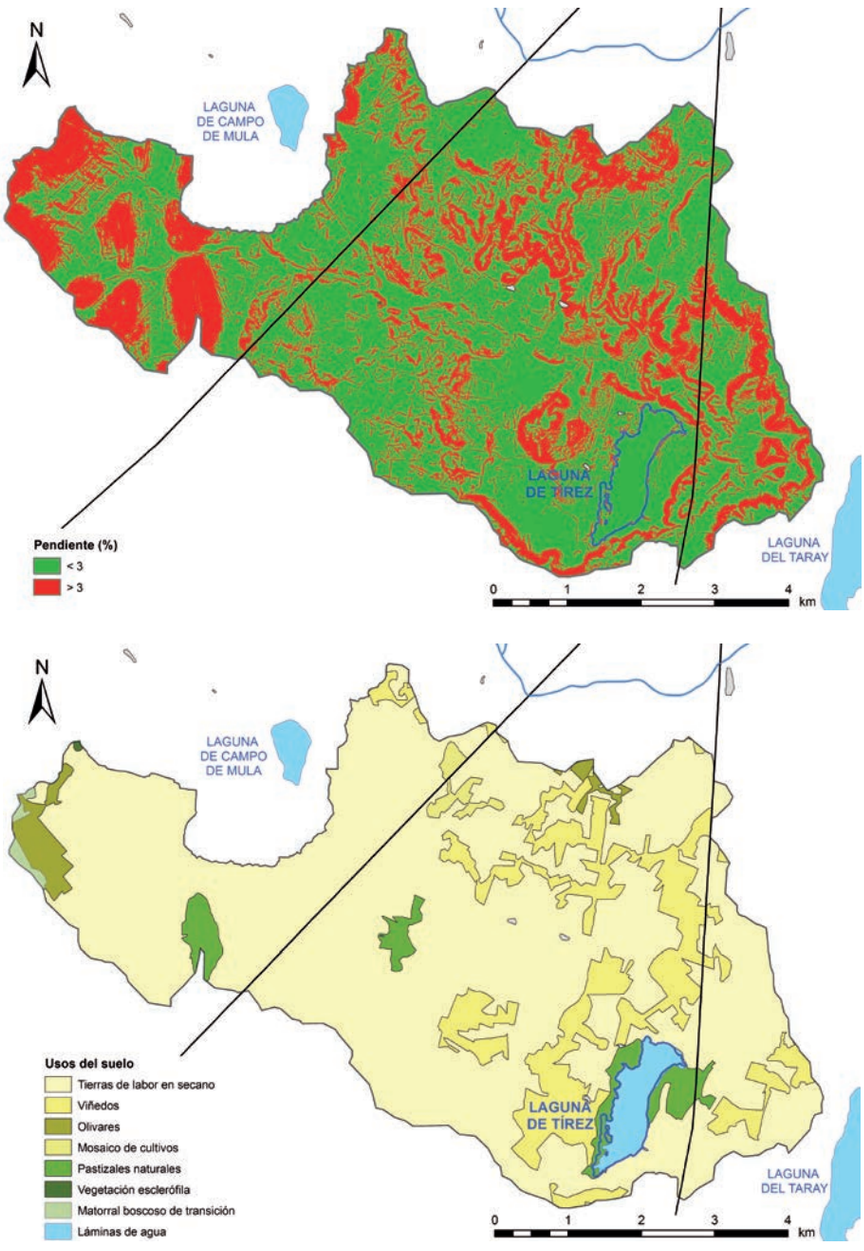


Figura 11.37. Cuenca hidrológica de la laguna de Tírez. Mapa de pendientes (arriba) y Mapa de usos del suelo (abajo) (Corine Land Cover 2012)

Al no existir relación con las aguas subterráneas, el número de curva resultante ha podido ser recalibrado mediante el ajuste de los volúmenes calculados por dicho método con los obtenidos a partir de medidas limnímétricas recopiladas durante el proyecto Ecolake desarrollado entre los años 2012 y 2014. Esto ha permitido establecer la bondad de los parámetros teóricos asignados para su aplicación a otras cuencas de similares características en las que existe relación con las aguas subterráneas.

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC (*Antecedent Runoff Condition*) 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=59, que se corresponde con un valor de CN I=39 para condiciones de humedad baja y CN III=77 para condiciones de humedad alta. Esto supone unos valores umbral de escorrentía (P_0) medio de 35,3 mm, con un máximo de 80,1 mm y un mínimo de 14,7 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 11.19).

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG, se ha determinado el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación, con pasos de altura de 0,02 m.

Posteriormente, se han establecido y representado las líneas de tendencia de las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen, con la obtención de la función que las definen (figura 11.38).

La relación superficie-volumen se ha forzado para equiparar el volumen nulo con una superficie inundada mínima de 3.000 m² (inferior al 0,3% de la máxima). Esta superficie es la equivalente en volumen de agua a las necesidades de saturación requeridas por el suelo de la laguna antes de

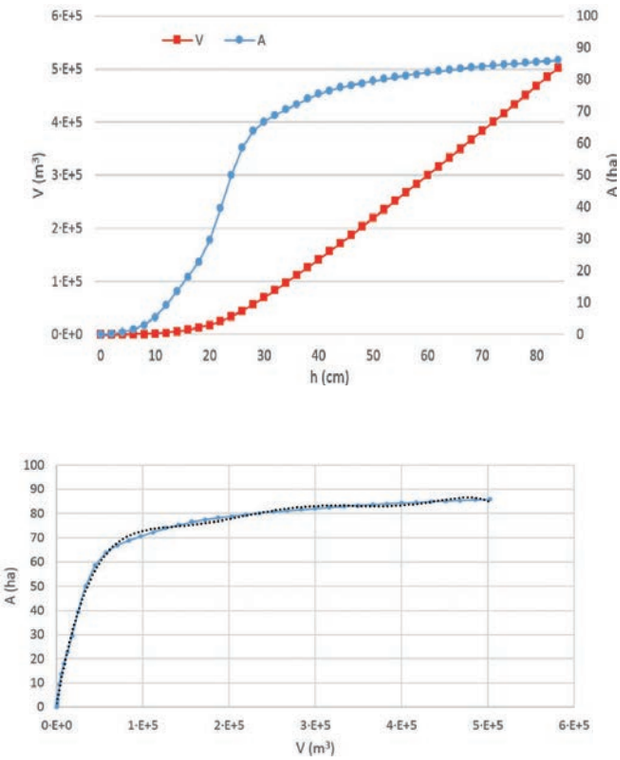


Figura 11.38. Laguna de Tirez. Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A). Abajo: relación entre área inundada (A) y el volumen almacenado (V)

obtenerse una lámina de agua libre, y es la que mejor se ha ajustado a la simulación del proceso de llenado de la cubeta.

Los resultados de la simulación con la metodología descrita aplicada al periodo 2012-2014 muestran un comportamiento estacional, en el que la laguna normalmente está seca durante la temporada estival y almacena agua en los meses de invierno y primavera.

El balance hídrico medio anual obtenido para dicho periodo (tabla 11.20) arroja unas entradas por precipitación directa de 87.745 m³ (70% de las entradas) y por escorrentía superficial de la cuenca vertiente a la laguna de 37.582 m³ (30%).

Tabla 11.19. Cuenca de la laguna de Tírez. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_o (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
< 3	> 50% Labor de secano	Media baja	C	80,1	35,3	14,7

Año hidrológico	ENTRADAS			SALIDAS	Variación de volumen (m^3)
	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)	
2012/13	107.691	21.130	128.821	127.667	1.154
2013/14	67.798	54.035	121.833	122.987	-1.154
Media periodo	87.745	37.582	125.327	125.327	0

Tabla 11.20. Balance hídrico de la laguna de Tírez. Periodo 2012-2014

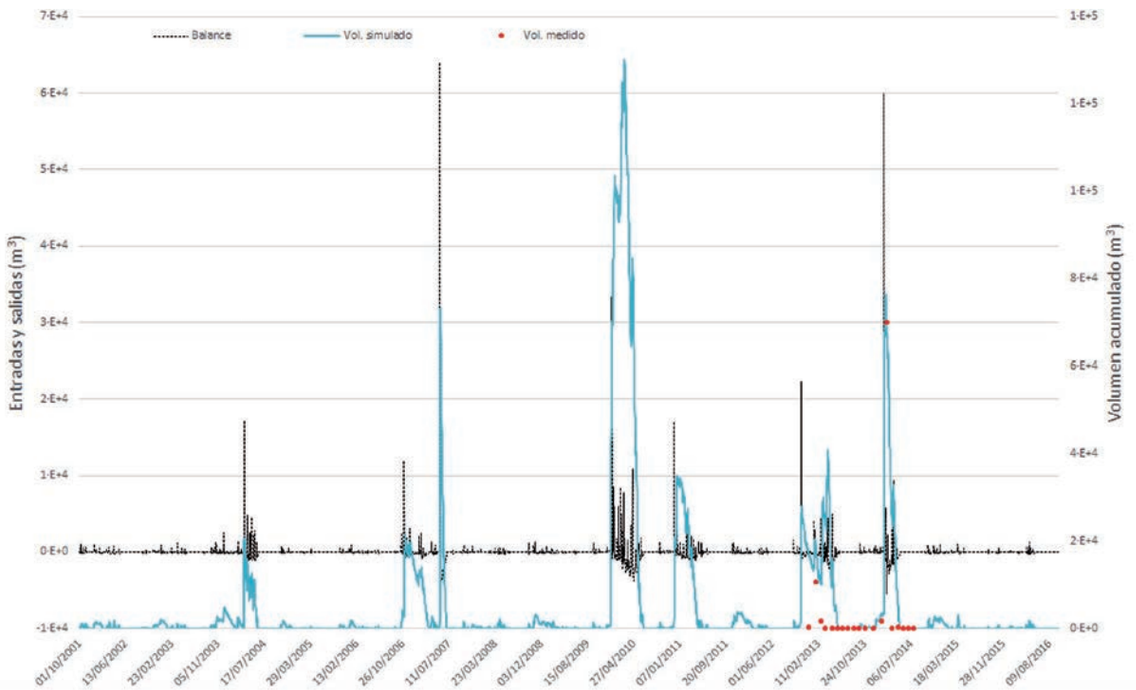


Figura 11.39. Simulación del balance hídrico para la laguna de Tírez. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

Por su parte, las salidas de agua se deben únicamente a la evapotranspiración en la laguna (125.327 m^3).

Con los parámetros validados para el periodo de calibración, se ha procedido a la determinación del balance hídrico hiperanual del humedal para un periodo de 15 años (2001-2016). En esta simulación se observa que la laguna ha permanecido seca la mayor parte del tiempo, excepto para las épocas húmedas registradas en seis años hidrológicos: 2003/04, 2006/07, 2009/10, 2010/11, 2012/13 y 2013/14 (figura 11.39).

El 52% de los días la laguna se ha encontrado completamente seca, y el 74% seca o prácticamente seca (lámina de agua < 5.000 m^2, unos 95 m^3). La superficie inundada máxima durante este periodo ha sido 758.511 m^2, alcanzada el 8 de marzo de 2010 como resultado de un episodio tormentoso de gran intensidad.

El balance hídrico hiperanual de la laguna de Tírez (15 años) muestra que sus aportes son de 62.650 m^3/año (tabla 11.21) de los que la mayor parte (48.006 m^3/año, 77%) corresponden a precipitación directa y el resto (14.644 m^3/año, 23%) a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente.

DATOS			ENTRADAS			SALIDAS
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km^2)	Área media inundada (m^2)	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)
345,78	42,74	64.931	48.006	14.644	62.650	62.650

Tabla 11.21. Balance hídrico hiperanual de la laguna de Tírez. Periodo 2001-2016

Evolución visual del territorio

A pesar de las trasformaciones sufridas por la laguna a lo largo del tiempo, en los últimos años no se aprecian cambios relevantes. En las dos imágenes de la figura 11.40, separadas por 55 años, se hace patente la semejanza del entorno, manteniéndose la intrincada red de caminos rurales, despuntando la mejora de los mismos, así como la carretera que da acceso al recinto de la laguna.

Las siguientes imágenes (figuras 11.41 a 11.46) evidencian el régimen estacional del humedal, en las que predominan las tonalidades blanquecinas de la manta salina en época estival, así como las lluvias acaecidas durante las etapas invernales que condicionan el espesor de la lámina de agua.

Figura 11.40.Laguna de Tírez. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)







Figura 11.41. Laguna en época húmeda. Agosto de 2018 (C. Camuñas)

Figura 11.42. Laguna durante el estío. Agosto de 2016 (L.A. Carreño)



Figura 11.43. Laguna seca. Diciembre de 2013 (B.J. Ballesteros)



Figura 11.44. Costas salinas en el centro de la cubeta (C. Camuñas)

Figura 11.45. Flanco este de la laguna de Tírez (C. Camuñas)





Figura 11.46. Escasa fauna, vegetación esteparia y campos de cultivos (C. Camuñas)

11.4. LAGUNA DE PEÑA HUECA

Situación geográfica, coordenadas y accesos

La laguna de Peña Hueca se ubica a unos 10 km al sur del núcleo urbano de Villacañas y al oeste de la localidad de Quero, de la que dista cerca de 7 km (figura 11.47).

Las coordenadas de su punto central son X: 470800, Y: 4374000 (UTM ETRS89 H30) cuya altitud es de 647,4 m s.n.m., según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

El acceso a la laguna es libre, y para llegar a ella se toma la carretera local TO-3077 a la salida de Villacañas en dirección sur. Tras recorrer 9,7 km aparece un camino de tierra en su arcén izquierdo, conocido como camino de los Tinajeros, donde se alza un panel indicativo. Transitados 1,3 km por este camino, se accede libremente al entorno del humedal, concretamente al observatorio de La Pagaza.

La laguna se encuentra rodeada por un mosaico de cultivos fragmentados por pequeños retazos de vegetación natural en las zonas de relieve más accidentado, y la red viaria está constituida por varias sendas y caminos rurales que dan acceso a incontables parcelas agrícolas, destacando el citado camino de Tinajeros, el carril de Valdemarín y el camino Real de la Plata.

La cañada Real Soriana Oriental, que recorre de sur a norte las provincias de Toledo y Ciudad Real, discurre al noroeste de la laguna y próxima a la misma.

Características fisiográficas

Este humedal dibuja una morfología general redondeada, con ondulaciones irregulares en múltiples sentidos que parece intuir una separación entre dos sectores independizados entre sí, dejando islas en su interior que no llegan a ser cubiertas por la lámina de agua. Aun así, predomina una dirección principal noreste-suroeste, con una longitud aproximada de 2 km.

El perímetro aproximado del vaso es de 10 km (figura 11.47), según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021 (BOE, 2016), con una superficie de máxima inundación de 115,88 ha.

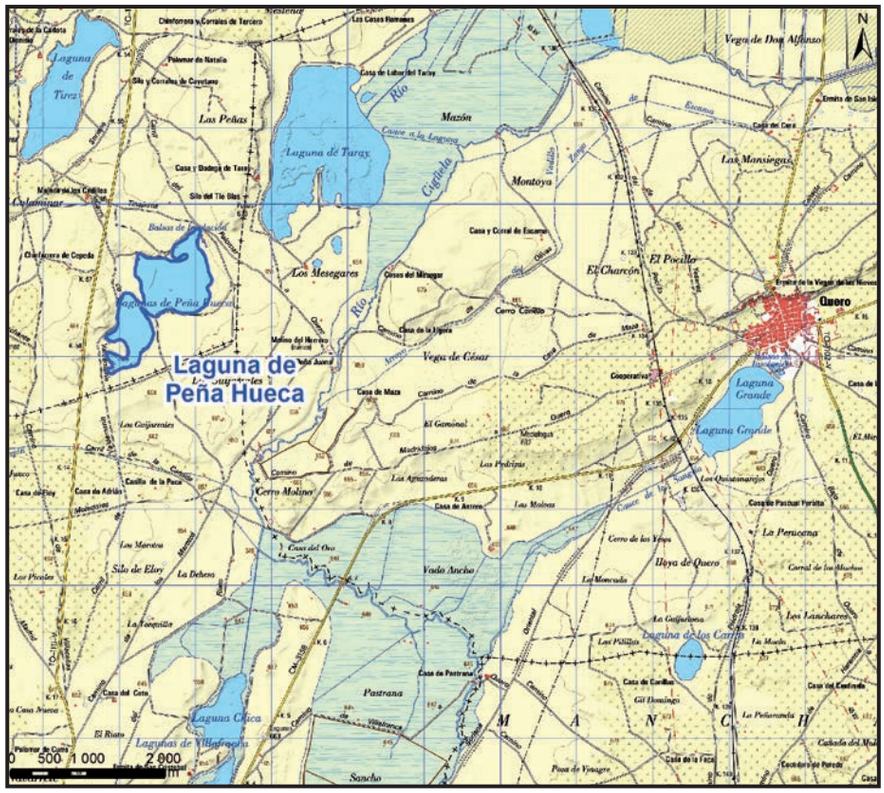


Figura 11.47. Situación geográfica de la laguna de Peña Hueca (hoja 687 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

Al igual que sus otras dos hermanas del complejo, su entorno se caracteriza por una topografía llana donde hacia el noreste resaltan algunos relieves alomados, como el cerro de Peñas, que la separan de la laguna de Taray. Este territorio es predominantemente agrícola, por lo que se encuentra segmentado en múltiples parcelas con cultivos de cereal, viñedos, olivos y pastizales halófilos, entre las que se intercalan otras de vegetación esteparia coincidentes con las áreas más abruptas y algo más elevadas.

La red fluvial aledaña queda marcada por el paso del río Gigüela, que cursa al este del humedal con una escasa profundidad y una gran variabilidad temporal y estacional. En este paisaje de tonos marrones y verdes destaca la salina de Peña Hueca con sus característicos colores blanquecinos (figura 11.48), especialmente visibles durante la estación estival.

Normativa específica y figuras de protección

La laguna de Peña Hueca tiene reconocida la categoría superior de protección o Zona Núcleo de la Reserva de la Biosfera "La Mancha Húmeda", declarada por la UNESCO en 1980. Este humedal también se encuentra incluido en la Red Natura



Figura 11.48. Imagen aérea de la laguna Peña Hueca. Marzo del año 2000 (Archivo Fundación Global Nature)

2000 y ha sido declarado Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Humedales de La Mancha" (tabla 11.22).

A nivel autonómico, el Consejo de Gobierno de la Junta de Castilla-La Mancha aprobó el Decreto 134/2005, de 4 de noviembre de 2005, por el que se declara la Reserva Natural y el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la laguna de Peña Hueca. El Decreto justifica su catalogación como Reserva Natural en su importancia y singularidad, así como por su elevado interés, tanto desde el punto de vista paisajístico y geológico, como de sus valores ambientales. En 2011 se amplía su protección a través de Resolución de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente por la que se incluyen sus terrenos en el catálogo de montes de utilidad pública.

La laguna, propiedad de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, es representativa de las lagunas hipersalinas de la zona, una de cuyas características más relevantes es haber sido utilizada para la obtención de sal, en este caso hasta finales del siglo XX. En la actualidad se encuentra en un buen estado de conservación por el cese de estas actividades y por las acciones de recuperación acometidas por la Fundación Global Nature, a través del Proyecto LIFE "Humedales de Villacañas".

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA DE PEÑA HUECA
RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA
Declaración de la UNESCO de 30 de noviembre de 1980
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Humedales de La Mancha", código ES4250010 Zona de Especial Protección para las Aves Z.E.P.A. "Humedales de La Mancha", código ES0000091
RESERVA NATURAL
Decreto 134/2005, de 04 de octubre de 2005, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Laguna de Peña Hueca, en el término municipal de Villacañas, de la provincia de Toledo, y se declara la Reserva Natural de la Laguna de Peña Hueca (DOCM nº 201, de 07-10-2005)
RESERVA DE UTILIDAD PÚBLICA
Resolución de 27/01/2011, de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, por la que se aprueba la declaración de utilidad pública y subsiguiente inclusión en el catálogo de montes de utilidad pública del Monte Laguna de Peña Hueca, perteneciente a la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y sito en el término municipal de Villacañas, provincia de Toledo (DOCM nº 30, de 14-2-2011)

Tabla 11.22. Figuras de protección de la laguna de Peña Hueca





Figura 11.49. Piscinas de secado en el año 2000 (izquierda: Archivo FGN) y 2016 (derecha: L.A. Carreño)

Valores históricos y culturales

Salina de interior

El fuerte estiaje y la salinidad de sus aguas son sin duda los rasgos ambientales más importantes de esta laguna, dando origen al aprovechamiento de este recurso. Su explotación se efectuaba del mismo modo tradicional que en su vecina salina de Tírez. En este sentido, el agua se secaba en balsas previamente cubiertas con un aislante de plástico negro y, una vez presente la sal, se extraía en los meses de julio y agosto mediante palas y carretillas. Aún quedan restos de algunas balsas de secado de la antigua explotación salinera (figura 11.49), que dejó de funcionar en los años 80.

La sal de las lagunas manchegas, entre ellas la de Peña Hueca, presenta un alto contenido en potasio y magnesio. Esta circunstancia la hace poco apta para el consumo animal (engorde del ganado) por lo que fue destinada a otros usos, como la elaboración de pólvora.

Según García *et al.* (2006), en la década de los 90 los aportes naturales de agua estuvieron fuertemente antropizados, recibiendo caudales adicionales desde pozos próximos. La sal también tuvo nuevos usos, para ello las aguas se mantenían en el vaso lagunar hasta su saturación (figura 11.50), momento que se extraía la salmuera para su aprovechamiento en el proceso de obtención del azúcar de la remolacha.

Espacio de educación ambiental

Hasta finales de los años 90 del siglo XX la laguna fue de titularidad privada. Esta circunstancia, unida a su ubicación, situada a unos 11 km de Villacañas y muy próxima a los límites de los municipios de Quero y Villafranca, han hecho que haya sido poco frecuentada y conocida por la población.

En cuanto a su uso, se ha pasado de su explotación salinera y posterior abandono, a convertirse en un enclave donde se llevan a cabo actividades turísticas, recreativas y programas de educación ambiental, gracias, entre otras acciones, a la restauración ecológica llevada a cabo por la Fundación Global Nature, a través del Proyecto LIFE "Humedales de Villacañas".

Como consecuencia, el humedal ha sufrido notables mejoras en los últimos años, como la construcción del observatorio de La Pagaza (figura 11.51), así como la instalación de paneles informativos adaptados en colaboración con la ONCE a su lectura en Braille. También se procedió a la colocación de rampas que facilitan el acceso a personas con discapacidad para el disfrute de este espacio natural.

El uso del antiguo salar por los visitantes está relacionado con actividades de tipo científico, recreativo e interpretativo, siendo las más frecuentes la contemplación del paisaje, el avistamiento de aves y flora, la educación ambiental y la fotografía.

Figura 11.50. Depósito de sal en superficie. Agosto de 2016 (L.A. Carreño)

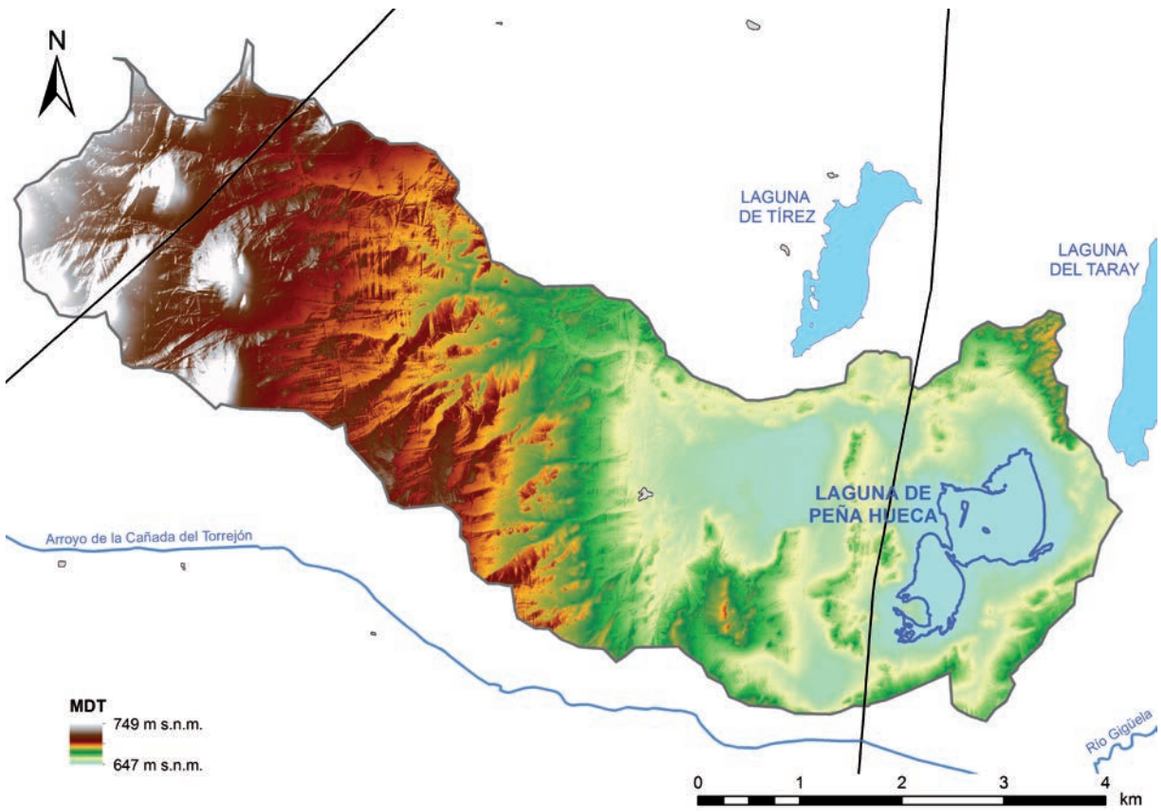




Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna de Peña Hueca, situada como las restantes del complejo de Villacañas dentro de la cuenca alta de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, constituye un área de carácter endorreico localizada al oeste de la subcuenca del río Riansares, cerca de su confluencia con el río Gigüela, y al norte de la subcuenca de la Cañada del Torrejón, también cerca de su confluencia con el río Gigüela. Esta laguna se encuentra muy cercana a la laguna del Taray (0,7 km al noreste) y a la laguna de Tírez (1,7 km al noroeste).

Figura 11.52. Cuenca hidrológica de la laguna de Peña Hueca



La extensión de su área vertiente es de 3.163 ha (figura 11.52), pertenecientes a los términos municipales de Villacañas (en su mayor parte), Villafranca de los Caballeros (sector sur) y Quero (al este). Su morfología es alargada con un flujo principal oeste-este y una relación entre superficie total y superficie de la propia laguna de 27, por debajo de la media de las lagunas de esta publicación.



Figura 11.51. Peña Hueca se ha convertido en un enclave para disfrutar el paisaje de sal. (L.A. Carreño)

La cuenca, que es prácticamente llana en su mitad oriental, presenta cierto relieve en su mitad occidental, donde las sierras del Polillo y Antonamos se alzan con desniveles de hasta 100 m respecto a la planicie donde se sitúa la zona inundada. Sus cotas topográficas oscilan entre los 647,4 y los 749,2 m s.n.m., con un valor promedio de 673,4 m s.n.m. La pendiente media es del 2,8%, con predominio de las inferiores al 3%. En consecuencia, la mayor parte de los límites, como es común en esta área geográfica, son difíciles de precisar y vienen dados por otras zonas endorreicas colindantes, como la de la laguna de Tírez, al norte, las cuencas de los ríos Riansares y Gigüela al este, y la Cañada del Torrejón al sur.

En cuanto a su red hidrográfica, su reducido tamaño y suave topografía no permiten diferenciar ningún río ni arroyo digno de mención, por lo que su drenaje tiene lugar mediante pequeñas vaguadas apenas distinguibles sobre el terreno.

El vaso de la laguna se sitúa en el extremo oriental de la cuenca y sus aportes provienen exclusivamente de la escorrentía generada por la precipitación del agua de lluvia caída en toda su superficie, sobre todo en los relieves de la zona occidental. Excepcionalmente, la laguna de Peña Hueca puede recibir aguas procedentes del rebose de la cuenca de la laguna de Tírez, por el norte, y de la laguna del Taray, por el este.

Geología

La cuenca vertiente de la laguna de Peña Hueca está ocupada por formaciones geológicas similares a las de su vecina cuenca de Tírez y abarcan desde el Ordovícico inferior hasta el Cuaternario, sin que en este caso exista una mayor extensión de unas respecto a otras (figura 11.53).

Dentro de este marco geológico predominan los afloramientos de materiales de baja permeabilidad (Tipología C: 60%) entre los que resaltan las areniscas y lutitas del Triásico en facies Keuper, las areniscas, arenas y limos del Mioceno, y los limos, arenas, gravas y costras del Pliocuaternario (tabla 11.23). Las formaciones con permeabilidad media afloran en menor medida (Tipología B: 25%) y corresponden a los conglomerados y lutitas del Triásico en facies Buntsandstein y Keuper, a las areniscas, conglomerados y lutitas del Albiense, y a las brechas, areniscas y calizas con algo de margas del Mioceno medio-Plioceno. En este grupo se pueden englobar también a las barras dolomíticas del Triásico en facies Muschelkalk y a las calizas con cantos y margocalizas del Cenomaniense.

En la mitad centro-occidental del área vertiente aparecen las lutitas del Keuper de carácter netamente impermeable con una extensión más reducida (Tipología D: 10%). Es de resaltar que las formaciones impermeables y de baja permeabilidad constituyen en 70% de la superficie de esta cuenca. Por último, los materiales de permeabilidad media-alta tienen una presencia testimonial (Tipología A: 5%), y quedan reducidos a los conglomerados silíceos de pequeño espesor localizados al este de la laguna.

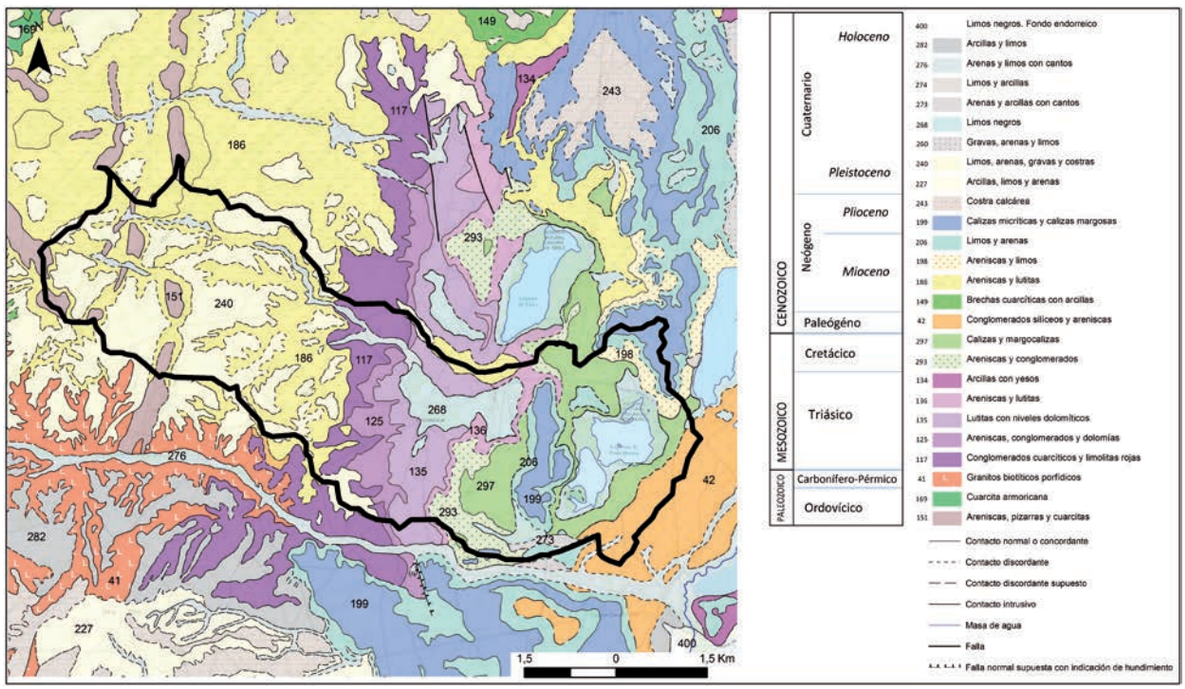


Figura 11.53. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de Peña Hueca (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

En el entorno más inmediato a la laguna (figura 11.53) aparecen afloramientos de calizas y margocalizas blanquecinas del Cenomaniense, a las que se superponen mediante discordancia erosiva sedimentos de escaso espesor (4-6 m) compuestos por limos rojos del Mioceno medio-superior, culminados por 2 a 4 m de calizas y margas del páramo atribuidas al Mioceno superior-Plioceno. En el sector suroccidental, sin embargo, son los conglomerados silíceos del Oligoceno-Mioceno, también de reducida potencia (2-3 m), los que se sitúan directamente sobre las calizas del Cenomaniense.

No obstante, la estructura geológica y el reducido espesor de la calizas del Cenomaniense (25 m) apunta a que la laguna se dispone directamente sobre las arcillas con yesos de la facies Keuper del Trías, formación que no llega a apreciarse en superficie al estar recubierta por los sedimentos de limos y arcillas depositados en su vaso. El espesor de dicha formación es notorio cuando se encuentra

Tabla 11.23. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de Peña Hueca

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
FORMACIÓN GEOLÓGICA	Edad	Tipología	%
Conglomerados silíceos	Oligoceno-Mioceno	A	5
Conglomerados y limolitas	Triásico Buntsandstein	B	25
Areniscas, conglomerados y dolomías	Triásico Muschelkalk	B	
Conglomerados, areniscas y lutitas	Albiense	B	
Calizas con cantos y margocalizas	Cenomaniense	B	
Brechas cuarcíticas con arcillas	Mioceno medio	B	
Calizas micríticas y margas	Mioceno superior-Plioceno	B	
Areniscas, pizarras y cuarcitas	Ordovícico	C	60
Areniscas y lutitas	Triásico Keuper	C	
Limos y arenas	Mioceno medio-superior	C	
Areniscas, arenas y limos	Mioceno	C	
Limos, arenas, gravas y costras	Pliocuaternario	C	
Lutitas	Triásico Keuper	D	10
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

completa, ya que supera ampliamente los 100 m, siendo mucho mayor si es afectada por procesos halocinéticos. En la vertical de la laguna, debido a su disposición estructural, se estima que alcanza un espesor entre los 5 m del límite occidental y los 30 m del oriental.

Bajo la formación anterior se encuentran las areniscas y lutitas rojas, pertenecientes también a esta misma edad, compuestas por un tramo superior de unos 12 m de lutitas rojas y otro inferior de otros 15 m de areniscas. En una posición más inferior aparecen los más de 40 m de sedimentos de las lutitas rojas y verdes de la facies Keuper, bajo los que subyace, con una potencia algo superior a los 50 m, la formación de areniscas, conglomerados y dolomías del Muschelkalk. A mayor profundidad se sitúan las limolitas y conglomerados cuarcíticos, pertenecientes en este caso al Buntsandstein, compuestos por unos 100 m de paquetes de areniscas de grano grueso de color rojo, que presenta una base de conglomerados y un tramo superior con horizontes lutíticos.

El esquema estructural existente en el entorno de la laguna es el de un monoclinal en formaciones triásicas, vergente hacia el este con buzamientos suaves en torno a los 10º, sobre las que se han depositado las calizas cretácicas, basculadas también hacia el este aunque con menor inclinación. Sobre esta formación se depositan, a su vez y de forma discordante, los sedimentos más recientes de edad neógena.

Hidrogeología

Las formaciones geológicas sobre las que se dispone la laguna de Peña Hueca, como se acaba de mencionar, están representadas por sedimentos de edad triásica dispuestos según una estructura ligeramente basculada hacia el este, con un espesor conjunto superior a los 220 m (figura 11.54). No obstante, los afloramientos en el entorno de la cubeta corresponden a calizas y margas cretácicas, sin enraizamiento, que yacen sobre los anteriores.

Las formaciones triásicas presentan horizontes permeables e impermeables. Los más antiguos y profundos corresponden a los conglomerados cuarcíticos y limolitas rojas de la facies Buntsandstein (Tb) y a las areniscas, conglomerados y dolomías de la facies Muschelkalk (Tm) que, con una permeabilidad media-baja y un espesor cercano a los 150 m, configuran el principal horizonte acuífero de la

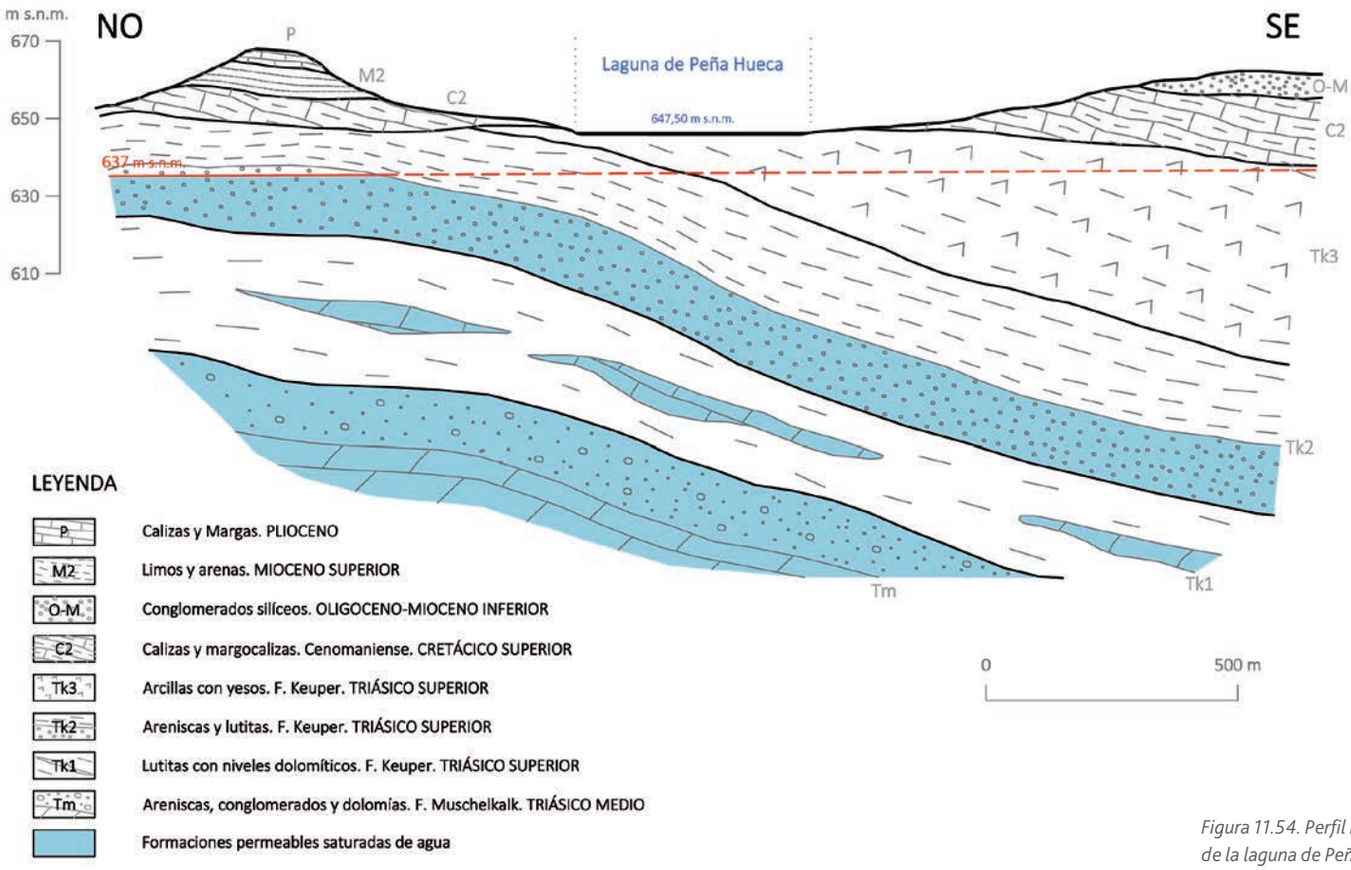


Figura 11.54. Perfil hidrogeológico de la laguna de Peña Hueca

zona. En disposición superior y separada de las formaciones anteriores por unos 40 m de las lutitas rojas y verdes de la facies Keuper (Tk1) de carácter impermeable, se localiza también un horizonte transmisivo de menor espesor (12 m) correspondiente a las areniscas al tramo inferior de la formación areniscas y lutitas rojas del Keuper (Tk2).

Yacente sobre todos los materiales anteriores, y con unos 12 m de potencia, aparecen las lutitas del tramo superior de la formación areniscas y lutitas rojas (Tk2), y la formación de arcillas rojas con yesos del Keuper (Tk3) cuya potencia es creciente hacia el este donde puede superar los 30 m. Estos materiales, de marcado carácter impermeable y con un espesor conjunto en la vertical de la laguna entre los 20 y los 45 m, configuran el soporte litológico de la misma y sellan su base, lo que impide cualquier relación con las aguas subterráneas. El escaso espesor de los sedimentos de origen lacustre, compuestos por limos negros, y relacionados con los procesos sedimentarios de la propia laguna, carece de significado hidrogeológico.

Otras formaciones permeables, como los depósitos cretácicos, las calizas y margas de edad Cenomaniense (C2), y los conglomerados silíceos del Oligoceno-Mioceno (O-M) al situarse en una posición más elevada no están saturados y, en consecuencia, carecen de significado hidrogeológico y de cualquier relación con la laguna.

Como es común en la zona situada al sur de la localidad de Villacañas, el esquema geológico-hidrogeológico imperante determina que el flujo subterráneo se verifique a través del conjunto de sedimentos del Buntsandstein-Muschelkalk, así como del pequeño tramo areniscoso del Keuper, con una componente oeste-este (figura 11.54).

Las cotas piezométricas están comprendidas entre los 634 m s.n.m. en el sector septentrional y los 645 m s.n.m. de su sector meridional (figura 11.55). El gradiente hidráulico es muy bajo, del orden del 0,5%, circunstancia en la que debe intervenir el relieve suave y las escasas diferencias topográficas. Las variaciones piezométricas estacionales entre las campañas de control realizadas han sido del orden de los 3,5 a 4 m entre estaciones secas y húmedas.

El nivel piezométrico en la vertical de la laguna se sitúa cercano a los 638 m s.n.m., lo que implica que está unos 10 m por debajo de su base y pone de manifiesto la imposibilidad de que ésta reciba cualquier aporte hídrico de origen subterráneo. De forma adicional, e independientemente de dicha circunstancia, la extensión de las arcillas y lutitas impermeables del Keuper hasta una profundidad de, al menos, 20 m propician el confinamiento de las formaciones acuíferas infrayacentes y la presencia de una zona no saturada con un espesor equivalente. Este dispositivo hidrogeológico explica la desconexión entre el agua de la laguna y los flujos subterráneos de su entorno.



Figura 11.55. Mapa piezométrico y sentido del flujo subterráneo (IGN)

La afirmación anterior viene reforzada por la gran diferencia en la composición hidroquímica entre las aguas de la laguna y las subterráneas. Como se cita en el apartado posterior, las primeras son hipersalinas, con CE por encima de los 100.000 µS/cm y facies cloruradas, mientras que las segundas presentan CE algo superiores a los 4.900 µS/cm y facies sulfatadas (punto PH-2, figura 11.55). El esquema hidrogeológico descrito también explica la existencia de captaciones de agua subterránea en áreas próximas a la laguna.

Hidroquímica

El agua de la laguna de Peña Hueca, según la analítica realizada, presenta un valor de la CE de 103.800 µS/cm, muy superior al de las aguas subterráneas del entorno con valores cercanos a 4.920 µS/cm, con un pH de 8,85, valor algo superior al de las aguas subterráneas que es de 8,04.

Los cloruros y sulfatos se comportan de manera similar. En las aguas subterráneas los primeros alcanzan los 526 mg/L, mientras que en la laguna son de 45.153 mg/L. Por su parte, el contenido en sulfatos es de 1.478 mg/L en las aguas subterráneas y de 50.797 mg/L en la laguna. Igual comportamiento tienen los cationes, salvo el Ca^{2+}.

En cuanto a la facies hidroquímica, en la laguna el agua es clorurada-sulfatada magnésico-sódica (figura 11.56), mientras que la subterránea es sulfatada magnésica (figura 11.57).

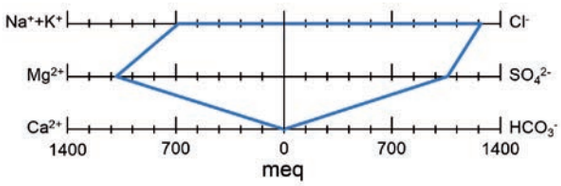


Figura 11.56. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna de Peña Hueca. Fecha de ensayo 26/11/2014

La comparativa entre los principales parámetros del agua de la laguna y los recogidos en la normativa que regula la calidad para aguas de consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero), por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, se exponen en la tabla 11.24.

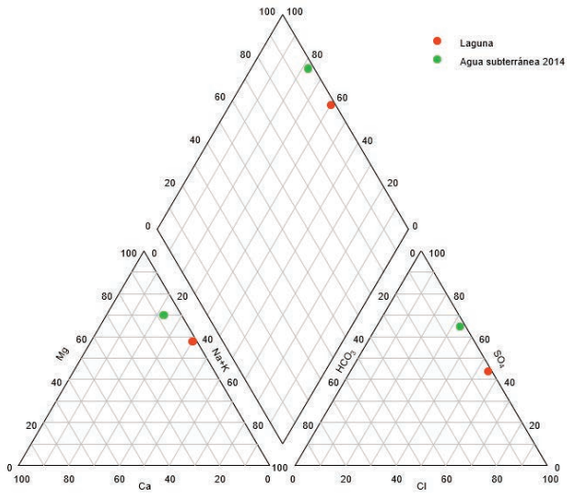


Figura 11.57. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de la muestra de la laguna Peña Hueca y un sondeo

La CE en la laguna durante el periodo de control (diciembre 2012-abril 2014) arroja valores habituales cercanos a los 214.000 µS/cm. Los mínimos entre 94.000 y 98.800 µS/cm se obtienen tanto a finales de enero de 2013 como de 2014, con ascensos posteriores más paulatinos que en la vecina laguna de Tírez. El primero se da en octubre de 2013 (497.000 µS/cm) y el segundo en marzo de 2014 (395.000 µS/cm), siendo este último algo menos acusado (figura 11.58).

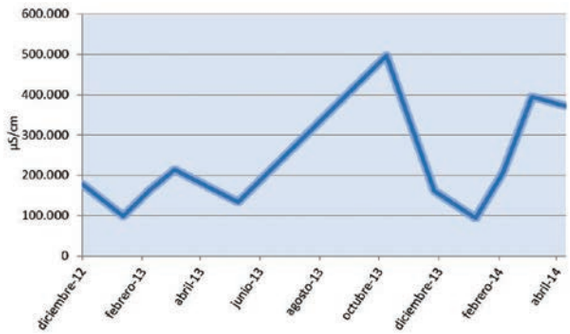


Figura 11.58. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna de Peña Hueca entre diciembre de 2012 y abril de 2014

	Fecha de análisis			26/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA	
				Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	26,8	10
	Boro	B	mg/L	0,436	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	45.153	250
	Conductividad	CE	µS/cm	103.800	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	223	50
	pH	-	Ud de pH	8,85	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	15.442	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	50.797	250

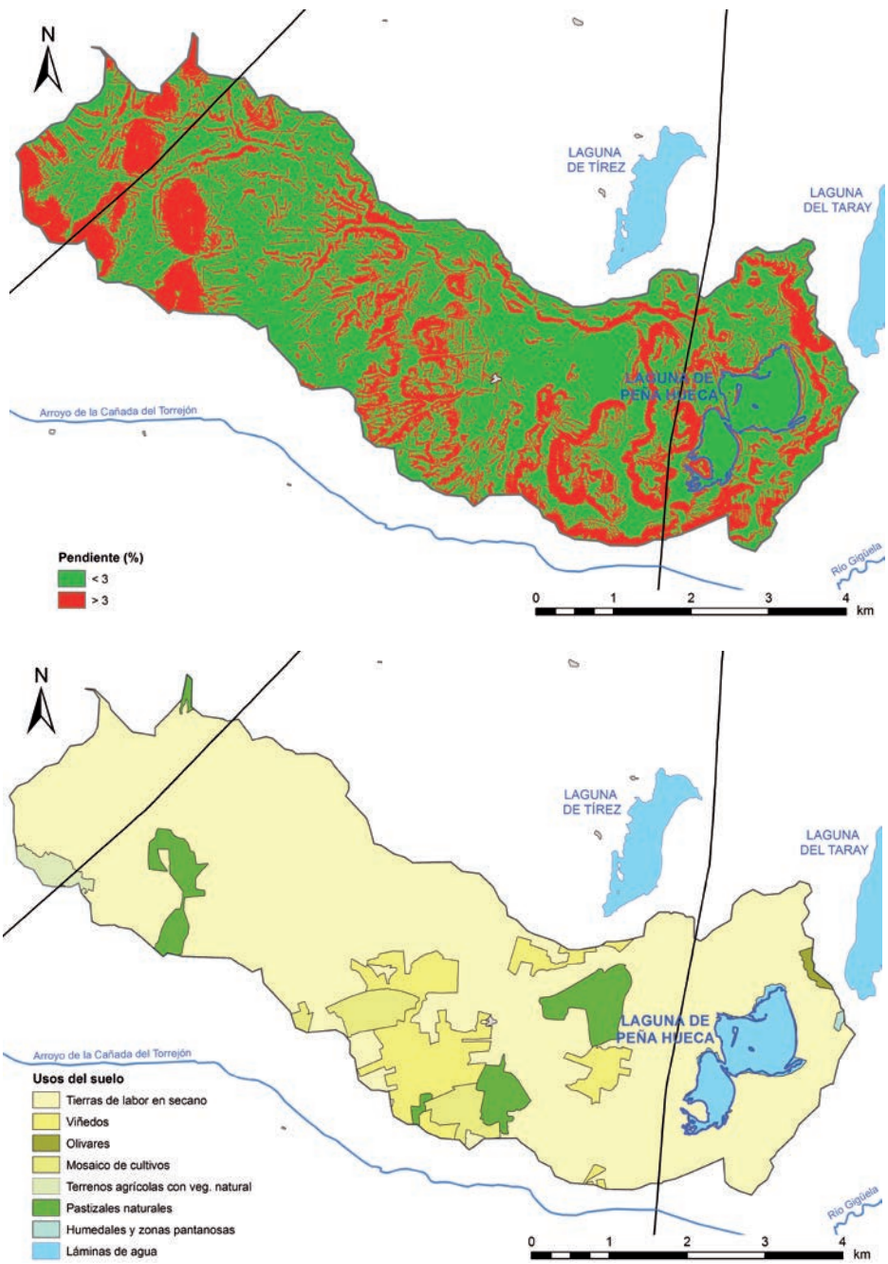
Tabla 11.24. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

Al igual que sucede para las restantes lagunas del complejo, el funcionamiento hidrológico de la laguna de Peña Hueca viene condicionado por las características climáticas de la zona, por la morfología del área vertiente y por la estructura geológica-hidrogeológica de la misma. Todos estos factores han dado lugar a la presencia de una zona húmeda hipersalina somera y de carácter temporal con una lámina de agua de muy escasa profundidad, pero que la mayor parte del año se encuentra seca.

Figura 11.59. Cuenca hidrológica de la laguna de Peña Hueca. Mapa de pendientes (arriba) y Mapa de usos del suelo (abajo) (Corine Land Cover 2012)



Balance hídrico

El balance hídrico de la laguna se ha determinado según la metodología expuesta en el capítulo 5, basada en el cálculo de los balances de entradas y salidas de agua a su vaso a nivel diario. En el caso de este humedal las entradas corresponden exclusivamente a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento (máximo 115,9 ha) y a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (3.163 ha), dada la inexistencia de relación con las aguas subterráneas. Por su parte, las salidas son debidas a la evaporación producida sobre la lámina de agua libre del área inundada, limitada por el volumen de agua disponible en cada momento, ya que en la estación estival la laguna llega a secarse.

Los datos climáticos utilizados para el cálculo de dicho balance proceden de la estación agroclimática del SIAR de Herencia para un periodo de 15 años (2001-2016). El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo (kc), asignándole en este caso el valor de 1. Para la determinación de la evaporación se ha tenido en cuenta la extensión de la lámina de agua de la laguna en cada momento.

El análisis geológico de la cuenca vertiente, según las distintas formaciones aflorantes, ha arrojado como resultado un suelo de tipo C (tabla 11.23). Por su parte, la pendiente media hallada ha sido del 2,8%, es decir, inferior al 3% (figura 11.59). Al uso

de la tierra se le ha asignado la tipología de labor de secano con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 11.59), mientras que la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

El número de curva resultante ha sido recalibrado mediante el ajuste de los volúmenes calculados por dicho método con los estimados a partir de medidas limnimétricas recopiladas durante el proyecto Ecolake (2012-2014). En el cálculo de la escorrentía, los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC (*Antecedent Runoff Condition*) 1, 2 ó 3 han sido: 15 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=61, que se corresponde con un valor de CN I=41 para condiciones de humedad baja y CN III=78 para condiciones de humedad alta. Esto supone unos valores umbral de escorrentía (P_0) medio de 32,5 mm, con un máximo de 73,3 mm y un mínimo de 14,3 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 11.25).

La batimetría de la cubeta se ha obtenido mediante la elaboración de un Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir de ficheros digitales con información altimétrica de la nube de puntos (capturados mediante vuelos con sensor LIDAR) con una densidad de 0,5 puntos/m^2, del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). A partir del MDT, y mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG, se ha determinado el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación, con pasos de altura de 0,01 m. Posteriormente, se han establecido y representado las líneas de tendencia de las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen, con la obtención de la función que las definen (figura 11.60).

La relación superficie-volumen se ha forzado para equiparar el volumen nulo con una superficie inundada mínima de 1.000 m^2 (≤ 0,1% de la máxima). Esta superficie es la equivalente, en volumen de agua, a las necesidades de saturación requeridas por el suelo de la laguna antes de obtenerse una lámina de agua libre, y es la que mejor se ha ajustado a la simulación del proceso de llenado.

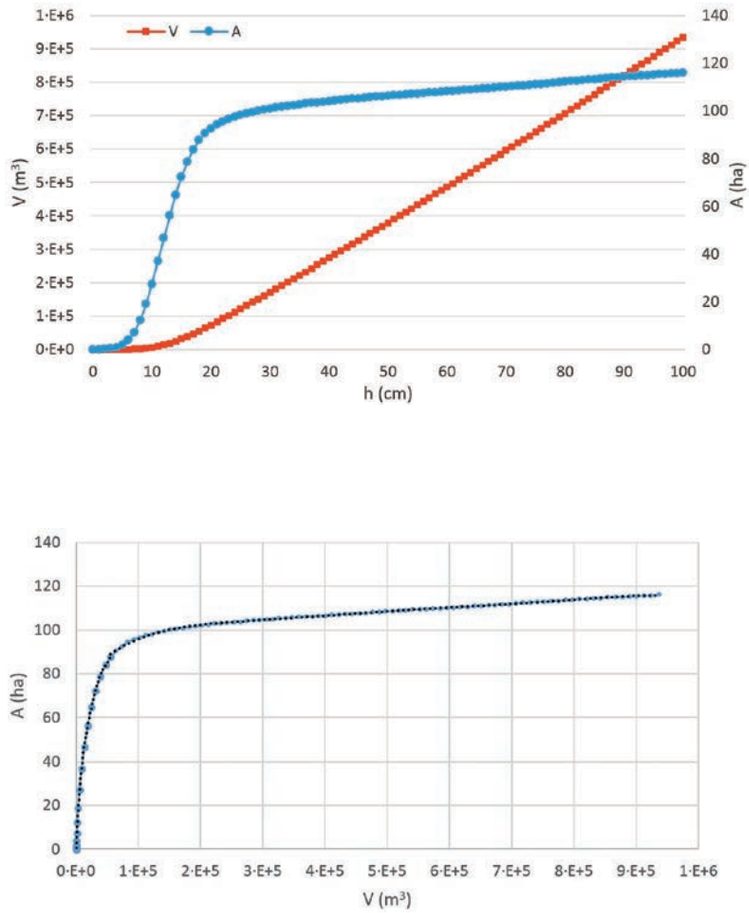


Figura 11.60. Laguna de Peña Hueca. Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A). Abajo: relación entre área inundada (A) y volumen almacenado (V)

Los resultados de la simulación con la metodología descrita aplicada al periodo 2012-2014 muestran un comportamiento claramente estacional, en el que la laguna normalmente está seca durante la temporada estival y almacena agua en los meses de invierno y primavera.

El balance hídrico medio anual obtenido para dicho periodo arroja unas entradas por precipitación directa de 177.707 m^3 (93% de las entradas) y por escorrentía superficial de la cuenca vertiente a la laguna de 13.715 m^3 (7%). Por su parte, las salidas de agua (191.422 m^3) se deben únicamente a la evapotranspiración en la laguna (tabla 11.26).

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
< 3	> 50% Labor de secano	Media baja	C	73,3	32,5	14,3

Tabla 11.25. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial en la cuenca de la laguna de Peña Hueca. Método del número de curva (USSCS)

Tabla 11.26. Balance hídrico de la laguna de Peña Hueca. Periodo 2012-2014

Año hidrológico	ENTRADAS			SALIDAS	Variación de volumen (m³)
	Precipitación directa (m³/año)	Escorrentía (m³/año)	Totales (m³/año)	ETP laguna (m³/año)	
2012/13	240.086	27.431	267.517	264.667	2.850
2013/14	115.327	0	115.327	118.177	-2.850
Media periodo	177.707	13.715	191.422	191.422	0

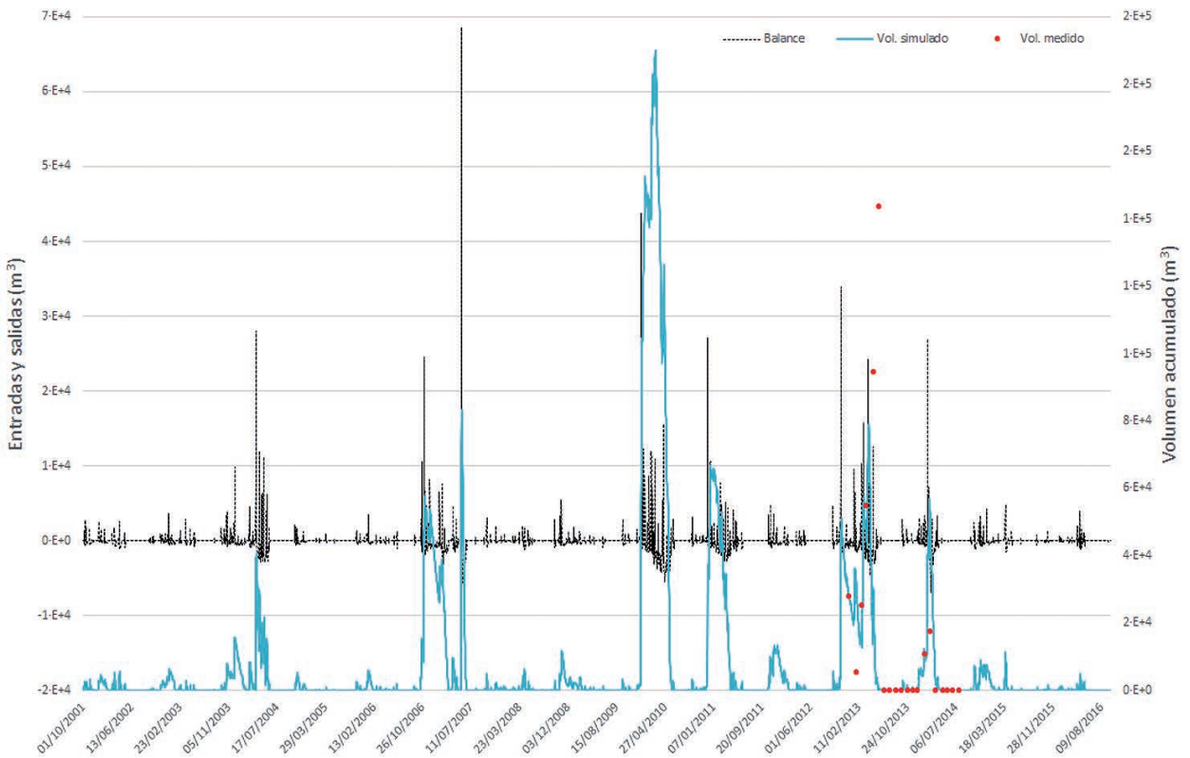


Figura 11.61. Simulación del balance hídrico para la laguna de Peña Hueca. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

Con los parámetros validados para el periodo de calibración, se ha procedido a establecer el balance hídrico del humedal para un periodo de 15 años (2001-2016). En esta simulación se observa que la laguna ha permanecido seca la mayor parte del tiempo, excepto para las épocas húmedas de los años hidrológicos 2003/04, 2006/07, 2009/10, 2010/11, 2012/13 y 2013/14 (figura 11.61). En estos 6 años las precipitaciones fueron superiores a la media del periodo (346,3 mm/año), excepto para el 2013/14 en el que fueron menores (339,7 mm/año), por lo que la laguna contuvo agua durante menos tiempo.

El balance hídrico hiperanual de la laguna de Peña Hueca (15 años) muestra unos aportes medios de 119.237 m³/año (tabla 11.27), equivalente a la evaporación registrada en su vaso, de los que la mayor parte, 106.697 m³/año (89%) son debidos a precipitación directa y el resto, 12.540 m³/año, a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (11%). El 59% de los días la laguna estuvo seca o prácticamente seca (lámina de agua < 5.000 m², unos 66 m³) y la superficie máxima inundada durante este periodo fue de 102 ha, alcanzada en marzo de 2010 como resultado de un periodo excepcionalmente húmedo iniciado en diciembre de 2009.

Tabla 11.27. Balance hídrico hiperanual de la laguna de Peña Hueca. Periodo 2001-2016

DATOS			ENTRADAS			SALIDAS
Precipitación media (mm)	Área cuenca de la (km²)	Área media inundada (m²)	Precipitación directa (m³/año)	Escorrentía (m³/año)	Totales (m³/año)	ETP laguna (m³/año)
346,30	31,63	137.038	106.697	12.540	119.237	119.237

Evolución visual del territorio

El perímetro lagunar y el entorno más inmediato de la laguna de Peña Hueca perdura en el tiempo sin cambios significativos, como ocurre con la cercana laguna de Tírez, en gran medida por relativa lejanía a núcleos urbanos (figura 11.62), apreciándose sólo una mejora en el estado de la carretera por la que se acercan sus visitantes, así como ciertas alteraciones sufridas en el curso del río Gigüela, que transcurre al sureste de la misma.

Las fotografías expuestas (figuras 11.63 a 11.68) muestran los cambios sufridos por este ecosistema a lo largo del año, con presencia de agua cuando las lluvias son generosas y abundancia de salitre y costras salinas durante las épocas secas en las que predomina la evaporación, todo ello visible desde el observatorio de La Pagaza.

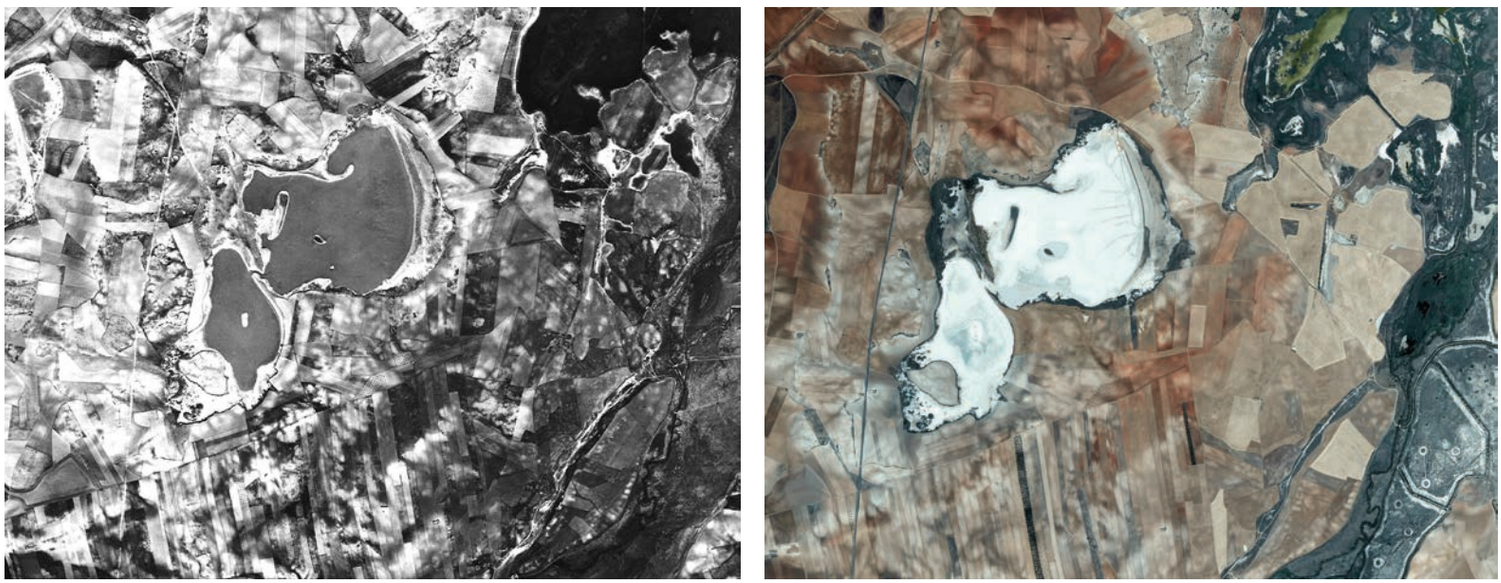


Figura 11.62. Laguna de Peña Hueca. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 11.63. Cubetas de desecación tras el observatorio de "La Pagaza" (C. Camuñas)



Figura 11.64. Peña Hueca en época húmeda (C. Camuñas)

Figura 11.65. Laguna en periodo estival. Agosto de 2016 (L.A. Carreño)



Figura 11.66. Lamina de agua en abril de 2018 (C. Camuñas)



Figura 11.67. Manto salino en agosto de 2015 (C. Camuñas)

Figura 11.68. El agua cubre el vaso lagunar y las cubetas de desecación en la estación lluviosa (C. Camuñas)

Capítulo 12



LAGUNA GRANDE DE VILLAFRANCA

VILLAFRANCA DE LOS CABALLEROS (TOLEDO)





12. LAGUNA GRANDE DE VILLAFRANCA

Situación geográfica, coordenadas y accesos

Villafranca de los Caballeros cuenta con un complejo lagunar ubicado al noreste de su núcleo urbano constituido por una zona encharcable, conocida como La Dehesa, y tres lagunas: laguna Grande, laguna Chica y laguna de la Sal.

De todas ellas, en esta publicación se ha estudiado sólo la laguna Grande de Villafranca, situada a 2,5 km de la población (figura 12.1) y distante, a su vez, 90 km de la capital provincial, Toledo. Las coordenadas de su punto central son X: 470900, Y: 4366850 (UTM



Figura 12.1. Situación geográfica de la laguna Grande de Villafranca (hoja 713 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)



Figura 12.2. Laguna Grande de Villafranca en el año 2015 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

ETRS89 H30), cuya altitud es de 645,4 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

El humedal queda enmarcado por la carretera TO-3077 que con una dirección norte-sur transita unos 1,4 km al oeste de la laguna, y la carretera CM-3130 de dirección noreste que une Villafranca de los Caballeros con Miguel Esteban y pasa apenas a 100 m del vaso lagunar, al cual bordea por su flanco oeste.

La gran afluencia turística que históricamente ha tenido la laguna Grande de Villafranca, y que en la actualidad mantiene, ha condicionado que su acceso sea libre y esté muy bien señalizado. La manera más sencilla de llegar a ella es por la entrada situada en el p.k. 2,450 del margen izquierdo de la citada carretera CM-3130, y después de recorrer 200 m sobre una vía asfaltada.

Los villafranqueros cuentan con otra vía directa y asfaltada, el camino de las Lagunas, que nace en el extremo norte de la localidad y con una longitud de algo más de 2 km llega a la ermita de San Isidro, dando acceso al entorno lagunar por su extremo sur. A partir de aquí, el camino bordea la laguna Grande por su flanco oeste, conectando con otras vías construidas para las urbanizaciones, viviendas y dependencias, hasta alcanzar la zona central de la misma, lo que permite su uso y disfrute por visitantes y turistas. A partir de este punto pasa a ser un camino de tierra que sigue por el borde oeste del humedal, pasando por la ermita de San Cristóbal y la casa del Guarda donde alcanza su extremo norte.

Este camino continúa en sentido más al norte por el flanco oeste de la laguna Chica y, tras dejarla atrás, termina en la casas de la Dehesa, cercana a la acequia denominada Caz de las Lagunas que las conecta artificialmente al río Gigüela. En esta misma zona también se encuentra otro camino rural digno de mención, el carril del Riato, que con dirección norte-sur discurre entre el camino de las Lagunas y la carretera TO-3077, dando acceso a múltiples parcelas agrícolas.

Características fisiográficas

La zona inundada tiene una morfología alargada en dirección noreste-suroeste con una longitud aproximada de 1,7 km, y una cierta apariencia ovalada sobre todo en su mitad sur. Su anchura ronda los 0,4 km en el extremo sur, pasando a 0,6 km en su zona central para llegar a 0,2 km de ancho en el extremo norte (figura 12.2), dibujando una superficie de máxima inundación de 61,51 ha. Su perímetro aproximado es de 4,2 km, según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021 (BOE, 2016).

Dispone de una lámina de agua casi permanente que puede alcanzar los 1,5 m de profundidad, debido a los aportes superficiales que recibe del río Gigüela por medio de una acequia que primero llega a la laguna Chica y de aquí a la laguna Grande, si bien las secuencias climatológicas secas inciden de manera determinante en su extensión.

Su entorno perfila un paisaje llano, aunque a ambos márgenes de las lagunas, y unos 10 m por encima de su cota topográfica, se alzan relieves que aportan al entorno un paisaje característico, cuyo suelo es típicamente agrícola, con parcelas cultivadas ampliamente desarrolladas en las que predomina el cereal de secano, los viñedos y olivares, por ese orden, con una vegetación esteparia que aparece de forma testimonial.

Normativa específica y figuras de protección

En la actualidad, la laguna Grande de Villafranca es de propiedad municipal y desde 1980 forma parte de la Reserva de la Biosfera de "La Mancha Húmeda" declarada por la UNESCO. Además está protegida por las figuras jurídicas de ámbito europeo como Reserva Natural de la Biosfera, incluida en la Red Natura 2000, Lugar de Importancia Comu-

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA GRANDE DE VILLAFRANCA
RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA
Declaración de la UNESCO de 30 de noviembre de 1980
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Humedales de La Mancha", código ES4250010 Zona de Especial Protección para las Aves Z.E.P.A. "Humedales de La Mancha", código ES0000091
REFUGIO DE FAUNA
Decreto 158/1988, de 13 de diciembre, por el que se declara como refugio de caza las lagunas Grande y Chica de Villafranca de los Caballeros situadas en el término municipal del mismo nombre de la provincia de Toledo (DOCM nº 52, de 20-12-1988). Con la aprobación de la Ley de Caza por las Cortes Regionales de Castilla-La Mancha en 1993, se reclasificaron todos los Refugios de Caza como "Refugios de Fauna"
RESERVA NATURAL
Decreto 83/2006, de 20 de junio, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las lagunas Grande y Chica de Villafranca de los Caballeros situadas en el término municipal del mismo nombre de la provincia de Toledo y se declara la Reserva Natural de las lagunas Grande y Chica de Villafranca de los Caballeros (DOCM nº 129, de 23-06-2006)
MONTE DE UTILIDAD PÚBLICA
Resolución de 20/04/2006, de la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural, por la que se aprueba la actualización y revisión del Catálogo de Montes de Utilidad Pública de la provincia de Toledo, en el que se incluye, con el número 44, la Dehesa y lagunas de Villafranca de los Caballeros (DOCM nº 94, de 05-05-2006)

Tabla 12.1. Figuras de protección de la laguna Grande de Villafranca

nitaria (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Humedales de La Mancha" (tabla 12.1).

Dentro del ámbito autonómico, fue declarada Refugio de Caza en 1988 y reclasificada como Refugio de Fauna en 1993, con la principal finalidad de alcanzar su recuperación y mejora de su hábitat. En mayo de 2006 se amplía su protección a través de una Resolución de la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural por la que se incluyen sus terrenos en el catálogo de montes de utilidad pública. En junio del mismo año, se aprobó su Plan de Ordenación de Recursos Naturales, declarándose Reserva Natural. Todas estas figuras favorecen el buen estado de conservación del humedal.

Climatología

Los datos climáticos se han determinado a partir de la estación meteorológica CR08 Herencia, perteneciente a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha (tabla 12.2).

La precipitación media anual de la zona en los últimos 15 años (2001/02-2015/16) ha sido de 348,9 mm, con un máximo de 537,8 mm en el año 2003/04 y un mínimo de 155,4 mm en el año hidrológico posterior. A nivel diario se produjo un episodio de lluvia torrencial ocurrido el 9 de febrero de 2014 en el que se acumularon 50,9 mm. Los datos de precipitación más significativos se muestran en la tabla 12.3.

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
CR08	Herencia	471540	4358890	659	01/10/2001	30/09/2016

Tabla 12.2. Datos de ubicación y periodo de registro temporal empleado (SIAR)

PRECIPITACIÓN (mm)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**348,9**	**1,0**	**25,3**	**31,0**	**38,3**	**50,8**	**38,8**	**17,8**	**2,8**	**4,2**	**21,6**	**46,2**	**36,2**	**35,6**
Máxima absoluta	537,8	50,9	62,8	100,7	112,3	100,9	113,4	51,8	11,2	20,0	50,4	85,8	89,1	129,8
Fecha	2003/04	09/02/2014	2010	2014	2013	2016	2004	2010	2005	2007	2010	2003	2012	2009
Mínima absoluta	155,4	0,0	1,4	1,2	6,0	11,8	1,0	0,8	0,0	0,0	0,2	22,2	5,0	5,0
Fecha	2004/05	-	2005	2002	2005	2005	2015	2012	Varios años	Varios años	2004	2002	2009	2015

Tabla 12.3. Valores de precipitación más relevantes registrados en la estación termo-pluviométrica CR08 Herencia (SIAR)

Tabla 12.4. Datos de ubicación, registro temporal y valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica nº 4069 Villafranca de los Caballeros (AEMET)

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
4069	Villafranca de los Caballeros	468846	4364108	643	1960/61	1999/2000

PRECIPITACIÓN (mm)		
	Precipitación anual	Fecha
Media	**342,3**	1960/61 - 1999/2000
Máxima absoluta	522,9	1996/97
Mínima absoluta	218,1	1967/68

Tabla 12.5. Valores de temperatura más relevantes registrados en la estación termo-pluviométrica CR08 Herencia (SIAR)

TEMPERATURA (°C)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**14,4**	**-**	**5,0**	**6,2**	**9,4**	**12,6**	**17,0**	**22,8**	**26,1**	**25,2**	**20,4**	**15,1**	**8,6**	**5,2**
Máxima media	21,5	-	10,8	12,6	16,1	19,5	24,4	30,9	34,5	33,6	28,0	21,9	14,6	11,0
Mínima media	7,3	-	-0,2	0,2	2,7	5,6	8,9	13,8	15,8	15,8	12,4	8,7	3,2	0,3
Máxima absoluta	-	42,6	20,4	40,3	26,6	30,1	39,2	40,7	41,4	42,6	39,3	32,2	26,1	19,6
Fecha	-	10/08/12	27/01/03	24/02/14	12/03/03	08/04/11	17/05/06	30/06/15	06/07/15	10/08/12	07/09/16	13/10/11	01/11/09	15/12/15
Mínima absoluta	-	-11,3	-10,4	-8,1	-8,0	-3,5	0,0	5,0	0,0	8,9	0,0	-2,2	-9,2	-11,3
Fecha	-	15/12/09	27/01/05	12/02/12	09/03/05	05/04/02	18/05/09	01/06/13	24/07/08	21/08/04	19/09/02	29/10/12	17/11/07	15/12/09

Los registros mensuales reflejan que en todos los meses se superan los 25 mm de lluvia, salvo en los de verano (junio, julio, agosto y septiembre), siendo el más húmedo el de abril y el más seco el de julio con valores de 50,8 mm y 2,8 mm, respectivamente.

Registros climáticos anteriores a los de la estación CR08 del SIAR se han obtenido de la estación meteorológica Villafranca de los Caballeros (nº 4069), de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que cuenta con un lapso temporal de 40 años desde 1960/61 a 1999/2000 (tabla 12.4). Su análisis comparativo concluye que la precipitación media anual en los últimos 15 años no ha sufrido cambios significativos, experimentando un ligero ascenso de 7 mm respecto a los 40 años precedentes.

Por su parte, la temperatura media anual es de 14,4 °C (tabla 12.5) y las medias de las máximas y mínimas diarias de 21,5 °C y 7,3 °C, respectivamente.

Valores ambientales

Valoración global

Se trata de una laguna de inundación fluvial con un hidroperiodo permanente, aunque fluctuante, y un régimen hidrológico epigénico de drenaje cerrado. En cualquier caso, la fluctuación del nivel de agua se ve reducida por la conexión con la laguna Chica, unida a su vez con el río Gigüela a través de un canal artificial (figura 12.3). En base a variables descriptivas de la contaminación y el estado trófico, la laguna presenta una calidad del agua moderadamente buena, con concentraciones de nutrientes y biomasa algal generalmente bajas. Por otro lado, la pesca mediante autorización fuera de los meses de baño y en determinadas áreas del humedal, las actividades recreativas y el turismo contribuyen al desarrollo económico local.

Biodiversidad: flora y fauna

La vegetación higrófila presente en la laguna es de carácter cosmopolita, compuesta en parte por pastizales salinos mediterráneos y la presencia adicional de carrizo *(Phragmites australis)* y juncos *(Scirpus maritimus)*, sobre todo en las zonas no sustituidas por vegetación más ornamental. Por el contario, la zona de estepa salina se encuentra más reducida debido a las presiones urbanísticas en el entorno lagunar. Los macrófitos sumergidos pueden tener cierta importancia en la productividad de la laguna durante de-



Figura 12.3. Canal que conecta de forma secuencial las lagunas Chica y Grande de Villafranca con el río Gigüela (C. Rochera)

terminados periodos del ciclo hidrológico (Camacho *et al.*, 2017), siendo posible observar praderas de *Chara* sp. y *Ruppia drepanensis*. Serrano (2015) describe la presencia de la especie de *Potamogeton pectinatus*, común en aguas con cierta salinidad.

Entre los invertebrados, y durante los trabajos desarrollados en el proyecto Ecolake, cabe destacar por su mayor abundancia las larvas de heterópteros de la familia *Corixidae*, así como dípteros de distintos grupos, particularmente quironómidos. Encontrándose también distintas especies de coleópteros adéfagos, particularmente *Calomera littoralis* (Rodríguez *et al.*, 2016).

La permanencia de sus aguas conlleva la presencia de peces en la laguna, promocionando la pesca recreativa. Cabe mencionar la presencia ocasional de la nutria *(Lutra lutra)*, facilitada por la conexión existente con el río Gigüela. Por su extensión y profundidad, la laguna acoge también profusas poblaciones de avifauna acuática buceadora, con promedios mensuales de entorno a los 3.000 individuos (años 2013-2014, proyecto Ecolake). Se trata sin embargo de una comunidad poco diversa, compuesta mayoritariamente de focha común *(Fulica atra)*, aunque también con la presencia en algunos periodos destacables de gaviota reidora *(Larus ridibundus)* y sombría *(Larus fuscus)*. Los censos durante el año 2016 dentro del proyecto LIFE "Humedales de La Mancha", confirman estas observaciones, pero con abundancias menores, unos 200 individuos de pato colorado *(Netta rufina)* y focha común, así como aproximadamente un centenar de gaviota sombría.

Biodiversidad microbiana y del plancton

Es poco lo que se conoce de las poblaciones bacterianas de la laguna, las cuales muestran en cualquier caso un patrón de diversidad similar a otras lagunas con una salinidad moderada (Camacho *et al.*, 2014). Formando parte de la comunidad del zooplancton se encuentran especies con interés biogeográfico, como el copépodo *(Arctodiaptomus salinus)* y el cladócero *(Diaphanosoma mongolianum)*, así como *Alona salina*, cladócero que constituye un endemismo ibérico.

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos más destacables de esta laguna son:

- Servicios de abastecimiento: acervo genético, pesca.
- Servicios de regulación: climática, hídrica y de ciclos biogeoquímicos.
- Servicios culturales: conocimiento científico, identidad cultural, disfrute estético, recreo, turismo, educación ambiental.

Estado ecológico e impactos

La laguna presenta por lo general un estado mesotrófico (*sensu* OCDE, 1982) con concentraciones de nutrientes relativamente bajas y concentraciones moderadas de clorofila planctónica (Camacho *et al.*, 2017). La perturbación antrópica más destacable deriva del uso recreativo del baño en sus aguas, que genera cierto deterioro de su estado ecológico. El dominio de cultivo de secano no alcanza el perímetro lagunar por el desarrollo urbanístico, la transformación



Figura 12.4. Pantalán habilitado para el desarrollo de actividades pesqueras recreativas (C. Rochera)

en playa de parte de su periferia, los equipamientos recreativos y de pesca (figura 12.4), así como la plantación de árboles ornamentales, dejando en segundo plano la vegetación litoral originaria. Aunque por otro lado, las figuras de protección que ostenta, velan por su conservación.

Hasta años recientes, alguna de las urbanizaciones colindantes a la laguna carecía de red de saneamiento y depuración integral de sus aguas, circunstancia solventada por un proyecto de protección ambiental de las aguas superficiales y freáticas dirigido desde la Confederación Hidrográfica del Guadiana (BOE, 2014), si bien, la utilización de esta laguna como balneario ha servido para preservarla de recibir una mayor cantidad de aguas residuales.

Valores históricos y culturales

Historia

La laguna y su entorno ha sido objeto de aprovechamiento y disfrute por el ser humano desde los primeros asentamientos íberos que ocuparon este territorio. En este sentido, se han hallado restos arqueológicos de los siglos VII y VI a. C. en el yacimiento de Palomar de Pintado y en la ribera del río Amarguillo, al sur del municipio de Villafranca de los Caballeros. Próxima a este asentamiento se encuentra la necrópolis ibérica, probablemente relacionada con la extracción y comercialización de sal. Los asentamientos estables se localizan en zonas elevadas, dejando los terrenos próximos a los humedales para el aprovechamiento agrícola, la caza, la pesca y los pastizales para el alimento del ganado (Ruíz *et al.*, 2004).

Caza y pesca

La caza y la pesca fueron ejercidas durante siglos, de forma esporádica, por los habitantes locales más humildes. No obstante, la cinegética fue practicada durante décadas, de forma perniciosa para este humedal, por miembros de la aristocracia venidos principalmente desde Madrid o Valencia, a los que se les organizaban las llamadas *"tiradas"* en las que llegaban a matar a cientos de anátidas.

Así, Settier (1956) cita en su obra que en una cacería realizada a finales de 1888 en las lagunas de Taray, Alcázar de San Juan y Villafranca de los Caballeros, Francisco Martí de Veses escribe al Marqués de Candelaria de Yarayabo explicándole que el guarda, enviado como primera medida a otear esta zona, le da los siguientes datos sobre el número de aves de este humedal: *"en las lagunas de Villafranca todo lo que cabe en la pequeña y más de 3.000 gallinetas"*, afirmando que, consecuencia de ello, se podían disparar más de 4.000 cartuchos. Los





Figura 12.5. Exposición y recuento de piezas de caza y pesca. Años 70 (Fondo documental web El Tío Cazuela)

guardas también organizaban el transporte en barca buscando la comodidad del cazador que solo tenía que preocuparse del uso de su escopeta (figura 12.5).

Esta situación se mantuvo hasta que en 1986 las cacerías comenzaron a sufrir una fuerte contestación social, principalmente por grupos ecologistas locales. Dos años después la caza quedó prohibida por Decreto 158/1988, que declara la zona Refugio de Caza.

Las primeras referencias de pesca datan del siglo XVIII, apuntando su rentabilidad económica. El Catastro del Marqués de la Ensenada de 1752, recoge el beneficio mercantil de las lagunas Grande y Chica al ser alquiladas anualmente de forma conjunta, a cambio de 400 reales.

El historiador Domingo Aguirre (1973) hizo una descripción histórica del Gran Priorato de la Orden de San Juan. El capítulo XI está dedicado a Villafranca de los Caballeros, donde describe, además de la situación de las tres lagunas del municipio, su abundante fauna. El porqué de la abundancia de peces y de su gran tamaño (figura 12.5), lo encontramos en las Descripciones del Cardenal Lorenzana, 1784 que, lo atribuye a la riqueza de esas aguas salobres y al cieno de la base lagunar.

La riqueza de estas lagunas en cuanto a la pesca dio trabajo a varias familias locales que poseían pequeñas embarcaciones y que subsistieron hasta finales del siglo XX. En la actualidad existe una veda de pesca en la laguna Grande (DOCM, 2017), excepto en tres puestos habilitados, estableciendo una limitación temporal en la zona de playa al sur de la laguna.

Aplicación terapéutica de agua y lodos

El agua de la laguna Grande de Villafranca, de fama nacional en tiempos pasados, ha sido empleada durante siglos como agua medicinal a la que se le han atribuido propiedades terapéuticas para varios tipos de padecimientos: dolores artríticos, enfermedades de la piel e incluso venéreas, recogido en las Descripciones del Cardenal Lorenzana (Porres *et al.*, 1986). El periodo de disfrute preferentemente era estival.

El efecto terapéutico de la aplicación mediante baños radica en la interacción entre el agua mineral y la superficie de la piel. Los dos factores que intervienen para producir la curación son: la temperatura del agua y sus sales (Lagarto y Bernal, 2002). En este sentido, los efectos beneficiosos con los que cuentan las aguas de la laguna Grande de Villafranca los atribuye Madoz (1846) a su carácter salino, equiparándola al agua del mar.

La aplicación del agua salobre a una temperatura determinada, durante varias sesiones según la afección, ha sido una práctica terapéutica ejercida durante siglos en este entorno, y a mediados del siglo XX tuvo gran auge, llegando a existir hasta cinco casas de baños en la zona: Casa Antonio, Casa Paula, Balneario las Manolas, Balneario las Banderas y Balneario Las Palmeras. Actualmente, 2016, es este último el que mantiene sus puertas abiertas y en el que se sigue recomendando los baños termales para aliviar, entre otras, afecciones reumáticas, articulares, catarrales y de las vías respiratorias.

Además del agua, han tenido también aplicación terapéutica sus lodos. En este humedal es frecuente ver a algunos bañistas practicar baños de barro en busca de sus beneficios estéticos y curativos. La técnica es sencilla y se práctica en el mismo vaso lagunar y en sus orillas: los bañistas se embadurnan todo el cuerpo con el lodo del fondo de la laguna; una vez que el cuerpo completo, o una parte del mismo, es cubierto por el barro, se expone a los rayos del sol, dejándolo secar sobre la piel para que, a través de ésta, tome sus nutrientes. Una vez seco, el lodo es retirado con un baño en la laguna.

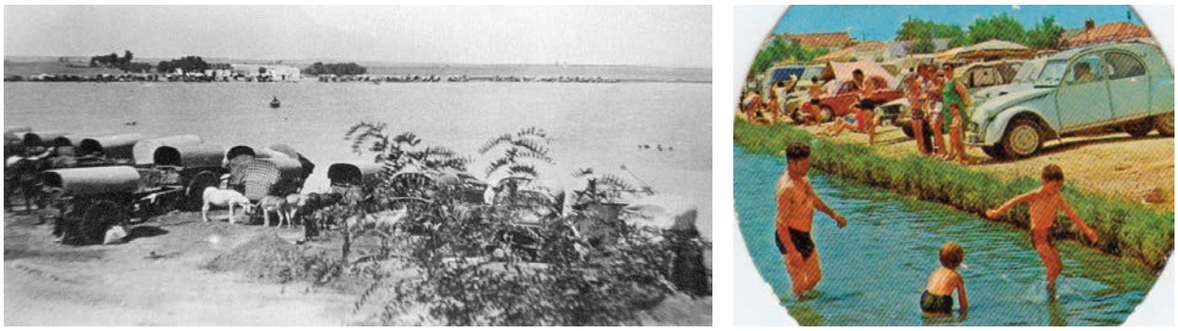


Figura 12.6. Izquierda: carros de mulas de los años 40 (Fondo documental del ayuntamiento de Villafranca de los Caballeros). Derecha: automóviles de los años 70 (Fondo documental web El Tío Cazuela)

Uso recreativo de baño

Son muchos los testimonios gráficos de cómo, a principios de siglo XX, los vecinos llegaban con sus carros de mulas a pasar días de ocio en las orillas de la laguna Grande (figura 12.6). Las familias dejaban las viandas y diversos útiles domésticos a la sombra y seguridad de sus carros, para disfrutar del baño estival de manera despreocupada. Años más tarde, los carros fueron sustituidos por automóviles que también eran aparcados en los márgenes de la laguna (figura 12.6). Se fue generando un entorno similar al de una playa (figura 12.7), proliferando las casas de baños y quioscos.

Según testimonio de la nieta de Hipólita Nieto García (figura 12.8), a finales de los años 70 del siglo pasado el baño en la laguna Grande de Villafranca se practicaba en sus lados sur y oeste, aunque no toda esa zona era playa, ya que en algunos puntos de la laguna, los juncos, los carrizales y los espadañales, formaban un muro que impedía el acceso al agua. Las pisadas de los bañistas provocaban la mezcla del agua de la laguna con el lodo del fondo, de manera que el color se enturbiaba en las horas de máxima afluencia de público, predominando los tonos marrones con un toque de color café grisáceo, especialmente en la parte más próxima a la orilla.



Figura 12.7. Ambiente de playa en los años 70 (Fondo documental del ayuntamiento de Villafranca de los Caballeros)

Quienes vivieron aquella experiencia nunca podrán olvidar el sabor salobre de su agua, el particular olor a lodo y la temperatura del baño que, sobre los veinte grados, era agradable y refrescante a la vez. Estas vivencias en el humedal, en aquella década, estaban envueltas por los sonidos del verano: el rumor de las hojas de los tarayes movidas por la cálida brisa y el eco de la algarabía de los niños jugando en la orilla y las voces de los bañistas.

Según el ayuntamiento de Villafranca de los Caballeros (2010), el baño ha generado, además del disfrute para los bañistas visitantes y locales, rentabilidad al Consistorio que sacaba a subasta pública tanto el aprovechamiento turístico de las lagunas, como el de las tierras de labor próximas, que arrendaba a los labradores por periodos de 10 años.

En cuanto al baño, se cobraba entrada a los bañistas que no eran de la localidad, y desde 1951 hasta 1970, además, se alquilaban los paseos en una barca a la que bautizaron con el nombre de *"Barca Sonrisa"* (figura 12.9). Tal era la afluencia de público que proliferaron pequeñas casetas para la venta de bebidas que hoy día han evolucionado a restaurantes.

En la actualidad, aunque menos visitada que en décadas anteriores, la laguna Grande de Villafranca sigue siendo un referente de baño para los manchegos. Los meses de verano y fines de semana son los que concentran más afluencia de público, promovidos en parte por el acondicionamiento de la zona de la que es responsable el ayuntamiento, con la construcción de duchas públicas, aparcamientos, juegos infantiles, centro de primeros auxilios y merendero, así como un albergue juvenil y una zona de acampada. La laguna cuenta con embarcaciones recreativas sin motor.



Figura 12.8. Hipólita Nieto García, con su hijo Jesús Albacete y sus nietos: Luis, Alberto y Lourdes, a la que enseñó a conocer y amar La Mancha. Septiembre 1968 (Fondo de imágenes de la familia Albacete)

Otros aprovechamientos

Otras actividades económicas en el entorno de las lagunas de Villafranca era la extracción de arcilla para la fabricación de cerámicas y tejas y la comercialización a gran escala de piedras de afilar. Por otro lado, el carrizo que crecía en sus orillas era empleado por los tejeros del municipio como combustible para las tejeras y la cocción de ladrillos.



Figura 12.9. Veraneantes y bañistas en la Barca Sonrisa, verano de 1958 (Fondo documental web El Tío Cazuela)



Figura 12.10. Las lagunas de Villafranca reciben, como derecho histórico, aguas del río Gigüela, años 40 (Fondo documental web El Tío Cazuela)

Derechos históricos de la aportación del agua

Pese a que la estacionalidad es una de las principales características de los humedales manchegos del alto Guadiana, la laguna Grande de Villafranca suele tener agua de forma permanente debido al aporte de aguas que recibe a través de una acequia del río Gigüela (figura 12.10), aunque pueden secarse excepcionalmente cuando se produce una sucesión de años secos y no tienen lugar estas cesiones.

Esta aportación de aguas del río es un derecho histórico que se reconoce desde el siglo XVI, siglo en el que una sentencia de la Real Cancillería de Granada (ARCHGR, 1554), referente a un pleito entre el Concejo de Villafranca y los propietarios de los molinos harineros, recoge documentalmente el derecho histórico de recibir aguas del río Gigüela a este humedal.

El Cardenal Lorenzana aporta un dato más revelando que, en el siglo XVIII, pese a establecerse la duración de la toma, aún no se había establecido ninguna limitación a la cantidad de caudal.

Figura 12.11. Atardecer en la Reserva de la Biosfera de las lagunas de Villafranca de los Caballeros, verano de 2012 (Fondo documental web El Tío Cazuela)



Según información publicada por el Consistorio (2010), cuatro siglos más tarde, en 1972, se formalizó el caudal de la concesión de la toma de aguas del río Gigüela en 42 l/s, con destino a un criadero de peces, tras un requerimiento a la Comisaría de Aguas del Guadiana por el alcalde del ayuntamiento de Villafranca de los Caballeros, D. Pedro Fernández Catalán. Esta cantidad se estableció en base a: un caudal permanente del río, a una precipitación media anual de 380 mm, a una superficie lagunar de unas 140 ha y a un descenso anual de la lámina de agua de unos 90 cm. La concesión fue aprobada el 9 de junio de 1979 por la Comisaría Central de Aguas (expediente 6888) que transfiere a favor del ayuntamiento de Villafranca de los Caballeros, en base a estos datos, el derecho para derivar del río Gigüela un caudal de 42 l/s.

Movimientos vecinales a favor del humedal

El derecho histórico del agua de las lagunas de Villafranca de los Caballeros se ha visto limitado en varias ocasiones, lo que ha puesto en peligro que el humedal recibiera todo el agua que necesitaba. Esta situación ha dado lugar a movimientos de los villafranqueros en pro de la conservación de este humedal (figura 12.11).

El primer movimiento vecinal del que se tiene noticia fue el originado por la construcción de la presa, en beneficio del molino que llamaban de Miguel Esteban, que impedía que las lagunas recibieran el agua que necesitaban. Los vecinos, alcalde y regidores rompieron la presa del molino lo que originó un pleito que terminó con la sentencia de la Real Cancillería de Granada, que acuerda abrir la presa durante dos días para que la laguna reciba agua.

La derivación de agua a través del trasvase Tajo-Segura, como medida paliativa para mantener la superficie encharcada de Las Tablas de Daimiel en años de especial aridez, acordada por el Ministerio de Obras Públicas el 14 de octubre de 1985, dio lugar a diversas alteraciones del cauce del río Gigüela, provocando diversos conflictos sociales.

Los más reseñables sucedieron en 1994, cuando la Dirección General de Obras Hidráulicas ordena la derivación de 10 hm^3, con destino al Parque Nacional de la Tablas de Daimiel, utilizando el cauce del río Gigüela, y una de las medidas cautelares que se adoptaron para garantizar este aprovechamiento fue el taponamiento de la entrada del río a las lagunas de Villafranca de los Caballeros. Ante esta actuación se crea una Plataforma en Defensa de las lagunas de Villafranca. Pese a ello, la Confederación Hidrográfica del Guadiana cerró de nuevo el canal dejando pasar el agua por una pequeña

compuerta controlada. En el otoño de 1995, debido al inicio de la secuencia climatológica húmeda 1995/98, el humedal comenzó a recuperarse.

Los villafranqueros también levantaron su voz ante los trazados ferroviarios que suponían una barrera antinatural entre la localidad y sus lagunas. Así, en 1996, el pueblo se une bajo la "Plataforma Villafranca sin Fronteras" para oponerse a los trazados ferroviarios B2, B3 y B4, propuestos por el Ministerio de Fomento, para unir la capital con Alcázar de San Juan. Fueron numerosos los actos reivindicativos en 2007, llegando a recoger más de 2.000 firmas. Los villafranqueros se unieron en una cadena humana desde el pueblo a sus lagunas. Esta presión hizo que el Ministerio de Fomento publicara la alternativa del trazado B5, aprovechando el trazado de la autovía de los Viñedos.

Espacio de educación ambiental

Aunque el uso de la laguna Grande está relacionado con actividades de tipo turístico y recreativo, este humedal se ha convertido en los últimos años en un espacio de formación que cuenta con un Centro de Información Ambiental, denominado "Las Lagunas", creado por la Diputación de Toledo en colaboración con la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y gestionado por el ayuntamiento de Villafranca de los Caballeros. El centro tiene como objetivo divulgar y promover la educación ambiental en el municipio y en la provincia de Toledo a través de encuentros con centros escolares, seminarios y jornadas de especialistas medioambientales y educadores.

En la laguna se han adoptado diversas medidas para su conservación como el muro bajo que rodea el sur y oeste lagunar y la separa de la vía asfaltada que la bordea, y de



Figura 12.12. Baño invernal en la laguna Grande de Villafranca, enero 2016 (Fondo documental web El Tío Cazuela)

la zona de restaurantes, balneario, viviendas, instalaciones hoteleras y miradores de fauna. El entorno se ha modificado y en las zonas de uso público se han vertido arena que ha cubierto la tierra natural de sus orillas, lo que además de impedir el crecimiento de las plantas autóctonas, provoca la colmatación del vaso lagunar.

No obstante, en este humedal, en pleno siglo XXI, sigue siendo un lugar de baño y práctica de actividades deportivas y de ocio, que a la vez son su principal reclamo turístico. A nivel institucional, la web de turismo de Castilla-La Mancha, promociona el uso recreativo del humedal y el poder medicinal de sus aguas con la siguiente frase: *"la laguna Grande es el lugar perfecto para darse un baño y disfrutar de sus aguas medicinales"*.

Asimismo, desde hace varios años, la laguna es escenario de un baño invernal popular, donde dan la bienvenida al año nuevo el primer domingo del mismo (figura 12.12).

Además se practican otras actividades como la Carrera Popular, que cuenta con veinte ediciones, trail o windsurf (figura 12.13), que promocionan igualmente el humedal.





Figura 12.13. Izquierda: corredoras en la XX edición de la Carrera Popular en agosto de 2016 (Fondo documental web El Tío Cazuela). Derecha: windsurf en febrero de 2010 (Fondo documental del ayuntamiento de Villafranca de los Caballeros)

Contexto socioeconómico

Con una superficie de 106,59 km² el término municipal de Villafranca de los Caballeros cuenta con una población de 5.259 habitantes (INE, 2014), lo que supone una densidad de 49,34 hab/km² (figura 12.14).

Entre sus habitantes, el nivel de estudios (tabla 12.6) que prevalece es el de segundo grado (35,0%) al que le siguen los que carecen de estudios y los que poseen el primer grado (27,5% y 25,1% respectivamente). Los analfabetos constituyen el grupo minoritario con un 5,3%, dejando el 7,1% restante para los habitantes que han alcanzado el tercer grado en sus estudios.

Tabla 12.6. Nivel de estudios (Censo de Población y Vivienda 2011. INE)

NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	%
Analfabetos	213	*5,3*
Sin estudios	1.112	*27,5*
1er Grado	1.013	*25,1*
2º Grado	1.411	*35,0*
3er Grado	287	*7,1*
TOTAL	**4.036**	***100***

La actividad económica tiene su principal pilar en el sector servicios, con un 70,3% de empresas, le sigue casi en paralelo la agricultura y la construcción, con un 10,9% y 10,2% respectivamente, y por último la industria con un 8,6% (tabla 12.7). Por consiguiente, los trabajadores afiliados al sector servicios son los más numerosos (64,1%), seguidos de los de la construcción (14,7%) y los de la agricultura (13,0 %). Los del sector industrial son los minoritarios con un 8,2%.

Tabla 12.7. Empresas y afiliación en Villafranca de los Caballeros (Tesorería General de la Seguridad Social 2014)

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	98	*13,0*	14	*10,9*
Industria	62	*8,2*	11	*8,6*
Construcción	111	*14,7*	13	*10,2*
Servicios	483	*64,1*	90	*70,3*
TOTAL	**754**	***100***	**128**	***100***



Figura 12.14. Pirámide (izquierda) y Grupos de población de Villafranca de los Caballeros (derecha) (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha 2014. Padrón Municipal de Habitantes a 1 de enero 2014. Instituto Nacional de Estadística, INE)

La evolución ocupacional (tabla 12.8) entre 2009 y 2013 experimenta un incremento progresivo en el número de parados, reduciéndose en el año 2014.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº de parados	545	617	673	782	802	752

Tabla 12.8. Desempleados (Paro municipal registrado. SPEE)

En cuanto al territorio (tabla 12.9), la gran mayoría del término municipal está ocupado por cultivos (92,2%), predominando los herbáceos (63,0%), seguido de los viñedos y olivares (19,6% y 15,1%), siendo minoritaria la presencia de frutales (2,3%).

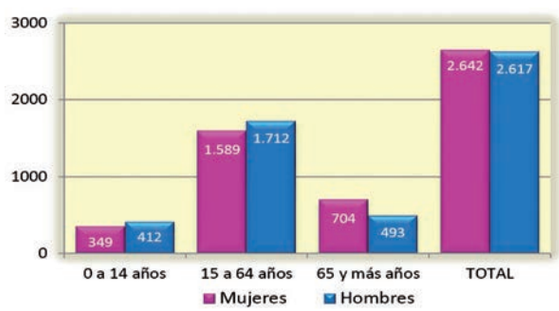
EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	8.346	5.257	*92,2*	*63,0*
	Frutales		192		*2,3*
	Olivares		1.262		*15,1*
	Viñedos		1.635		*19,6*
Pastos		428		*4,8*	
Otras		275		*3,0*	
TOTAL		**9.049**		***100***	

Tabla 12.9. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2009, INE)

La cabaña ganadera está constituida fundamentalmente por la tipología porcina (82,8%) y en la ovina (13,0%), dejando el 4,2% restante para los caprinos, aves, bovinos y equinos en orden decreciente (tabla 12.10).

CABEZAS DE GANADO		
	Nº de cabezas	%
Bovinos	50	*0,6*
Ovinos	1.050	*13,0*
Caprinos	220	*2,7*
Porcinos	6.701	*82,8*
Aves	54	*0,7*
Equinos	17	*0,2*
TOTAL	**8.092**	***100***

Tabla 12.10. Cabezas de ganado (Censo Agrario 2009, INE)



Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna Grande de Villafranca, con una extensión de 312,5 ha, se enmarca dentro de la cuenca alta del río Guadiana. Se encuentra al sur del arroyo de la cañada del Torrejón, al oeste del río Gigüela y al norte del Amarguillo. Desde un punto de vista administrativo se encuentra en su totalidad dentro del término municipal de Villafranca de los Caballeros (Toledo). La relación entre la superficie del área que vierte sus aguas hacia el humedal y la planta del vaso lagunar es de apenas 5 veces (figura 12.15).

Su área vertiente presenta una morfología alargada, con dirección noreste-suroeste, con la laguna Chica localizada al norte. La parte más amplia es su zona central, cuya anchura se reduce progresivamente hacia los extremos septentrional y meridional, estrechamiento más acusado en el primero.

El relieve de la cuenca es muy suave, con 13,5 m de diferencia entre las cotas más elevadas (658,9 m s.n.m.) y el fondo de la cubeta del humedal (645,4 m s.n.m.), siendo la altitud media de 649,1 m s.n.m. y la pendiente media del 3,0%. En consecuencia, la mayor parte de sus límites son de difícil definición, especialmente en los extremos norte y sur, donde no existen divisorias hidrológicas fácilmente reconocibles.

En cuanto a la red hidrográfica no se distingue ningún curso superficial reseñable. La red de drenaje está formada por vaguadas, escasamente marcadas sobre el terreno, que recogen el agua de la lluvia, principalmente la que precipita sobre los escasos relieves de los flancos oriental y occidental. No obstante, el régimen hidrológico de la laguna se encuentra alterado debido a su comunicación con el río Gigüela, que discurre a 1,6 km al norte de las lagunas, y continúa su recorrido pasando a 2,3 km al oeste de la laguna Grande.

Geología

Los materiales geológicos más antiguos que afloran en la superficie de la cuenca vertiente de la laguna Grande de Villafranca pertenecen al Triásico inferior y, por orden cronológico, al Mioceno superior y al Cuaternario. Estos últimos, junto con los primeros, ocupan cerca del 80% de la superficie total de la cuenca (figura 12.16).

En cuanto a su comportamiento hidrogeológico, predominan los afloramientos de materiales con permeabilidad baja (Tipología C: 80%), entre los que se encuentran las formaciones triásicas en facies Buntsandstein compuestas por arcillas, arenas, margas y conglomerados, así como los sedimentos detríticos de limos y arenas del Cuaternario. En menor proporción aparecen materiales considerados como impermeables (Tipología D: 15%), atribuidos en este caso a las margas blancas del Mioceno superior. Por último, de forma

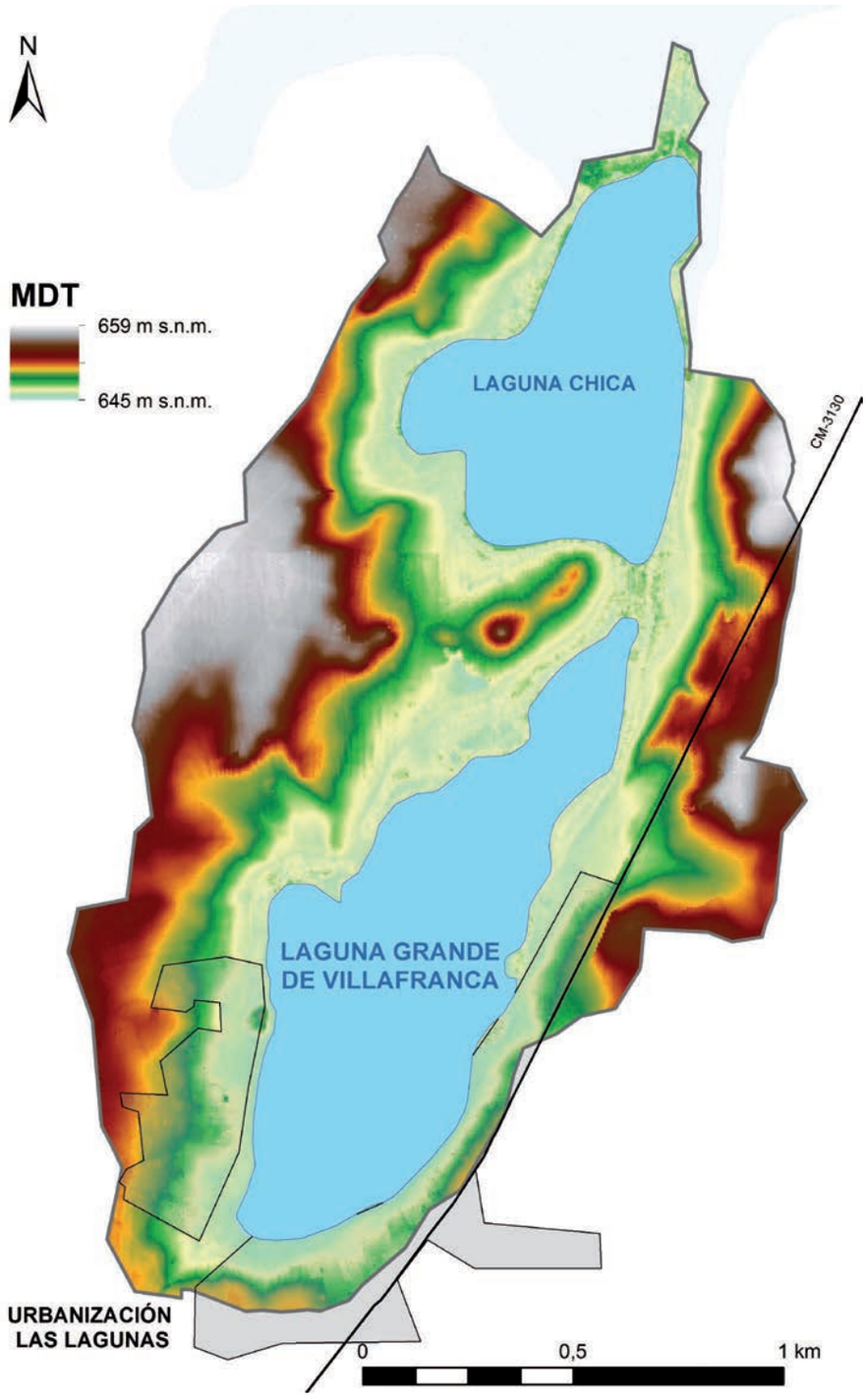


Figura 12.15. Cuenca hidrológica de la laguna Grande de Villafranca

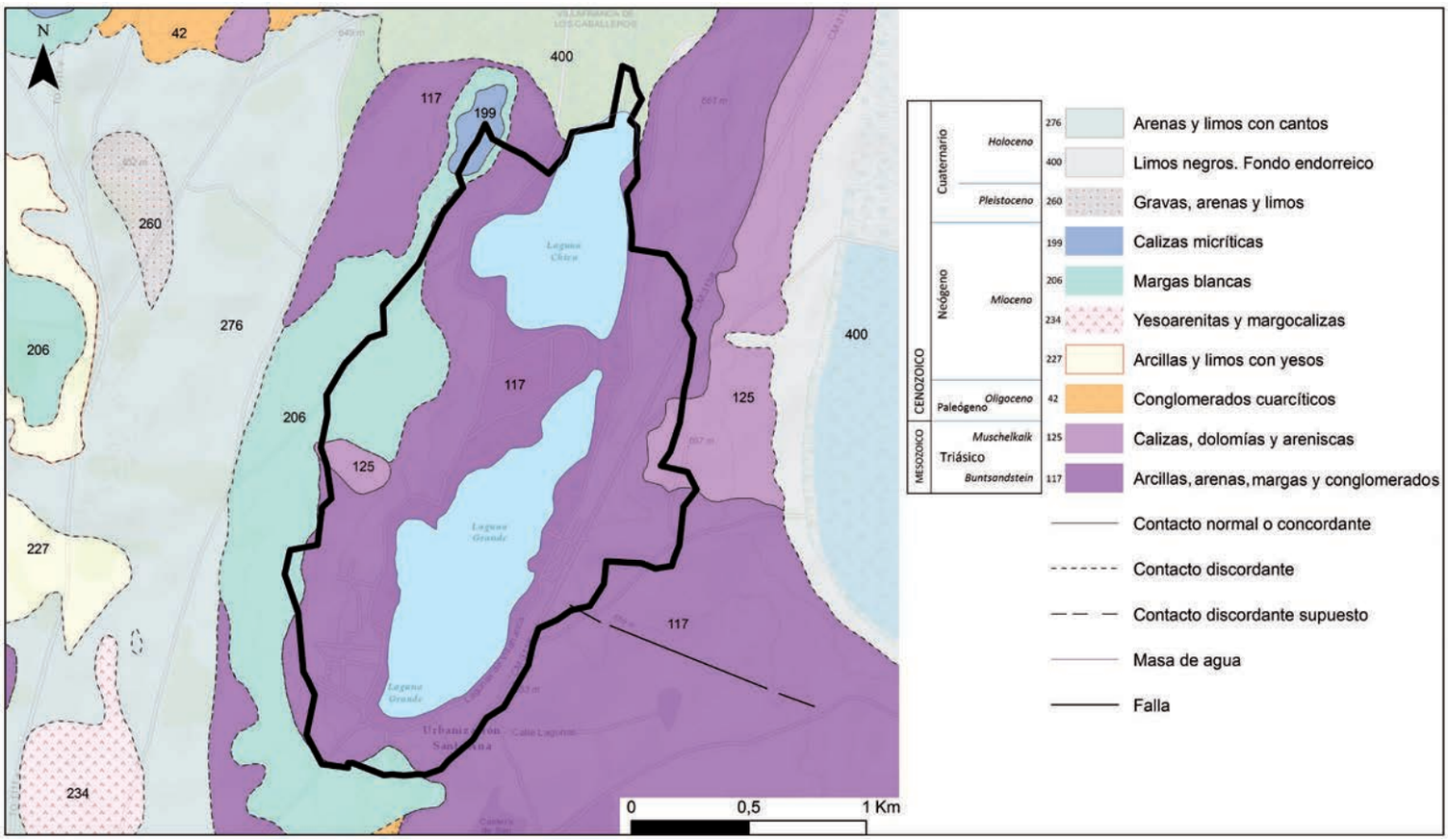


Figura 12.16. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna Grande de Villafranca (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

minoritaria y con carácter claramente permeable (Tipología A: 5%), afloran las calizas y dolomías del Triásico Muschelkalk (tabla 12.11).

Según lo expuesto, los materiales del entorno más inmediato a la laguna, y que definen los flancos oriental, septentrional y suroccidental de la cuenca, configuran una sucesión de capas que se extienden ampliamente en profundidad y determinan el substrato geológico de su cubeta. Se trata de sedimentos pertenecientes a la facies Buntsandstein del Triásico depositados en un medio sedimentario de llanura de marea con canales fluviales. Su litología es de arcillas rojizas, en ocasiones verdosas, con intercalaciones margosas, bancos conglomeráticos y de areniscas con bases suavemente canalizadas. Superpuestos a la formación anterior, y de forma concordante, se disponen unos 20 m de calizas y dolomías triásicas de la facies Muschelkalk. Proporcionan escarpes y superficies estructurales de pendiente suave que sobresalen de la imperante planicie de la zona. Estos niveles quedan relegados a pequeños afloramientos del borde centro este y oeste.

En orden cronológico, y a partir del flanco occidental de la cuenca, aparece superpuesta de forma dis-

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS

FORMACIÓN GEOLÓGICA	Edad	Tipología	%
Calizas y dolomías	Triásico (Muschelkalk)	A	5
Calizas micríticas	Mioceno superior	A	
Arcillas, conglomerados, areniscas y margas	Triásico (Buntsandstein)	C	80
Limos y arenas	Cuaternario	C	
Margas blancas	Mioceno superior	D	15

Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)

Tabla 12.11. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de laguna Grande de Villafranca

cordante sobre los niveles triásicos la unidad del Mioceno superior, con un espesor variable entre 15 y 50 m, constituida por una alternancia de margocalizas y margas de un color blanco característico. De forma puntual y concordantes con las margas anteriores, en el extremo noroeste de la cuenca y al oeste de la laguna Chica afloran unas calizas micríticas permeables con una potencia inferior a los 10 m, conocidas como Calizas del Páramo, que fueron depositadas en un medio lacustre.

Por último, el fondo del vaso de la laguna lo constituyen escasos metros de sedimentos integrados esencialmente por limos negros, pudiéndose encontrar en las zonas periféricas cantos y arenas, salvo en sus zonas meridional y occidental que han sido modificadas para su aprovechamiento turístico.

Hidrogeología

La laguna Grande de Villafranca, como se ha comentado en el apartado de geología, se dispone en su totalidad sobre la formación geológica de las arcillas con niveles de conglomerados, areniscas y margas pertenecientes al Triásico en facies Buntsandstein (Tb). En conjunto, se comportan como una formación impermeable de gran espesor (180 m), ya que los horizontes de areniscas y conglomerados, con cierta permeabilidad por porosidad intergranular, no adquieren especial desarrollo ni continuidad, quedando englobados en las arcillas y margas, que son los sedimentos predominantes, por lo que tienen escasas posibilidades de conectar con la superficie (figura 12.17).

Sobre la formación anterior aparecen los materiales en facies Muschelkalk del Triásico (Tm), compuestos por dolomías, calizas, areniscas y limos. Afloran al este del humedal coronando una pequeña colina según una disposición subtabular ligeramente basculada también hacia el este. Esta formación presenta permeabilidad por fracturación y porosidad intergranular, pero carecen de relación con la laguna al encontrarse su base topográficamente por encima de ella.

Hacia el oeste las calizas lacustres del Mioceno superior, con estratificación horizontal y escasos

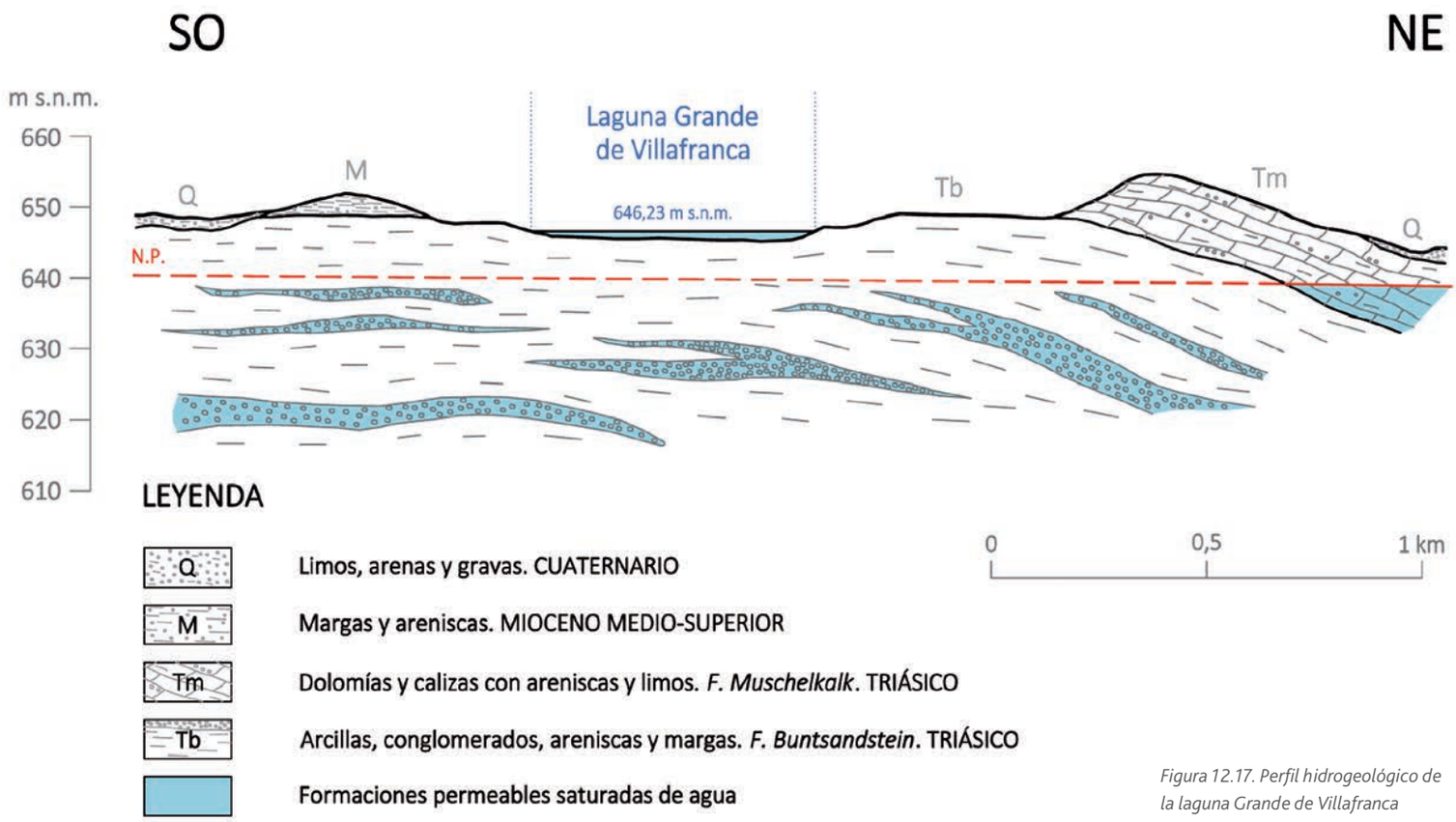


Figura 12.17. Perfil hidrogeológico de la laguna Grande de Villafranca

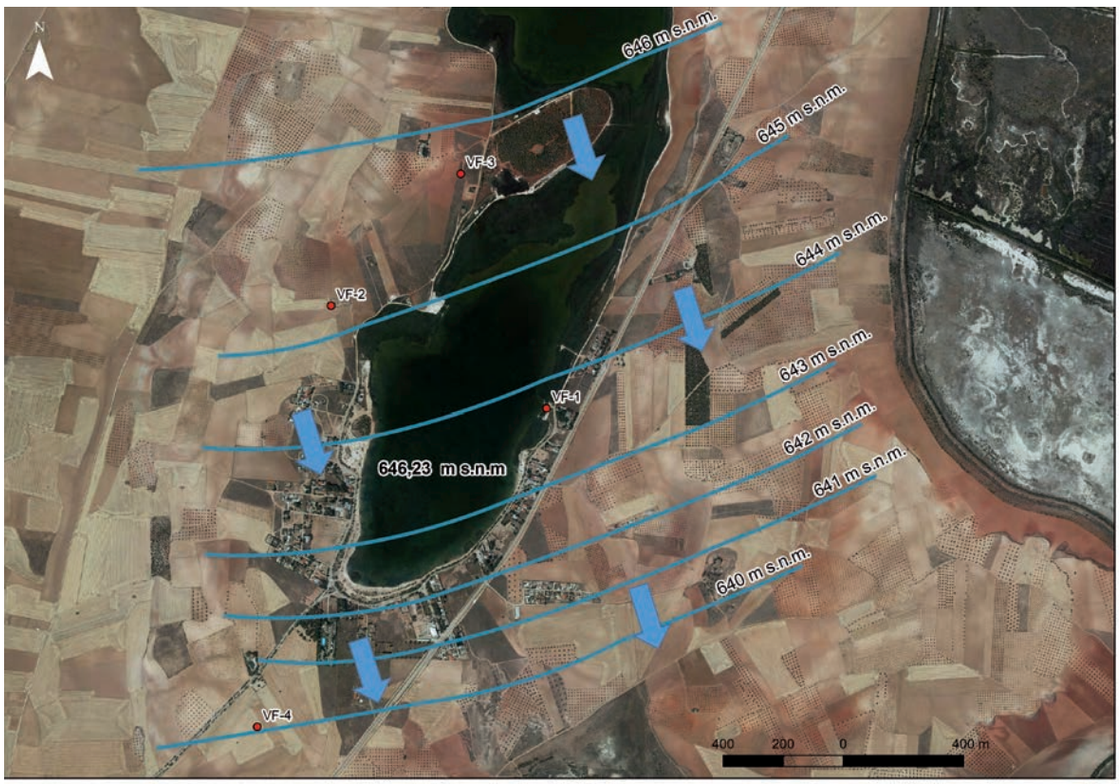


Figura 12.18. Mapa piezométrico (m s.n.m.) y sentido del flujo subterráneo (IGN)

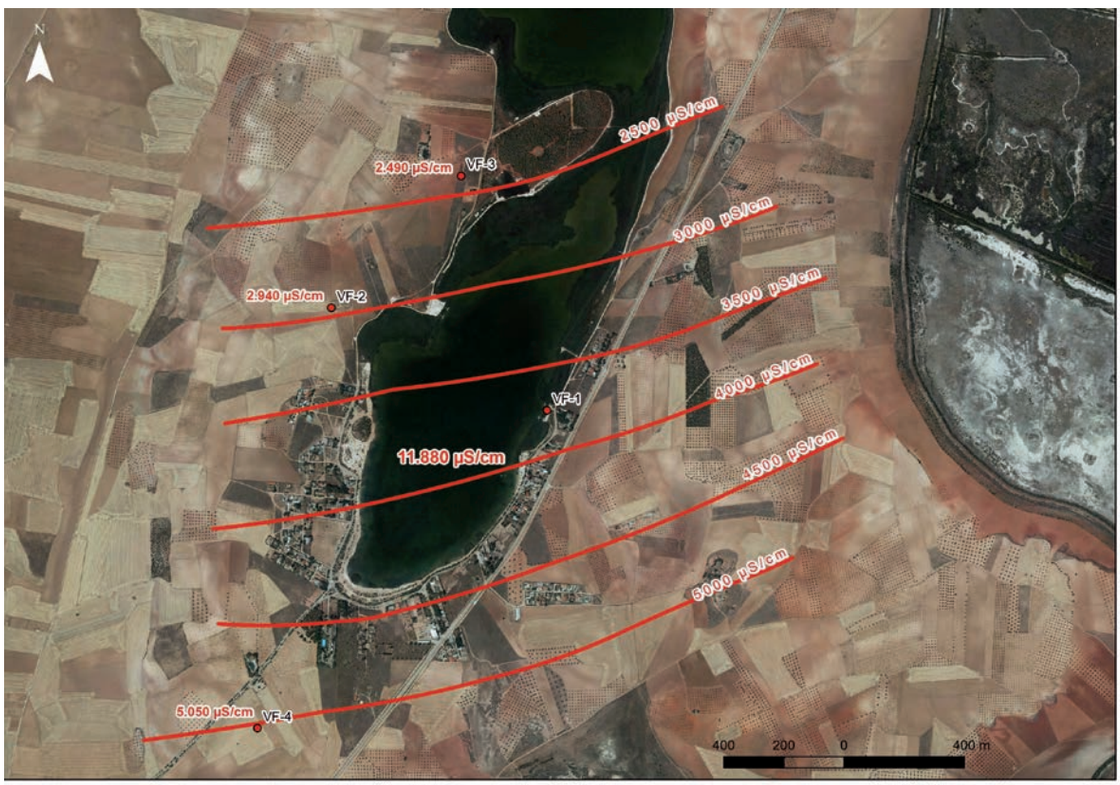


Figura 12.19. Mapa de isoconductividades eléctricas (µS/cm) de las aguas subterráneas (IGN)

metros de espesor, se superponen a las areniscas y margas del Mioceno medio-superior, depositadas a su vez mediante discordancia erosiva sobre las arcillas de la facies Buntsandstein. La base de estos horizontes carbonáticos, con permeabilidad media, se localiza por encima de la laguna, al igual que sucede con el Muschelkalk, por lo que carecen de significado hidrogeológico.

En conjunto, estas formaciones configuran una estructura anticlinal muy suave con un eje de dirección norte-sur centrado en el humedal en cuyo núcleo se encuentran los sedimentos de la facies del Buntsandstein. En consecuencia, la laguna carece de cualquier relación con las aguas subterráneas.

No obstante, en los alrededores del humedal existen algunos pozos y sondeos con pequeños rendimientos que captan los horizontes de areniscas y conglomerados intercalados en la secuencia sedimentaria del Buntsandstein. El flujo subterráneo presenta un sentido general hacia el sur con un gradiente muy pequeño y una piezometría muy próxima a la superficie, sometida a un cierto grado de confinamiento (figura 12.18). La calidad de estas aguas es deficiente, con valores crecientes hacia el sur entre los 2.500 y 5.100 µS/cm (figura 12.19), que en épocas de baja pluviosidad llegan a alcanzar los 7.400 µS/cm. En cuanto al agua de la laguna, su calidad puede variar según reciba o no aportes desde el río Gigüela. En condiciones habituales la CE medida es del orden de unos 12.000 µS/cm.

Hidroquímica

La conductividad eléctrica (CE) del agua de la laguna Grande de Villafranca, según los análisis realizados en el proyecto Ecolake, presenta un valor de 11.880 µS/cm, superior al de las aguas subterráneas, con valores máximos de 5.050 µS/cm. Por su parte, el pH medido en la laguna es de 8,66, ligeramente superior al de los pozos cercanos, con un pH medio de 7,94.

Los aniones mayoritarios son los cloruros y los sulfatos. En las aguas subterráneas los primeros arrojan valores entre 57 y 717 mg/L y los segundos entre 851 y 1.688 mg/L, mientras que en la laguna se obtienen valores de 1.341 mg/L para los cloruros y de 5.668 mg/L para los sulfatos.

Los cationes sodio, magnesio y potasio aportan valores similares a los aniones, o sea, en cantidades más elevadas en la laguna que las registradas en las aguas subterráneas. Hay que hacer mención especial al calcio, que aparece en proporciones similares en las muestras de 2014 y mucho más elevadas en las del 2016.

Por lo tanto, la facies hidroquímica en la laguna es sulfatada magnésica (figura 12.20), al igual que en las aguas subterráneas en 2014, pasando estas últimas a sulfatada-clorurada cálcica en 2016 (figura 12.21).

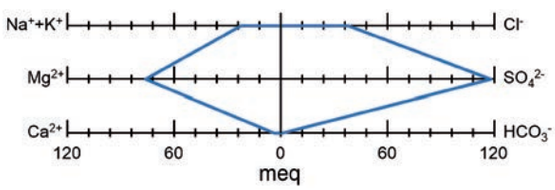


Figura 12.20. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna Grande de Villafranca. Fecha de análisis 26/11/2014

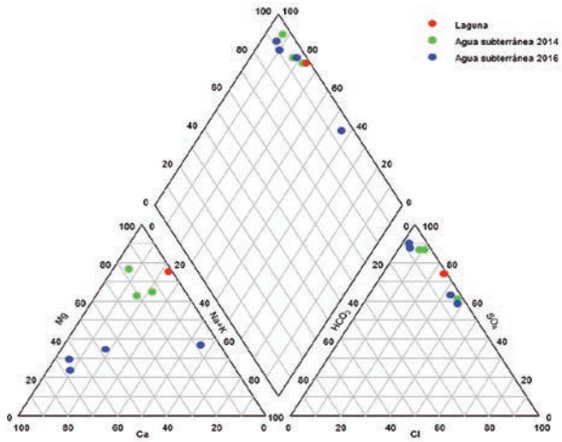


Figura 12.21. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de las muestras de la laguna Grande de Villafranca y de los pozos aledaños

En la tabla 12.12 se compara la calidad del agua de la laguna con los valores recogidos en la normativa que regula la calidad para aguas de consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero), por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad de dicha agua.

La CE del agua de la laguna para el periodo febrero de 2013 a diciembre de 2014 (figura 12.22) registra valores medios del orden de 10.000 µS/cm y no presenta oscilaciones importantes. Así, los valores máximos rondan los 13.800 y 12.900 µS/cm en julio de 2013 y septiembre de 2014, mientras que los mínimos, con 7.400 y 7.200 µS/cm, se registran en mayo de 2013 y al final de la serie, diciembre de 2014, respectivamente.

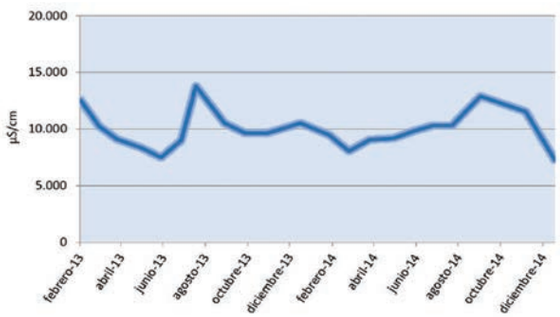


Figura 12.22. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna Grande de Villafranca entre febrero de 2013 y diciembre de 2014

	Fecha de análisis			26/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA	
				Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	9,7	10
	Boro	B	mg/L	0,325	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	1.341	250
	Conductividad	CE	µS/cm	11.880	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	36,5	50
	pH	-	Ud de pH	8,66	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	476	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	5.668	250

Tabla 12.12. Comparativa de la composición del agua de la laguna con los parámetros para consumo humano

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

Desde el punto de vista de su funcionamiento hidrológico, la laguna Grande de Villafranca pertenece a la tipología de ecosistemas en los que sus condiciones iniciales han sido modificadas por la acción humana. Esto es así porque el humedal recibe de forma ocasional, y a través de la cercana laguna Chica, aportes de agua procedentes del río Gigüela, con cuyo cauce el complejo lagunar se encuentra conectado mediante la acequia del Caz de las Lagunas.

En régimen natural el funcionamiento hidrológico de este ecosistema venía determinado por las características climáticas de la zona y por la morfología y la estructura geológica-hidrogeológica de su cuenca vertiente, factores que dieron lugar a una zona húmeda salina somera y de carácter temporal, cuyo vaso debía quedar seco durante los estiajes. Sin embargo, la situación cambió sustancialmente con la construcción de la mencionada acequia, que permitió el aporte de aguas desde el río Gigüela y la transformación del humedal en un ecosistema inundado de forma permanente.

Por otra parte, la laguna carece de surgencias o manantiales en su cubeta, o de drenaje difuso hacia ella, debido a que se dispone sobre la formación impermeable de las arcillas y margas del Trías Buntsandstein, la cual impide cualquier relación entre las aguas subterráneas y las aguas superficiales.

Producto del esquema tecto-sedimentario existente, la alimentación de este sistema hidrológico se debe a la precipitación directa caída sobre la cubeta, a la escorrentía superficial de su cuenca vertiente y a los aportes del río Gigüela. Coherente con el modelo referido, su drenaje tiene lugar de forma exclusiva por la evaporación del agua acumulada en su vaso.

Balance hídrico

La determinación del balance hídrico de esta laguna presenta una complejidad añadida al recibir ocasionalmente los aportes de aguas canalizados desde el río Gigüela, motivo por el cual la calibración del modelo de simulación ha revestido cierta dificultad. Por otra parte, es necesario comentar que, debido a su situación dentro de la cuenca vertiente de la laguna Grande, la laguna Chica se ha incluido a todos los efectos en el balance hídrico elaborado, siendo consideradas a ambas como un solo complejo lagunar.

Como en el resto de los ecosistemas estudiados, para la obtención de su balance hídrico se ha utilizado la metodología

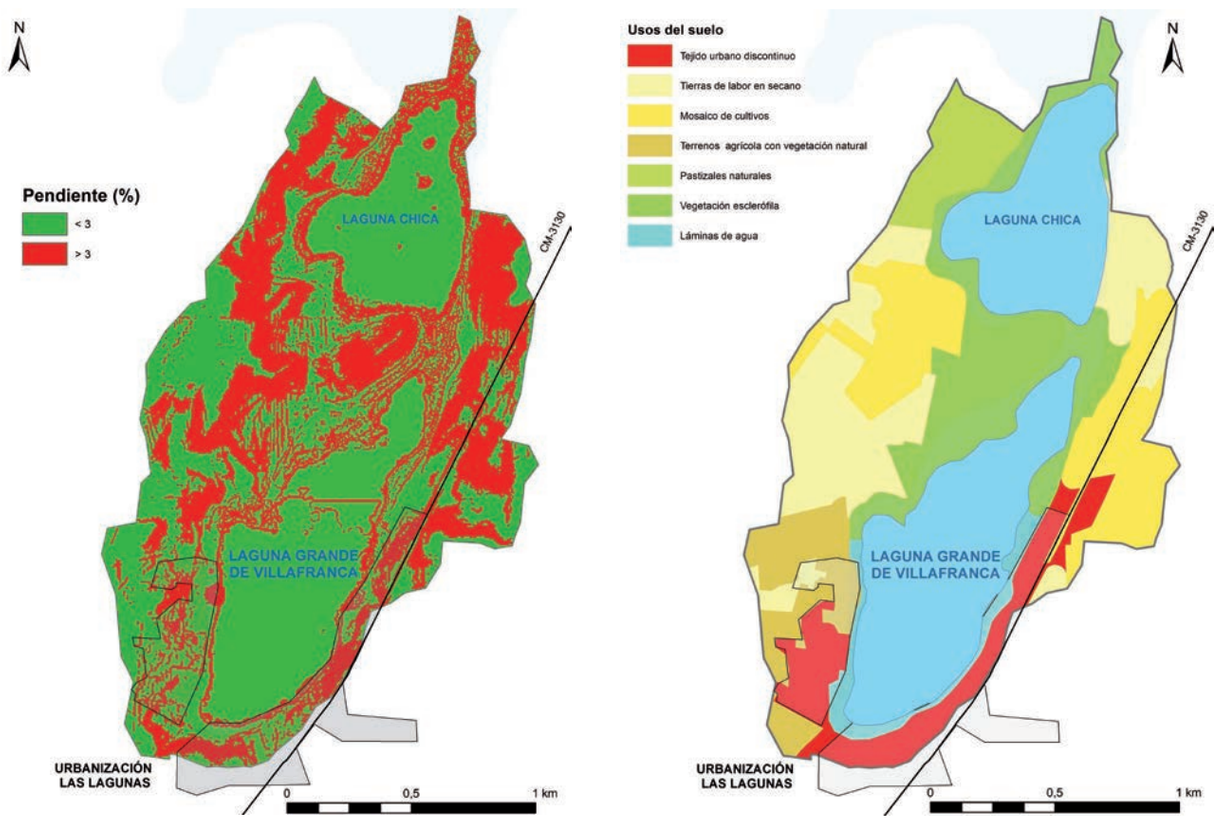


Figura 12.23. Cuenca hidrológica de la laguna Grande de Villafranca. Mapa de pendientes (izquierda) y Mapa de usos del suelo (derecha) (Corine Land Cover 2012)

desarrollada en el proyecto Ecolake, basada en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua a su vaso. Como se ha comentado en el apartado anterior, las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada existente en cada momento (superficie teórica máxima de 61,51 ha), a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (312 ha) y a los aportes canalizados por la acequia del Caz procedentes del río Gigüela. Por su parte, las salidas son debidas a la evapotranspiración generada sobre la lámina de agua libre, limitada igualmente por el volumen de agua disponible en cada momento.

Los datos climáticos se han obtenido de la estación agroclimática del SIAR de Herencia, para el periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo kc=1,1, escogido en este caso como más adecuado, y para la determinación de la evaporación se ha tenido en cuenta la extensión de la lámina de agua de la laguna en cada momento.

El análisis geológico de la cuenca vertiente, según las distintas formaciones aflorantes, ha arrojado como resultado un suelo de tipo C (tabla 12.11). Por su parte, la pendiente media hallada ha sido del 2,9%, es decir, inferior al 3% (figura 12.23), mientras que al uso de la tierra se la ha asignado la tipología de labor de secano con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 12.23). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC *(Antecedent Runoff Condition)* 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=64, que se corresponde con un valor de CN I=44 para condiciones de humedad baja y CN III=81 para condiciones de humedad alta. Esto supone unos valores umbral de escorrentía (P_0) medio de 28,58 mm, con un máximo de 63,93 mm y un mínimo de 11,59 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 12.13).

En cuanto a los aportes externos, se han estimado a partir de la concesión de 42 l/s de las aguas del río Gigüela, caudal que tiene autorizado el ayuntamiento de Villafranca de los Caballeros por la Confederación Hidrográfica del Guadiana, lo que supone un volumen máximo de 3.629 m^3/d, equivalente a 1,32 hm^3/año. Sin embargo, dado el uso que se hace de la laguna, se ha constatado que los aportes tienen lugar en los meses previos al verano para asegurar el nivel de agua necesario que permita el baño durante el periodo estival.

La batimetría de la cubeta se ha definido a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG se ha establecido el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación y con pasos de altura de 0,02 m. También se han obtenido y representado las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen (figura 12.24).

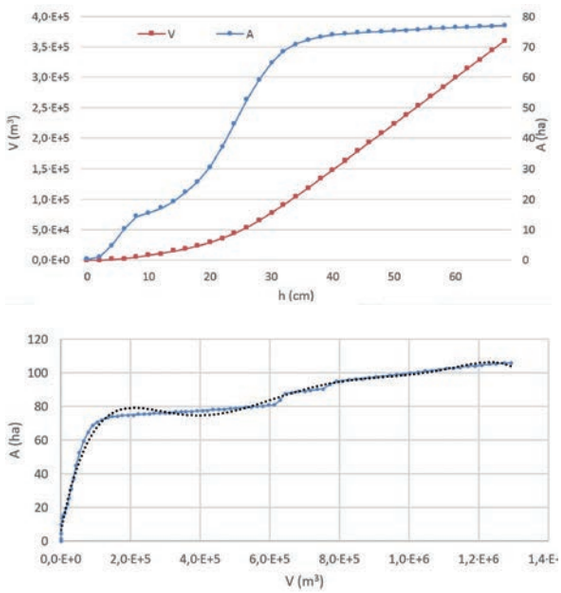


Figura 12.24. Laguna Grande de Villafranca.
Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A).
Abajo: relación entre área inundada (A) y volumen almacenado (V)

Finalmente, los resultados de la simulación para al periodo 2012-2014 muestran niveles de agua bastante altos, muy por encima de lo habitual para el resto de las lagunas incluidas en esta publicación. Esta circunstancia se debe a los aportes del río Gigüela, controlados artificialmente, que hacen que en pleno periodo estival se alcancen volúmenes de agua excepcionales (especialmente en 2012/13, con máximos a final de junio). En consecuencia, la laguna se encuentra inundada de forma permanente. En el año hidrológico 2013/14, relativamente seco (321 mm de precipitación media), el volumen de agua es ligeramente inferior al de 2012/13.

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
< 3	> 50% Labor de secano	Media baja	C	63,93	28,58	11,59

Tabla 12.13. Cuenca de la laguna Grande de Villafranca. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Tabla 12.14. Balance hídrico de la laguna Grande de Villafranca. Periodo 2012-2014

Año hidrológico	ENTRADAS				SALIDAS	Variación de volumen (m^3)
	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aportes río Gigüela (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)	
2012/13	381.606	220.453	649.555	1.251.614	1.097.146	154.468
2013/14	253.890	149.680	617.622	1.021.192	1.175.660	-154.468
Media periodo	317.748	185.067	633.588	1.136.403	1.136.403	0

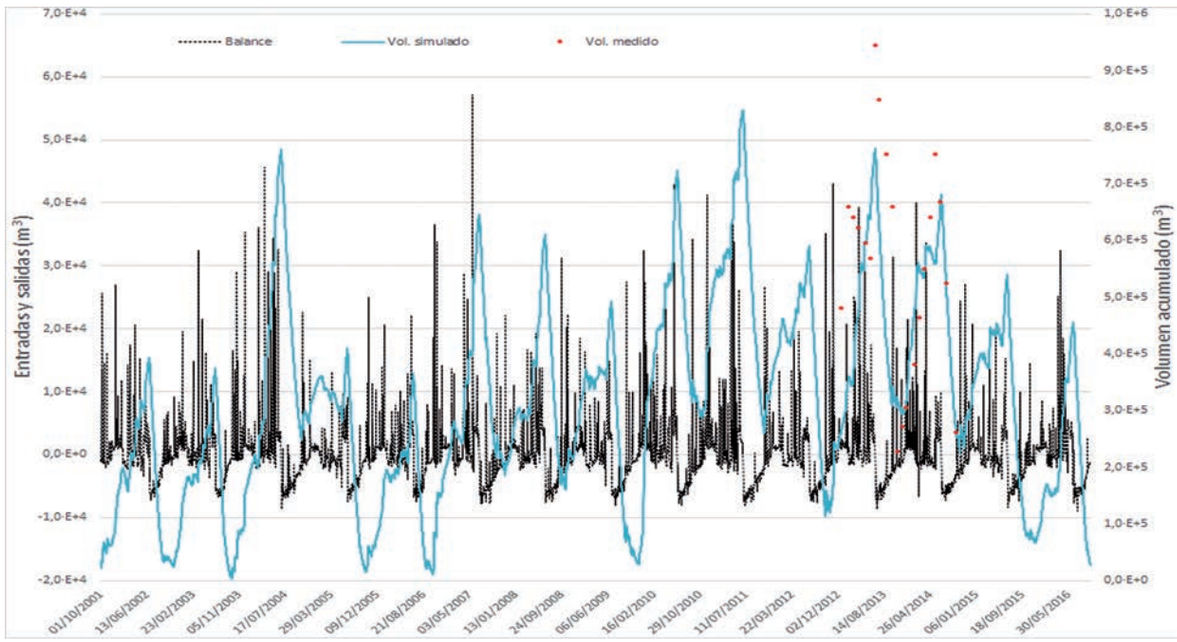


Figura 12.25. Simulación del balance hídrico para la laguna Grande de Villafranca. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

El balance hídrico medio anual obtenido para el mencionado periodo indica que los aportes de agua procedentes del río Gigüela (633.588 m^3) son superiores a la suma de los aportes por precipitación directa (317.748 m^3) y por escorrentía superficial (185.067 m^3), mientras que las pérdidas (1.136.403 m^3) se deben exclusivamente a la evapotranspiración (tabla 12.14).

Con los parámetros validados para el periodo de calibración se ha procedido a la determinación del balance hídrico hiperanual del humedal para un periodo de 15 años (2001-2016). En la simulación se observa que la laguna no llega a secarse en ningún momento gracias a la contribución del río Gigüela. Durante este periodo la superficie inundada mínima, de tan sólo 29 ha, se obtuvo al inicio del año hidrológico 2006/07 tras dos años de escasas precipitaciones. En la mayor parte de los años se acumulan volúmenes de agua muy elevados, especialmente en aquellos con pluviometría relativamente alta (figura 12.25).

El balance hídrico hiperanual (15 años) muestra que la alimentación hídrica del sistema se debe esencialmente a las aguas aportadas desde el río Gigüela (633.588 m^3/año), equivalentes al 55% del total de las entradas, volumen que supera al conjunto de la precipitación directa caída sobre el vaso del humedal (259.999 m^3/año), el 24%, y de la escorrentía superficial generada en la cuenca vertiente (176.856 m^3/año), el 21% (tabla 12.15). Por su parte, las únicas salidas se deben a la evapotranspiración generada en la lámina de agua libre (1.070.443 m^3/año).

Tabla 12.15. Balance hídrico hiperanual de la laguna Grande de Villafranca. Periodo 2001-2016

DATOS			ENTRADAS				SALIDAS
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km^2)	Área media inundada (m^2)	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aportes río Gigüela (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)
348,90	3,12	737.353	259.999	176.856	633.588	1.070.443	1.070.443

Evolución visual del territorio

En la figura 12.26 se presentan dos imágenes de las lagunas de Villafranca de los Caballeros, con una diferencia de 55 años, que atestiguan la acción humana en la zona. Mientras que la red viaria se mantiene prácticamente inalterable, salvo por las mejoras en las vías principales y caminos más transitados, el entramado parcelario envejece con ligeras modificaciones y las edificaciones que se alzan alrededor del flanco sur de la laguna Grande han proliferado de manera muy importante, bordeando casi por completo esta zona del perímetro lagunar, en gran parte enfocada al turismo, con la creación de campings, albergues, balnearios, casas rurales, comercios hosteleros de temporada y un aula de la naturaleza.

En las fotografías que se exponen a continuación (figuras 12.27 a 12.32), se aprecia la acción humana en el entorno lagunar con diferentes acondicionamientos para el uso y disfrute de la laguna, así como las distintas construcciones a lo largo de la zona centro y sur del perímetro lagunar, destacando la zona de playa en el área suroeste del humedal. La laguna mantiene una lámina de agua permanente gracias al aporte del río Gigüela, aunque en ocasiones es posible la observación de los materiales que tapizan el vaso lagunar hasta a algunas decenas de metros de la orilla.

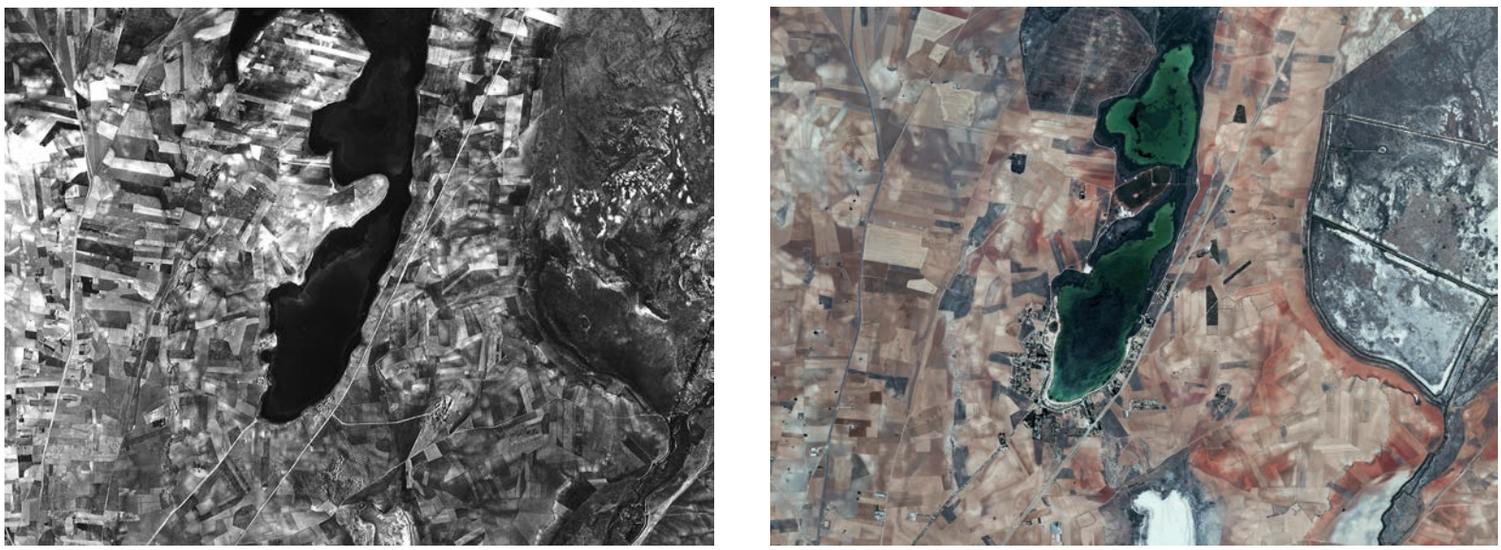


Figura 12.26. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 12.27. Acondicionamiento del extremo suroeste lagunar (L.A. Carreño)

Figura 12.28. Avifauna en la laguna Grande y viviendas cercanas al humedal (B.J. Ballesteros)





Figura 12.29. Panorámica de la laguna en noviembre de 2017 (B.J. Ballesteros)

Figura 12.30. Parque aledaño a la laguna en época invernal. Febrero de 2018 (C. Camuñas)





Figura 12.31. Extremo oeste de la laguna Grande de Villafranca (C. Camuñas)



Figura 12.32. Laguna Grande en junio de 2016 (B.J. Ballesteros)

Capítulo 13



COMPLEJO LAGUNAR DE ALCÁZAR DE SAN JUAN

LAGUNAS: LAS YEGUAS, CAMINO DE VILLAFRANCA Y LA VEGUILLA





13. COMPLEJO LAGUNAR DE ALCÁZAR DE SAN JUAN

13.1. INTRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

El tercer complejo lagunar incluido en esta publicación se ubica en las proximidades de la ciudad de Alcázar de San Juan, en el extremo noreste de la provincia de Ciudad Real y a unos 98 km de su capital. Está integrado por tres lagunas: las Yeguas, Camino de Villafranca y la Veguilla (figura 13.1), aunque el término municipal alberga algunas más, como la de Pajares, de los Carros, del Cerro Mesado y Pozo de la Cambronera.

La laguna de las Yeguas es la más alejada de la localidad que da nombre al complejo, de la que dista unos

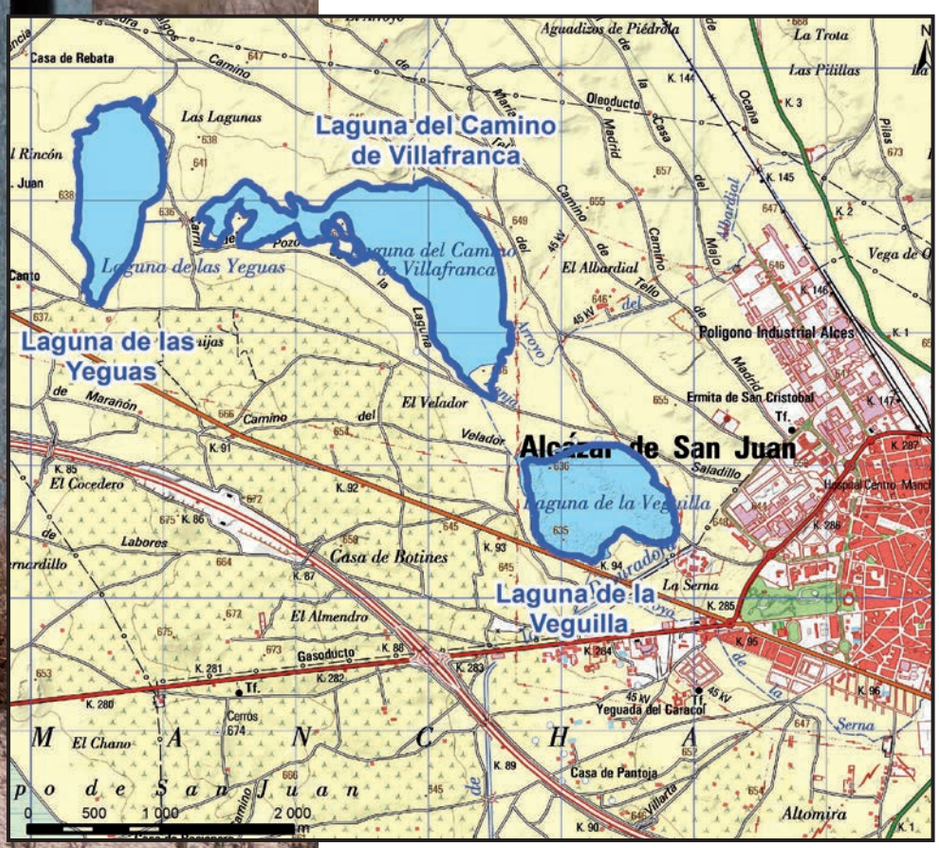


Figura 13.1. Situación geográfica del complejo lagunar de Alcázar de San Juan (hoja 713 del Mapa Topográfico Nacional, a escala 1:50.000, del Instituto Geográfico Nacional, IGN)

7 km, seguida de la del Camino de Villafranca, cuyo punto central se encuentra a unos 4,5 km de ésta. Por su parte, la Veguilla queda tan solo a 2,5 km del centro del núcleo urbano. Las dos primeras lagunas poseen carácter estacional mientras que la última mantiene una lámina de agua a lo largo de casi todo el año al recibir los aportes de la EDAR de la citada población.

Climatología

Las características climáticas del complejo lagunar han sido determinadas a partir de la estación meteorológica CR08 Herencia, perteneciente a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha (tabla 13.1).

La precipitación media anual de la zona en los últimos 15 años (2001/02-2015/16) ha sido de 348,9 mm, con un máximo de 537,8 mm en el año 2003/04 y un mínimo de 155,4 mm en el año hidrológico posterior. A nivel diario se produjo un episodio de lluvia torrencial ocurrido el 9 de febrero de 2014 en el que se acumularon 50,9 mm. Los datos de precipitación más significativos se muestran en la tabla 13.2.

Los registros mensuales reflejan que en todos los meses se superan los 25 mm de lluvia, salvo en los de verano (junio, julio, agosto y septiembre), siendo el más húmedo el de abril y el más seco el de julio con valores de 50,8 mm y 2,8 mm, respectivamente.

Registros climáticos anteriores a los de la estación CR08 del SIAR se han obtenido de la estación meteorológica Villafranca de los Caballeros (nº 4069), de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que cuenta con un registro temporal de 40 años desde 1960/61 a 1999/2000 (tabla 13.3). El análisis de sus datos concluye que la precipitación media anual en los últimos 15 años no ha sufrido cambios significativos, experimentando un ligero ascenso de apenas 7 mm respecto a los 40 años precedentes.

Por su parte, la temperatura media anual es de 14,4 °C (tabla 13.4) y las medias de las máximas y mínimas diarias de 21,5 °C y 7,3 °C, respectivamente.

Valores ambientales

Valoración global

De los humedales que forman el complejo lagunar de Alcázar de San Juan, la Veguilla, configura una zona inundable de menor salinidad, contigua a sus hermanas al estar alimentada por las aguas procedentes de la EDAR de Alcázar de San Juan. En ella se encuentra el centro de interpretación del complejo, gestionado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. En cuanto a Camino de Villafranca y las Yeguas, se trata de lagunas naturales endorreicas y salinas en la que la hidrología de la primera también está alterada debido a la comunicación que mantiene con la Veguilla a través de una canalización artificial. Por su parte, la laguna de las Yeguas no tiene conexión con las otras dos, ya que el canal que la unía con Camino de Villafranca se encuentra cegado en la actualidad, motivo por el cual presenta una mayor temporalidad y salinidad. Las tres muestran un elevado nivel trófico y acumulan fangos orgánicos a causa de los vertidos históricos recibidos.

Tabla 13.1. Datos de ubicación y periodo de registro temporal empleado (SIAR)

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
CR08	Herencia	471540	4358890	659	01/10/2001	30/09/2016

PRECIPITACIÓN (mm)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**348,9**	**1,0**	**25,3**	**31,0**	**38,3**	**50,8**	**38,8**	**17,8**	**2,8**	**4,2**	**21,6**	**46,2**	**36,2**	**35,6**
Máxima absoluta	537,8	50,9	62,8	100,7	112,3	100,9	113,4	51,8	11,2	20,0	50,4	85,8	89,1	129,8
Fecha	2003/04	09/02/2014	2010	2014	2013	2016	2004	2010	2005	2007	2010	2003	2012	2009
Mínima absoluta	155,4	0,0	1,4	1,2	6,0	11,8	1,0	0,8	0,0	0,0	0,2	22,2	5,0	5,0
Fecha	2004/05	-	2005	2002	2005	2005	2015	2012	Varios años	Varios años	2004	2002	2009	2015

Tabla 13.2. Valores de precipitación más relevantes registrados en la estación termo-pluviométrica CR08 Herencia (SIAR)

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
4069	Villafranca de los Caballeros	468846	4364108	643	1960/61	1999/2000

PRECIPITACIÓN (mm)		
	Precipitación anual	Fecha
Media	**342,3**	1960/61 - 1999/2000
Máxima absoluta	522,9	1996/97
Mínima absoluta	218,1	1967/68

Tabla 13.3. Datos de ubicación, registro temporal y valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica nº 4069 Villafranca de los Caballeros (AEMET)

TEMPERATURA (°C)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**14,4**	**-**	**5,0**	**6,2**	**9,4**	**12,6**	**17,0**	**22,8**	**26,1**	**25,2**	**20,4**	**15,1**	**8,6**	**5,2**
Máxima media	21,5	-	10,8	12,6	16,1	19,5	24,4	30,9	34,5	33,6	28,0	21,9	14,6	11,0
Mínima media	7,3	-	-0,2	0,2	2,7	5,6	8,9	13,8	15,8	15,8	12,4	8,7	3,2	0,3
Máxima absoluta	-	42,6	20,4	40,3	26,6	30,1	39,2	40,7	41,4	42,6	39,3	32,2	26,1	19,6
Fecha	-	10/08/12	27/01/03	24/02/14	12/03/03	08/04/11	17/05/06	30/06/15	06/07/15	10/08/12	07/09/16	13/10/11	01/11/09	15/12/15
Mínima absoluta	-	-11,3	-10,4	-8,1	-8,0	-3,5	0,0	5,0	0,0	8,9	0,0	-2,2	-9,2	-11,3
Fecha	-	15/12/09	27/01/05	12/02/12	09/03/05	05/04/02	18/05/09	01/06/13	24/07/08	21/08/04	19/09/02	29/10/12	17/11/07	15/12/09

Tabla 13.4. Valores de temperatura más relevantes registrados en la estación termo-pluviométrica CR08 Herencia (SIAR)

Biodiversidad: flora y fauna

En la Veguilla las formaciones de vegetación perilagunar adquieren un mayor desarrollo en las zonas próximas al vertido de la EDAR y están compuestas *principalmente por carrizales (Phragmites australis)*, juncales *(Bolboschoenus maritimus)* y, en menor medida, eneares *(Typha dominguensis)*. El carrizo y el junco componen parte de la vegetación perimetral en la laguna del Camino de Villafranca, con pequeños bosquetes de tarayes y otra vegetación halófila marginal gracias a la recuperación promovida por los responsables de la gestión de este espacio natural. Es precisamente a lo largo del canal que une ambas lagunas (figura 13.2) donde se ha regenerado un pequeño tarayal (Jerez, 2010). Por otro lado, tanto en las Yeguas como en Camino de Villafranca existen praderas perimetrales con formaciones de almajo *(Suaeda vera)*, albardinar *(Lygeum spartum)* y acelgas saladas *(Limonium carpetanicum)* (Cirujano y Medina, 2002). En estas praderas Peinado (1994) describe la presencia de otras especies de *Limonium* como por ejemplo *L. tournefortii, L. latebracteatum* o *L. supinum*, que evidencia una cierta diversidad en las comunidades halófilas que componen estas lagunas.



Figura 13.2. Tarayal desarrollado a lo largo del canal que comunica las lagunas de la Veguilla y Camino de Villafranca, que permite el paso de agua de la primera a la segunda (C. Rochera)

Los censos del proyecto Ecolake demuestran que la laguna de la Veguilla es la que mayor cantidad de avifauna alberga (Gil-Delgado *et al.*, 2016) con un promedio mensual de unas 20 especies, lo que en términos de diversidad resulta significativo. Esta comunidad está compuesta particularmente de anátidas, siendo habitual observar cuchara común *(Anas clypeata)*, ánade real *(Anas platyrhynchos)* o ánade friso *(Anas strepera)*. Las primeras alcanzan poblaciones que pueden llegar a superar los 2.000 individuos en los periodos invernales. También es significativa la colonia de flamencos *(Phoenicopterus roseus)*, con más de 300 individuos de promedio mensual y puntas que superan los 2.000, así como la focha común *(Fulica atra)* con unos 1.000 individuos en primavera. Cabe destacar también la presencia de una población reproductora de malvasía cabeciblanca *(Oxyura leucocephala)*.

En la laguna del Camino de Villafranca estos valores resultan ligeramente inferiores, con una menor presencia de ánatidas, pero mayor número de tarro blanco *(Tardona tardona)* o cigüeñuela común *(Himantopus himantopus)*, e incluso de gaviota reidora *(Larus ridibundus)* en algunos periodos. Al servir como hábitat para la reproducción de la cigüeñuela común, la avoceta común *(Recurvirostra avosetta)* y la pagaza piconegra *(Gelochelidon nilotica)*, cumple con los criterios de los humedales Ramsar.



Figura 13.3. Comunidades microbianas fotosintéticas que cubren el lecho de la laguna del Camino de Villafranca (C. Rochera)

Biodiversidad microbiana y del plancton

Al igual que otros salinares del entorno, Camino de Villafranca y las Yeguas muestran, en ausencia de plantas macrófitas sumergidas, una flora bentónica compuesta por biofilms o tapetes microbianos de mayor o menor consistencia en los que se aprecia un importante componente autótrofo (figuras 13.3 y 13.4). La carencia de hidrófitos sumergidos en ambas se debe principalmente a su elevada salinidad, no obstante, algunos autores lo achacan también a la fuerte alteración trófica como una causa añadida (Cirujano y Medina, 2002).

En la Veguilla los hidrófitos tampoco parecen ser un elemento importante en su comunidad y presenta, como hecho diferencial, una elevada riqueza de especies de ostrácodos, hasta un total de 10 durante el ciclo hidrológico (Castillo-Escrivà *et al.*, 2017), siendo algunas de las más comunes *Eucypris virens* o *Heterocypris barbara.* También son más abundantes los turbelarios y, particularmente, los oligoquetos. En el bentos del humedal son frecuentes las larvas de dípteros, principalmente de las familias *Orthocladiinae* y *Chironominae*, y un grupo de macroinvertebrados: los heterópteros, representados mayoritariamente por la familia *Corixidae*.

A pesar de su deficiente estado de conservación, la laguna del Camino de Villafranca alberga en el plancton especies con interés biogeográfico como son el cladócero *Daphnia mediterranea* o el copépodo *Arctodiaptomus salinus*, cuya presencia se cita en los estudios limnológicos llevados a cabo para la elaboración del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Castilla-La Mancha (Vicente *et al.*, 1998). Otros trabajos mencionan la presencia de clones de rotíferos pertenecientes al complejo *Brachionus plicatilis* (Campillo *et al.*, 2005), que tienen un elevado interés en estudios de aislamiento reproductivo de especies crípticas y sus implicaciones desde un punto de vista evolutivo (Fontaneto *et al.*, 2009). La presencia de este rotífero en Camino de Villafranca y las Yeguas se cita en las campañas limnológicas del Departamento de Ecología de la Universidad de Barcelona (Armengol *et al.*, 1975). En la primera es de destacar el hallazgo de exuvias pupales del quironómido *Dicrotendipes lobiger* (Soriano y González, 2016), lo que constituye una nueva cita para la Península Ibérica. Por otra parte, también son comunes los heterópteros de la familia *Corixidae*.

Las observaciones del zooplancton en las Yeguas evidencian una baja diversidad de especies por su elevada salinidad y deteriorado estado trófico, con la única pre-



Figura 13.4. Comunidades microbianas fotosintéticas que cubren el lecho de la laguna de las Yeguas (C. Rochera)

sencia del copépodo calanoide *Arctodiaptomus wierzeskii* y el cladócero *Daphnia magna*. La comunidad de la meiofauna también es muy poco diversa con respecto a sus hermanas de complejo, y sólo cabe mencionar la presencia de larvas de dípteros de la familia *Tanypodinae*.

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos más destacables de estas lagunas son:

- Servicios de abastecimiento: acervo genético.
- Servicios de regulación: climática, hídrica y de ciclos biogeoquímicos.
- Servicios culturales: conocimiento científico, identidad cultural, disfrute estético, ecoturismo, educación ambiental.

Estado ecológico e impactos

Los aportes de la EDAR y la conexión entre las lagunas condicionan un gradiente hidroquímico de menos a más naturalizado, en el que la Veguilla y las Yeguas representarían, respectivamente, los dos extremos. En cualquier caso, el efecto de la eutrofización derivado de estos aportes es evidente en los tres ecosistemas, ya sea por el contenido en nutrientes de sus aguas o por el acumulado en sus sedimentos. Como consecuencia, en muchas ocasiones la clorofila alcanza niveles de hipereutrofia, siendo comparables al de otros humedales manchegos receptores de vertidos de aguas residuales, tales como la laguna Larga de Villacañas o la de El Longar en Lillo.

A pesar del elevado grado trófico, la Veguilla constituye un buen ejemplo del uso de aguas residuales depuradas para la conservación y mantenimiento de los humedales, a pesar de que puede implicar ciertos riesgos para la salud pública y la fauna residente o migratoria (Anza *et al.*, 2014), motivo por el cual deben ser gestionadas de forma correcta. En este sentido, y con el fin de que esta sintonía entre en reutilización de recursos hídricos y la conservación de la avifauna resulte óptima, es necesario establecer sistemas efectivos de depuración que consigan reducir el contenido en nutrientes de estas aguas hasta valores compatibles con el desarrollo armónico de los ecosistemas naturales.

A partir de 1990 la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha se hizo cargo del mantenimiento de este complejo lagunar y promovió la realización de un plan de protección y recuperación de la vegetación autóctona. Como resultado, y a pesar de que el entorno de los humedales está cultivado en su mayor parte, se conservan zonas con formaciones perilagunares de vegetación halófila natural. La adquisición de parcelas perilagunares, al amparo del proyecto LIFE "Restauración de albardinales y estepas salinas en los humedales de La Mancha", se ha centrado en las áreas donde la vegetación natural es el albardinal, en el caso de Camino de Villafranca, y la vegetación de saladar, en el de las Yeguas.

Contexto socioeconómico

Alcázar de San Juan cuenta con una población de 31.650 habitantes (INE, 2014) y su término municipal posee una superficie de 666,78 km^2, lo que supone una densidad de 47,47 hab/km^2 (figura 13.5).

Respecto al nivel de estudios, entre sus habitantes (tabla 13.5) predomina el segundo grado (44,7%) seguido del tercer y primer grado (22,4% y 18,1% respectivamente). El grupo minoritario se corresponde con el de los analfabetos, con apenas un 1,7%, dejando el 13,1% restante para los que carecen de estudios.

Tabla 13.5. Nivel de estudios (Censo de Población y Vivienda 2011. INE)

NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	%
Analfabetos	371	*1,7*
Sin estudios	2.832	*13,1*
1er Grado	3.916	*18,1*
2º Grado	9.656	*44,7*
3er Grado	4.829	*22,4*
TOTAL	**21.604**	***100***

El pilar donde se apoya la actividad económica es en el sector servicios, con un 77,9% de empresas, al que le siguen de forma muy pareja, la industria con un 8,3%, la construcción con un 7,3% y la agricultura con un 6,5% (tabla 13.6). Consecuentemente, los trabajadores afiliados al sector servicios son los más numerosos (78,9%), seguidos del sector industrial (12,3%) y de la construcción y agricultura, que son los minoritarios (6,2% y 2,6% respectivamente).

Tabla 13.6. Empresas y afiliación en Alcázar de San Juan (Tesorería General de la Seguridad Social 2014)

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	262	*2,6*	83	*6,5*
Industria	1.225	*12,3*	107	*8,3*
Construcción	615	*6,2*	94	*7,3*
Servicios	7.859	*78,9*	1.001	*77,9*
TOTAL	**9.961**	***100***	**1.285**	***100***

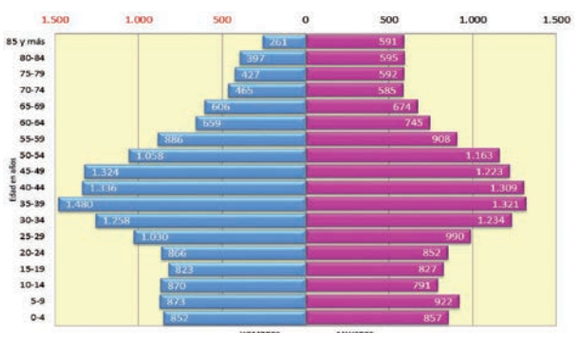


Figura 13.5. Pirámide (izquierda) y Grupos de población de Alcázar de San Juan (derecha) (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha 2014. Padrón Municipal de Habitantes a 1 de enero 2014. Instituto Nacional de Estadística, INE)

La tabla 13.7 muestra la evolución ascendente del número de parados entre los años 2009 y 2013, manteniéndose en el último año de la serie.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº de parados	2.527	2.852	3.104	3.602	4.053	4.052

Tabla 13.7. Desempleados (Paro municipal registrado. SPEE)

En cuanto a la agricultura (tabla 13.8), la mayor parte de su término municipal está ocupado por cultivos (89,1%), con predominio mayoritario de herbáceos (72,5%), seguidos de los viñedos (24,8%), siendo minoritaria la presencia del olivar y los frutales (2,5% y 0,2%).

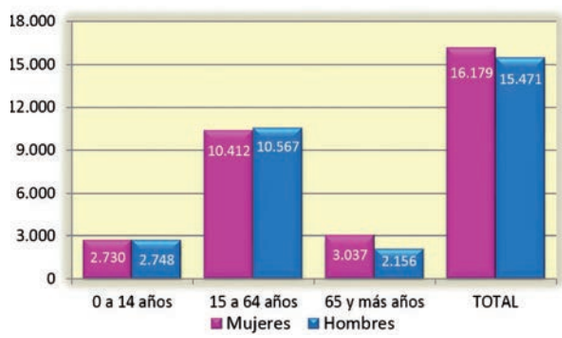
EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	50.075	36.287	*89,1*	*72,5*
	Frutales		95		*0,2*
	Olivares		1.269		*2,5*
	Viñedos		12.424		*24,8*
Pastos		2.922		*5,2*	
Forestal		3.206		*5,7*	
TOTAL		**56.203**		***100***	

Tabla 13.8. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2009, INE)

La ganadería (tabla 13.9) está repartida en su gran mayoría entre las de tipo ovina (84,5%) y porcina (10,9%), dejando un 3,6% para el tipo caprino y el 1,0% restante para las aves, los equinos y los bovinos.

CABEZAS DE GANADO		
	Nº de cabezas	%
Bovinos	61	*0,2*
Ovinos	31.143	*84,5*
Caprinos	1.337	*3,6*
Porcinos	4.007	*10,9*
Aves	239	*0,6*
Equinos	63	*0,2*
TOTAL	**36.850**	***100***

Tabla 13.9. Cabezas de ganado (Censo Agrario 2009, INE)



Valores culturales

La mayoría de los paisajes manchegos están, o han estado, sujetos a influencias culturales propiciadas por la relación histórica del hombre con la explotación primaria de este hábitat. Sus moradores se han visto obligados a conocer y modificar el medio natural para gestionar sus recursos adaptándolo a sus necesidades, creando una cultura asociada a los humedales. En este sentido, este capítulo pretende poner en valor cómo las lagunas salobres de Alcázar de San Juan han influido en el desarrollo socio-cultural y económico de los alcazareños a lo largo de siglos de historia, a través, entre otras, de la explotación de su principal recurso: la sal. Así, durante siglos en época estival aparecían en el vaso lagunar sales potásicas, sódicas y cálcicas, en forma de sustancias sólidas, cristalinas y solubles al agua. Esto origina en el municipio un vasto comercio de la sal, además de la explotación de especies vegetales como carrizos y eneas, empleadas tradicionalmente en la elaboración de espuertas, zócalos para las paredes o esteras de suelo y serijos; así como juncos, utilizados como combustible en hornos de caleras y cerámicas.

A pesar de sus singularidades, la proximidad geográfica de los tres humedales del complejo hace que compartan historia, arqueología, cultura y el comercio de sus recursos.

Arqueología

Existe constancia de antiguos asentamientos humanos, en especial de culturas agrarias prehistóricas, tanto del Neolítico final como del Calcolítico y Edad del Bronce. Igualmente, la presencia de asentamientos prerromanos y romanos es significativa, así como de la época medieval, tanto cristiana como islámica.

De los yacimientos arqueológicos existentes en el entorno del complejo lagunar caben destacar Las Saladillas y el Pozo Ambrosio. Este último, de época calcolítica, se ubica en el altozano natural de Piédrola y en su día fue una salitrera (documentado en las cuentas del ayuntamiento de Alcázar de San Juan) donde se encontró una importante cantera de piedras de molino.

El yacimiento de Las Saladillas está situado entre las lagunas de la Veguilla y la del Camino de Villafranca (García y Morales, 2004) y fue objeto de dos campañas de excavación arqueológica (años 1993 y 1994), realizadas por el área de Prehistoria del Departamento de Historia de la Universidad de Castilla-La Mancha, que permitieron la documentación de 25 "*fondos de cabaña*" adscribibles cronológicamente a la Edad del Bronce. Se trata de estructuras hechas con materiales orgánicos o perecederos, que se encontrarían dentro del habitáculo, y cuya planta no suele conservarse.

Este asentamiento revela la ocupación y el aprovechamiento económico del territorio desde época prehistórica y su recreación puede verse representada en el Museo Municipal de Alcázar de San Juan. La forma de vida de estos grupos humanos estaba basada en la ganadería de tipo trashumante, y para su desarrollo era preciso una red de caminos y tener asegurado el acceso al abastecimiento de sal, ambos requisitos presentes en este entorno.

García y Morales (2004) plantean la hipótesis de que las gentes de Las Saladillas procedían de una motilla y, posiblemente, se desplazaban de forma estacional para explotar la sal, ya que resultaba apta para el consumo directo, humano y animal, así como para la salazón en la conservación de alimentos. En estos humedales la sal puede llegar a superar los 10 cm de espesor por lo que ha sido fácilmente explotable por grupos asentados o en tránsito, al menos desde el II milenio a. C. Estos recursos serían controlados desde una supuesta motilla cercana denominada de "El Saladillo" por pobladores más estables, aunque esta hipótesis hoy en día queda por contrastar, al escasear los restos arqueológicos.

La explotación de la sal

Aunque la relación de Alcázar de San Juan con el comercio de la sal se inicia en la Prehistoria, adquiere su mayor auge en la Edad Moderna, según queda documentado en el Archivo Histórico Municipal de Alcázar de San Juan (AHMASJ) desde el año 1520, donde se guarda la provisión real en la que se establece que: "*los vecinos de la villa de Alcázar podían comer sal de Espartinas*" (figura 13.6). Años después, en 1586, cuando el comercio de la sal ya no solo se extendía entre las lagunas locales, sino que se amplió a otras de vital importancia (Ciempozuelos), se reconocía por la Hacienda Real el privilegio en las Salinas de Espartinas, que la villa de Alcázar tenía y que constaba de una renta anual de 20.000 maravedís.

Así pues, en el siglo XVI, estas lagunas fueron explotadas para la obtención de salitre, ingrediente básico de la pólvora, junto al azufre y el carbón, dando lugar a una floreciente industria polvorera en Alcázar con la instalación de la Real Fábrica de Salitre.



Figura 13.6. La explotación del salitre de las lagunas de Alcázar de San Juan está documentada desde el siglo XVI (C. Camuñas)

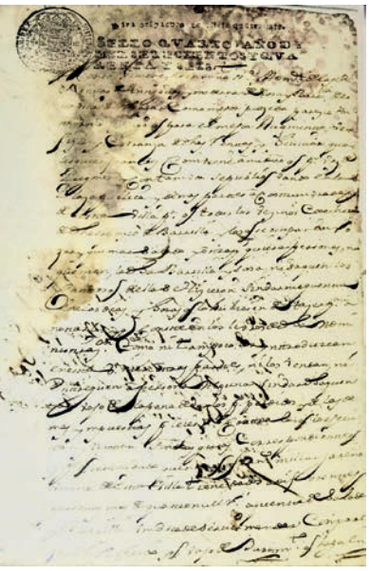


Figura 13.7. En 1745 el administrador de las fábricas de barrilla de Alcázar de San Juan advierte del fraude en el tipo de plantas que se utilizan para la obtención de la sosa y solicita un mayor control (Archivo fotográfico del Patronato Municipal de Cultura)

En aquel tiempo, el salitre recogido en las lagunas era llevado a las cuatro máquinas hidráulicas de Los Molinos de la Pólvora que movía el río Guadiana en Alameda de Cervera, a 14,5 km al sureste de Alcázar de San Juan. No obstante, el progreso industrial y la competencia comercial extranjera acabaron con la fábrica, suspendiendo sus trabajos a mediados del siglo XIX.

Hasta el citado siglo, estas salinas fueron monopolio real, donde La Corona las agrupaba en partidos o distritos salineros para su mejor aprovechamiento y las arrendaba para su explotación, hasta la segunda mitad del siglo XVIII cuando se intentó administrarlas directamente (Camarero, 2002). Según legajos de Hacienda del Archivo General de Simancas, estos partidos quedaron demarcados en el siglo XVIII en el Catastro de Ensenada (1750), lo que provoca paulatinamente la eliminación de la renta de la sal a particulares (AGS, 2016).

Industria de la barrilla

Otro recurso importante que generaron las lagunas para la economía alcazareña fue la industria de la barrilla (*Salsola kali L.*). Esta planta, que crece espontáneamente en los terrenos salobres del entorno lagunar, almacena sodio en su interior, de modo que, tratada en hornos improvisados en las orillas, permitía la obtención de sosa para la producción de jabón. La abundancia de estas plantas permitió el desarrollo de la industria del jabón en Alcázar de San Juan, que llegó a alcanzar un gran renombre en el siglo XVIII. De esta actividad queda amplio testimonio en el archivo municipal, donde se guardan demandas y pleitos por el cultivo y producción de estas plantas (figura 13.7).

Espacio de educación ambiental

El ayuntamiento de Alcázar de San Juan, con el objetivo puesto en la concienciación ambiental, oferta ocio cultural por medio de actividades destinadas al acercamiento del público visitante y de la población local a los valores naturales de este ecosistema acuático. Todo ello se traduce en el diseño de varias rutas que recorren este espacio endorreico, entre ellas, la que discurre por las lagunas de las Yeguas y del Camino de Villafranca, practicable a pie o en bicicleta. Se cuenta también con material informativo y divulgativo sobre la fauna y la flora del complejo, y se disponen de observatorios de aves (figura 13.8), a los que se accede por caminos transitables en vehículo.

Según afirma Pablo Pichaco, técnico ambiental del ayuntamiento de Alcázar de San Juan, desde 2013 se han reestructurado las visitas de colegios y otros centros (centradas en el complejo lagunar como un conjunto y no solo como observatorio de aves). Además, se ha incluido en la llamada *Noche del Patrimonio* (evento local donde se muestran y explican los recursos museísticos y naturales). También se llevan a cabo actividades de senderismo y bicicleta, se han creado cursos de formación para el profesorado con la finalidad de que utilicen el entorno lagunar como recurso educativo y se llevan a cabo actividades investigadoras, seguimiento de fauna, inventario de flora y otras actividades divulgativas (charlas, conferencias, etc.).



Figura 13.8. Vista de la laguna de la Veguilla desde uno de los observatorios de aves (C. Camuñas)

No obstante, a pesar de estas iniciativas de la administración local y de las figuras de protección ambiental, la entrada de aguas residuales al complejo, el vertido ilegal de residuos sólidos, la agricultura y los caminos rurales son las principales amenazas de este paraíso de biodiversidad. Y, como señala el citado técnico, aunque por el consistorio se está llevando a cabo una intensa campaña de información, el entorno de las lagunas no cesa de sufrir el vertido de escombros y, cuando carecen de lámina de agua, sus vasos son utilizados por *quads* y motos como pistas de velocidad y para practicar el derrape.

13.2. LAGUNA DE LAS YEGUAS

Situación geográfica, coordenadas y accesos

La laguna de las Yeguas, que también fue conocida como La Asturiana o La Estrella, se sitúa a 7 km al noroeste del núcleo urbano de Alcázar de San Juan (figura 13.9) y su punto central responde a las coordenadas X: 475650, Y: 4363150 (UTM ETRS89 H30) cuya altitud alcanza los 632,2 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

Son varias las vías de comunicación que acercan este humedal al visitante, todas ellas transitan al sur del mismo. La carretera nacional N-420 entre Cuenca y Ciudad Real supone una vía de acceso para los vecinos de estas ciudades, así como la autovía de los Viñedos, CM-42, que une Toledo con Tomelloso. Aunque la manera más fácil de alcanzar la laguna es por la carretera CM-4133, que conecta Madridejos con Alcázar de San Juan. A unos 6 km de esta última población la vía intersecta el camino del Vado de las Guijas por su margen derecho y, después de recorrer 600 m, alcanza extremo sur de la zona endorreica.

En cuanto a los caminos de su entorno, cabe destacar Saavedra y los Hidalgos, ambos al norte de las Yeguas, acercándola al río Gigüela que fluye al oeste del complejo lagunar. Entre la carretera de acceso y el borde sur de la laguna discurre el camino de Villafranca de los Caballeros que se prolonga hasta la Veguilla.

Otras sendas a mencionar son los denominados carriles, que por sus características resultan menos transitables y estrechos que los anteriores. Así, al oeste, se sitúa el carril del Pozo del Rincón, y al este el carril del Pozo de la Laguna. Sin nombre conocido, otro carril une los citados caminos de Saavedra, al norte, y Villafranca, al sur, pasando por encima del canal artificial que une esta laguna con la del Camino de Villafranca.

Características fisiográficas

La laguna de las Yeguas es un humedal de carácter endorreico y estacional. Perfila un contorno ovalado ligeramente inclinado al noreste, cuyos ejes mayor y menor alcanzan 1,5 y 0,5 km respectivamente, achatándose en su mitad meridional.

Su vaso dibuja un perímetro aproximado de 4,4 km con una superficie máxima de inundación de 67,04 ha,

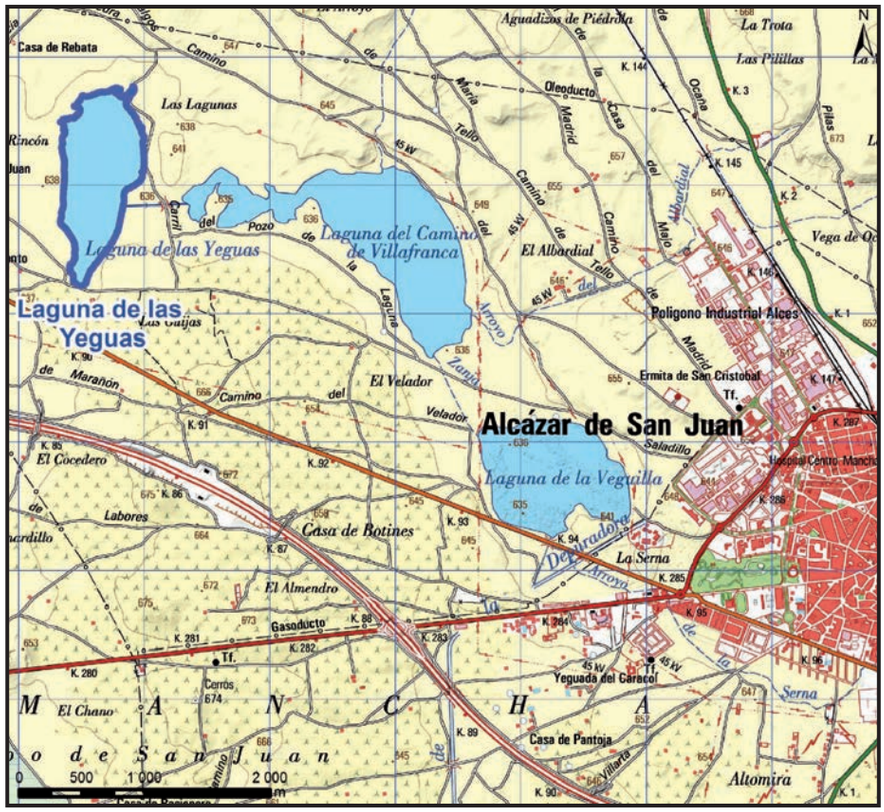


Figura 13.9. Situación geográfica de la laguna de las Yeguas (hoja 713 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021 (BOE, 2016).

No existen rasgos geomorfológicos que despunten en sus alrededores, salvo el ligero encajamiento de la zona endorreica, localizada unos metros por debajo de su entorno más inmediato, donde predomina la vegetación esteparia frente al mar de parcelas de cultivo imperante en el paisaje. En cuanto a la propia cubeta, la lámina de agua que en época invernal apenas alcanza unos centímetros de profundidad, se trasforma en el estío en una alfombra blanca debido a la precipitación de sales (figura 13.10).

Normativa específica y figuras de protección

Este humedal, propiedad de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, forma parte, al igual que sus hermanas de complejo, de la Reserva de la Biosfera de "La Mancha Húmeda", declarada por la UNESCO en 1980.

La laguna de las Yeguas está incluida dentro de la Lista del Convenio de Ramsar de Humedales de



Figura 13.10. Laguna de las Yeguas en el año 2015 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

Importancia Internacional, por acuerdo del Consejo de Ministros, desde marzo de 1993. A nivel europeo, está integrada en la red ecológica de áreas de conservación de la biodiversidad de la Unión Europea, Red Natura 2000, siendo Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Humedales de La Mancha".

Dentro del ámbito autonómico, fue declarada Refugio de Caza en 1988 y reclasificada como Refugio de Fauna en 1993. En octubre de 1999 se aprobó su Plan de Ordenación de Recursos Naturales, declarándose Reserva Natural (tabla 13.10).

Valores históricos y culturales

Salina de interior

Existe documentación de la recolección de las costras salinas que afloran en el vaso lagunar (figura 13.11) y su explotación como salitre desde el siglo XVI. Las herramientas empleadas para su extracción, según comunicación personal del técnico ambiental Pablo Pichaco, eran aperos tradicionales (palas, cubos y cedazos). El producto obtenido se transportaba hasta la fábrica de salitre de Alcázar de San Juan para su purificación y procesado, desde aquí era enviado a molinos de pólvora, donde se mezclaba con azufre y carbón para la obtención del explosivo. El material utilizado en la fábrica era más complejo (aerómetros, balsas, artesas, filtradores, etc.) pero su uso no se circunscribía a la laguna.

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA DE LAS YEGUAS
RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA
Declaración de la UNESCO de 30 de noviembre de 1980
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Humedales de La Mancha", código ES4250010 Zona de Especial Protección para las Aves Z.E.P.A. "Humedales de La Mancha", código ES0000091
REFUGIO DE FAUNA
Decreto 128/1988, de 10 de octubre, por el que se declara refugio de caza las lagunas del Camino de Villafranca y la de las Yeguas, ubicadas en Alcázar de San Juan de la provincia de Ciudad Real (DOCM nº 4, de 18-10-1988). Con la aprobación de la Ley de Caza por las Cortes Regionales de Castilla-La Mancha en 1993, se reclasificaron todos los Refugios de Caza como "Refugios de Fauna"
CONVENIO RAMSAR
Incluida en la Lista de Humedales de Importancia Internacional (Humedal Ramsar) desde el 26 de marzo de 1993. Sitio Ramsar 595. Listado de Humedales Ramsar en España nº 21
RESERVA NATURAL
Decreto 214/1999, de 19 de octubre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las lagunas del Camino de Villafranca, las Yeguas y la Veguilla, y se declara la Reserva Natural del complejo lagunar de Alcázar de San Juan (DOCM nº 66, de 22-10-1999)

Tabla 13.10. Figuras de protección de la laguna de las Yeguas



Figura 13.11. Los suelos ricos en sales de la laguna de las Yeguas permiten la extracción de sulfato magnésico y salitre para la fabricación de pólvora, lo que propició su alquiler a principios de los años 20 del pasado siglo (B.J. Ballesteros)

Según Pichaco, el proceso de nitrificación (afloramientos salinos de salitre o sulfato magnésico) comprendía los meses de mayo a octubre, coincidiendo con la época de mayor evaporación y el consecuente afloramiento de sales a la superficie.

Vertedero urbano

En los años 30 del pasado siglo, los propietarios de la zona de huertas colindantes a las lagunas, denominada del Emisario, protestaban porque les culpabilizaban del mal olor en el municipio, incluso se señalaba que algunas familias habían abandonado la población por riesgo a una epidemia (AHMASJ, 1933). Ante el deterioro de la situación ambiental, el 8 de febrero de 1934, se designó una Comisión para el estudio del saneamiento de las aguas residuales (AHMASJ, 1934), la cual propuso la adquisición de terrenos para proceder a su depuración mediante sedimentación.

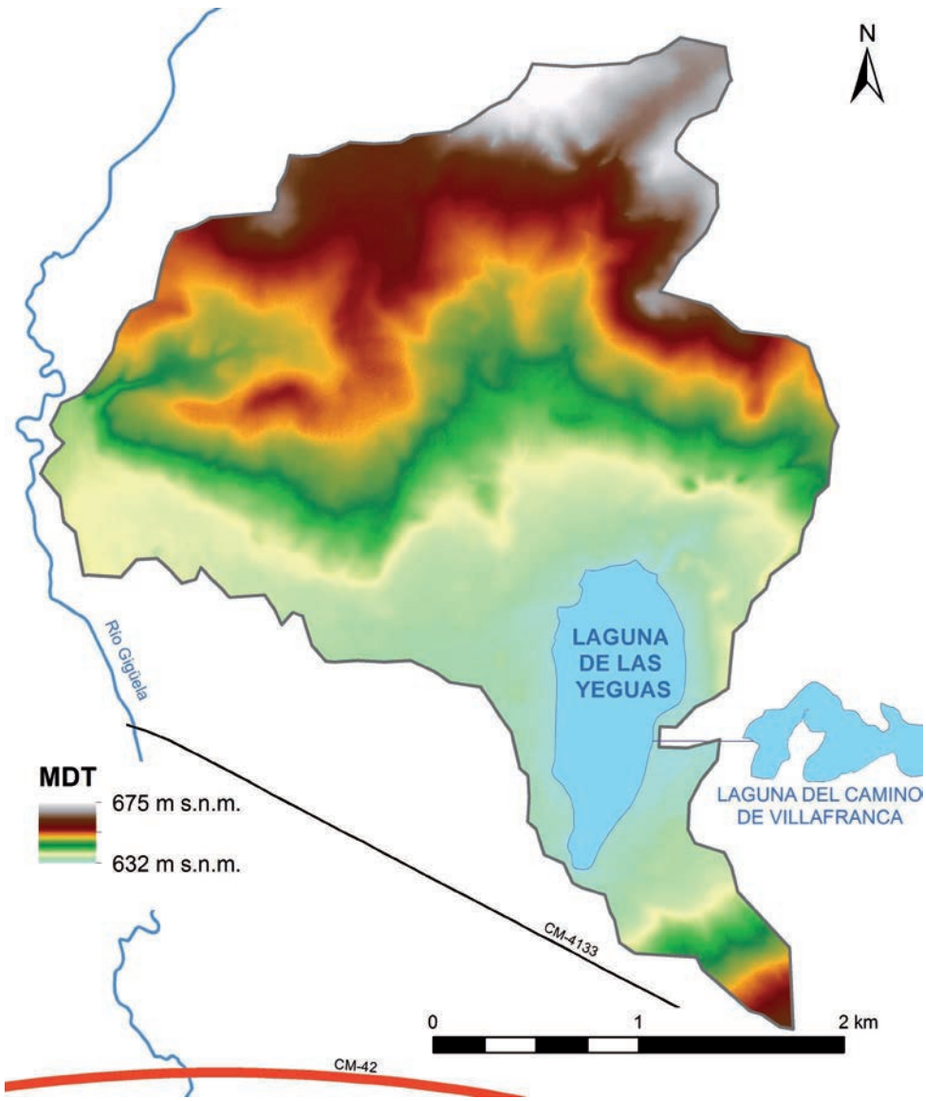
Años más tarde, en 1938, el estancamiento en la Veguilla y en las Yeguas era patente, por lo que, buscando una solución al problema, y pese a estar en plena Guerra Civil, el ayuntamiento se dirige al Comité Ejecutivo de la Casa del Pueblo y propone al Consejo el estudio de un empréstito municipal destinado a las obras del alcantarillado. Sin embargo, la solución definitiva tarda más de 30 años en llegar, ya que dichas obras no se terminarían definitivamente hasta la década de los años 70 del siglo XX.

Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna de las Yeguas, situada en la cuenca alta del río Guadiana, se encuentra muy próxima al cauce del río Gigüela, que circula serpenteante junto a su borde oeste y del que la zona inundada dista unos 2,5 km. Su área vertiente es de 921,8 ha (figura 13.12) y se extiende sobre los términos municipales de Alcázar de San Juan (Ciudad Real) y Villafranca de los Caballeros (Toledo).

El relieve de la cuenca es suave, con unos 43 m de diferencia entre las cotas más elevadas (675,0 m s.n.m.) de la zona norte y el fondo de la cubeta del humedal (632,2 m s.n.m.), siendo la altitud media de 646,1 m s.n.m. y la pendiente media del 2,3%. Estos condicionantes orientan el flujo principal de la escorrentía en dirección sur, con una relación de 14 a 1 entre la superficie total y el área ocupada por vaso de la propia laguna.

Figura 13.12. Cuenca hidrológica de la laguna de las Yeguas



Este sistema acuático se ha generado por la segmentación de los antiguos cauces fluviales de la zona. Su origen, por tanto, es exógeno y su vaso se sitúa en una antigua difluencia fluvial sobre depósitos cuaternarios compuestos por limos negros, con cantos y arenas en las zonas periféricas, junto con encostramientos salinos.

Geología

Las formaciones geológicas aflorantes (figura 13.13) presentan cierta variedad litológica y, por tanto, distinta naturaleza, con un comportamiento diferente en lo que atañe a su relación con el agua. Así, los materiales más antiguos pertenecen al Triásico en facies Buntsandstein, mientras que los más modernos son del Cuaternario. Los sedimentos de edad jurásica y cretácica no están representados, en cambio las series paleógenas tienen un amplio desarrollo y, junto con los materiales miocenos y cuaternarios, ocupan prácticamente el 50% de la superficie total de la cuenca hidrológica.

Cronológicamente, los materiales más antiguos pertenecen al Trías en facies Buntsandstein, depositados en un medio de llanura de marea intersectada por canales fluviales. Estos sedimentos se extienden a lo largo de toda la cuenca, con mayor presencia en el área centro-este, y están constituidos por una sucesión de pequeñas capas con buzamientos muy suaves, inferiores a 5°, en las que se identifican areniscas cementadas por carbonato, arcillas rojas, margas rojizas, en ocasiones versicolores, y bancos de conglomerados que hacia el sureste se hacen más arenosos.

De forma discordante sobre las series triásicas, y con una potencia variable entre 10 y 20 m, se encuentran las areniscas cuarcíticas de color grisáceo y blanquecino de edad Eoceno dispuestas en bancos de hasta un metro de espesor y depositadas en un ambiente fluvial. Con un origen de deposición similar aparecen, en bancos métricos y una potencia cartografiada entre 10 y 12 m, los conglomerados cuarcíticos del Oligoceno. Este conjunto de materiales paleógenos aflora en el sector noroccidental de la cuenca.

Los depósitos del Mioceno inferior-medio corresponden a limos y arcillas rojizas y ocres con cierto contenido en yeso, sedimentados en las facies distales de los abanicos. Quedan relegados a un pequeño

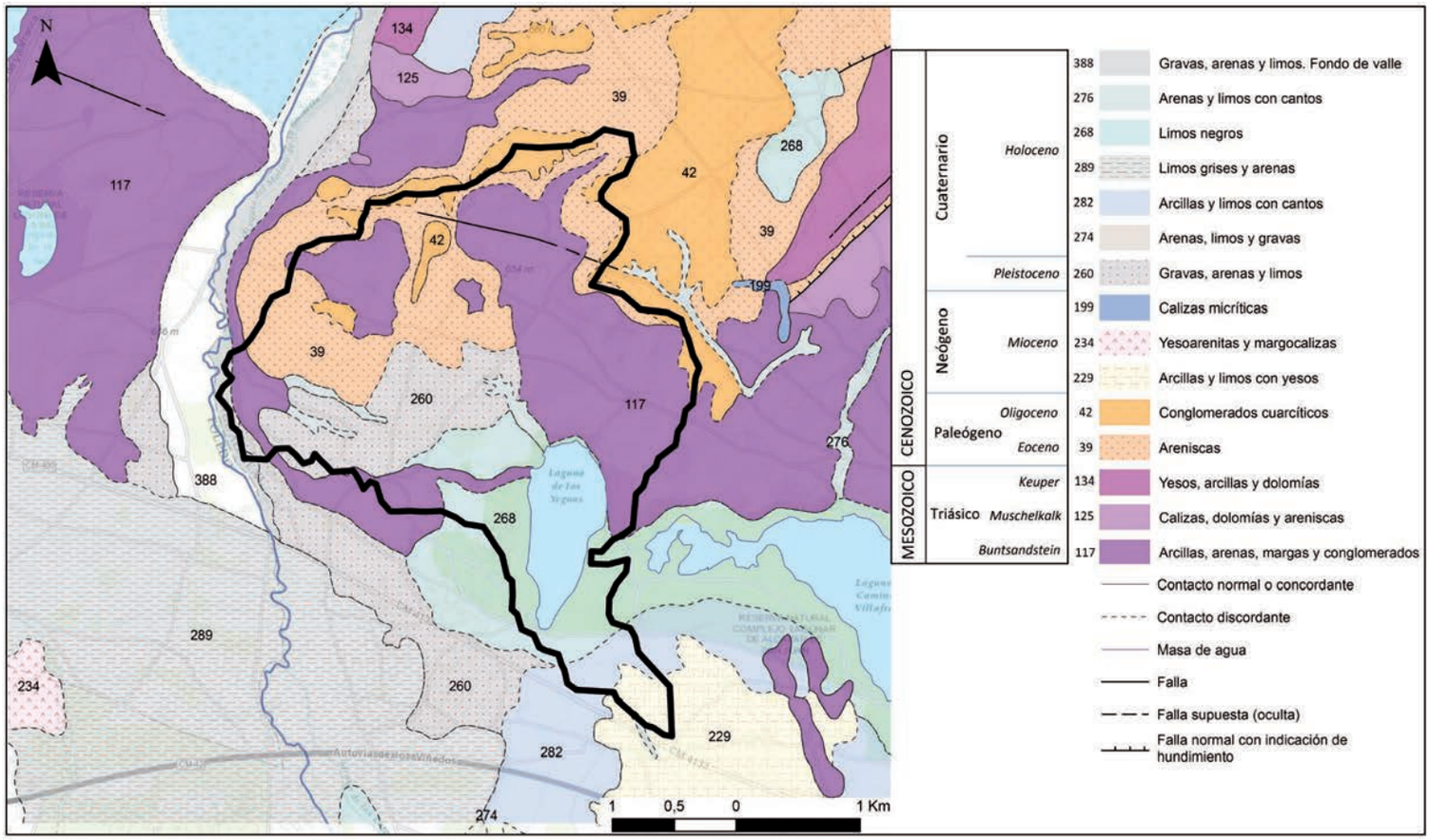


Figura 13.13. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de las Yeguas (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

afloramiento que marca el extremo sureste de la cuenca vertiente a la laguna.

Por último, cabe destacar a los horizontes pertenecientes al Pleistoceno. Se trata de antiguas terrazas aluviales que aparecen en la franja centro-oeste de la cuenca, con una litología de arenas y limos de tonos ocres y grisáceos en la que se intercalan niveles de gravas con cantos de cuarcita, cuarzo y, en menor proporción, de calizas.

Atendiendo a su comportamiento hidrogeológico (tabla 13.11), predominan de manera muy marcada los materiales con permeabilidad media (Tipología B: 39%) y con permeabilidad baja (Tipología C: 59%), siendo minoritarios los impermeables (Tipología D: 2%). Entre los primeros se encuentran las formaciones paleógenas compuestas por areniscas del Eoceno y conglomerados cuarcíticos del Oligoceno, así como los sedimentos de gravas, arenas y limos del Pleistoceno. Los de baja permeabilidad corresponden a los materiales triásicos en facies Buntsandstein compuestos por arcillas, arenas, margas y conglomerados, así como a los limos y arenas de edad cuaternaria. Los materiales impermeables, constituidos por arcillas y limos con yesos del Mioceno inferior-medio, tienen una reducida extensión.

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
FORMACIÓN GEOLÓGICA	Edad	Tipología	%
Areniscas y conglomerados cuarcíticos	Paleógeno (Eoceno-Oligoceno)	B	39
Gravas, arenas y limos	Pleistoceno	B	
Arcillas, conglomerados, areniscas y margas	Triásico (Buntsandstein)	C	59
Limos y arenas	Cuaternario	C	
Arcillas y limos con yesos	Mioceno inferior-medio	D	2
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Tabla 13.11. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de las Yeguas

Hidrogeología

El vaso de la laguna de las Yeguas, como una buena parte de las lagunas de la zona, se extiende en su totalidad sobre la formación geológica de las arcillas, areniscas y margas pertenecientes al Trías en facies Buntsandstein (Tb). Estos materiales constituyen una formación impermeable de cerca de 180 m de potencia, ya que los horizontes de areniscas y conglomerados que contienen, con cierta permeabilidad por porosidad intergranular, adquieren poco espesor y continuidad lateral, por lo que quedan englobados por los sedimentos arcillosos, mayoritarios en la formación (figura 13.14).

Hacia el norte, y a cierta distancia, se encuentran sedimentos de areniscas y conglomerados de la serie paleógena depositados mediante discordancia erosiva sobre las arcillas de la facies Buntsandstein. La base de estos horizontes se localiza por encima de la laguna, por lo que carecen de significado hidrogeológico respecto a ella.

En conjunto, las formaciones descritas configuran una estructura subhorizontal que, junto a las características litológicas de los sedimentos del Buntsandstein, impide cualquier relación del ecosistema con las aguas subterráneas. No obstante, en los alrededores del humedal existen algunos pozos y sondeos con pequeños rendimientos que aprovechan los horizontes parcialmente confinados de areniscas y conglomerados intercalados en la secuencia sedimentaria de la mencionada formación. Este flujo subterráneo presenta una componente suroeste y su piezometría está muy condicionada por la topografía, con un gradiente del orden del 0,3% y cotas muy próximas a la superficie (figura 13.15). Sin embargo, existe cierta fluctuación en el nivel del agua subterránea, ya que en las épocas de estiaje la piezometría puede llegar a descender varios metros, hasta cotas cercanas a los 620 m s.n.m., circunstancia a la que deben contribuir las extracciones de perforaciones con mayor profundidad.

La calidad de estas aguas es deficiente, con valores de la CE entre los 4.000 y 5.000 µS/cm crecientes hacia el suroeste, en dirección al río Gigüela (figura 13.16), que en épocas de baja pluviosidad pueden incrementarse sustancialmente. En cuanto al agua de la laguna, los depósitos salinos de su vaso son un claro indicio de su extrema salinidad ya que, cuando no se encuentra seca, la CE puede llegar a alcanzar los 100.000 µS/cm.

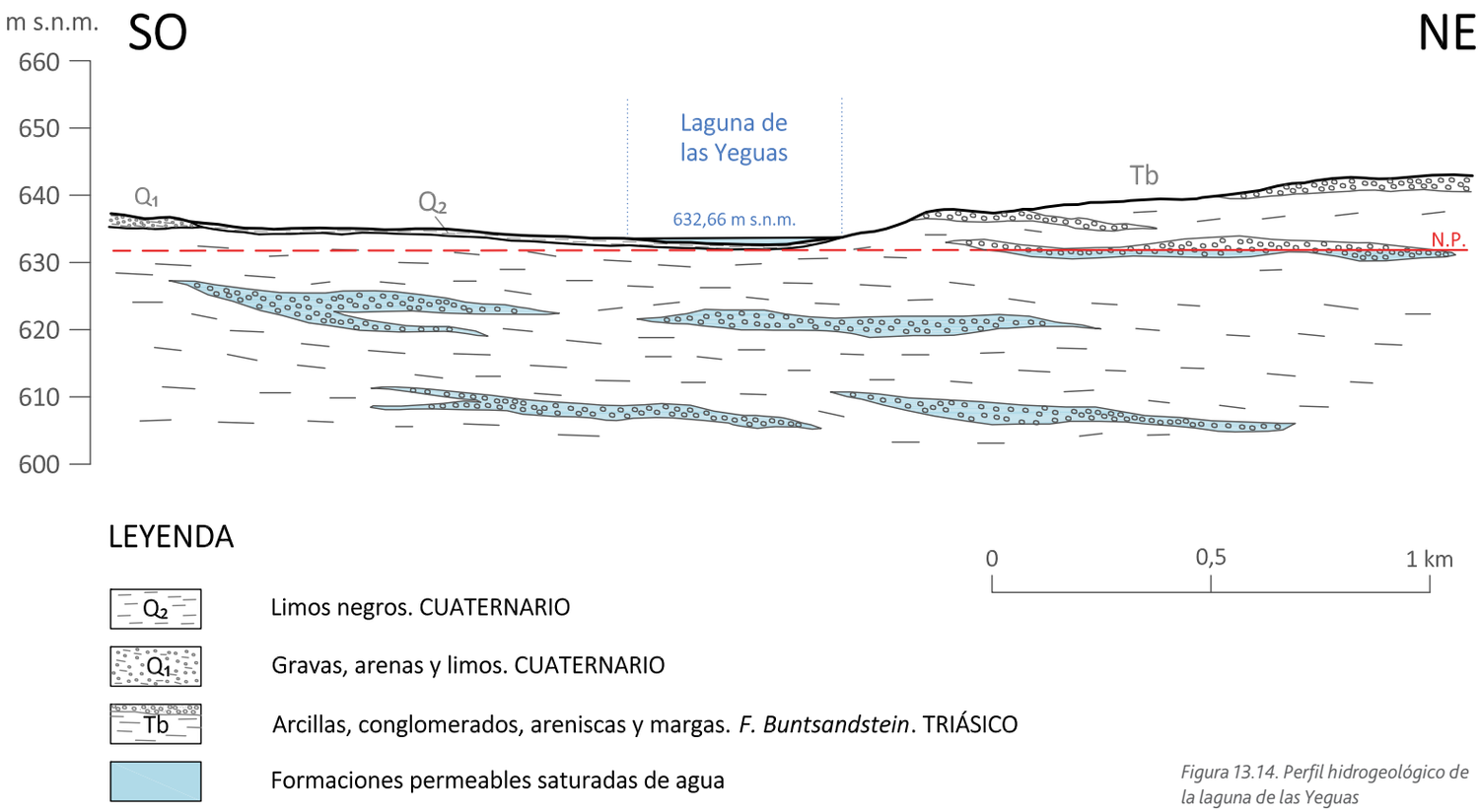


Figura 13.14. Perfil hidrogeológico de la laguna de las Yeguas



Figura 13.15. Mapa piezométrico (m s.n.m.) y sentido del flujo subterráneo. Junio de 2016 (IGN)



Figura 13.16. Mapa de isoconductividades eléctricas (µS/cm) de las aguas subterráneas (IGN)

Hidroquímica

La analítica de la muestra tomada en la laguna de las Yeguas muestra un valor de CE de 98.300 µS/cm, extremadamente superior a los ensayados en las aguas subterráneas de pozos cercanos, con valores máximos de 4.810 µS/cm. Por su parte, el pH en la laguna es de 9,35, también superior al de los pozos.

Los aniones mayoritarios, sulfatos y cloruros, siguen esta misma línea. Así, en las aguas subterráneas los primeros tienen concentraciones máximas de 1.346 mg/L, con un valor de 72.767 mg/L en la muestra de la laguna. Por su parte, los cloruros en los pozos facilitan un valor de 319 mg/L, siendo de 40.061 mg/L en la muestra de agua superficial. Esta misma tendencia es seguida también por los cationes mayoritarios, en los que las diferencias son menores.

La facies hidroquímica del agua de la laguna es sulfatada-clorurada magnésico-sódica (figura 13.17), mientras que la predominante en las aguas subterráneas es la sulfatada magnésica (figura 13.18). De la comparativa de las analíticas de 2016 frente a las de 2014 cabe destacar el aumento del calcio, de tal manera que las facies de las aguas subterráneas pasan a ser sulfatadas cálcico-magnésicas.

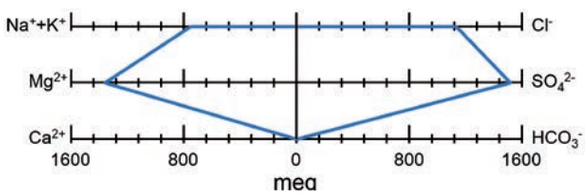


Figura 13.17. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna de las Yeguas. Fecha de análisis 26/11/2014

La tabla 13.12 resume la comparativa entre los principales parámetros del agua de la laguna y los recogidos en la normativa que regula la calidad para aguas de consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero).

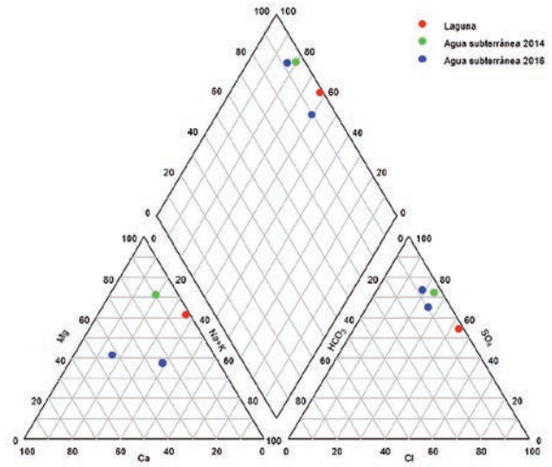


Figura 13.18. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de las muestras de la laguna de las Yeguas y su entorno

Durante el periodo de control (diciembre 2012-marzo 2014) la CE proporciona un valor medio de 109.150 µS/cm, con una pauta decreciente al principio de la serie y un ascenso paulatino posterior que culmina con el máximo relativo de abril de 2013. A partir de esta fecha disminuye hasta marcar un mínimo a finales de febrero de 2014, con 78.500 µS/cm, y terminar a finales del mes siguiente con el pico máximo, 240.500 µS/cm (figura 13.19).

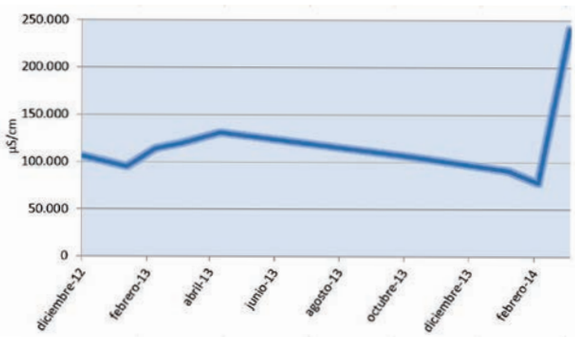


Figura 13.19. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna de las Yeguas entre diciembre de 2012 y marzo de 2014

	Fecha de análisis			26/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA	
				Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	47,7	10
	Boro	B	mg/L	4,434	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	40.061	250
	Conductividad	CE	µS/cm	98.300	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	148,0	50
	pH	-	Ud de pH	9,35	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	16.286	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	72.767	250

Tabla 13.12. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

El modelo conceptual de funcionamiento hídrico de este humedal es relativamente sencillo al no existir relación con las aguas subterráneas, así como carecer de cualquier otro tipo de aportes o detracciones, ya sean de carácter natural o antrópico. Se trata, en esencia, de una laguna que sólo es alimentada por la escorrentía superficial y por la precipitación caída sobre su vaso, y en la que el drenaje del sistema es debido a los procesos de evaporación y evapotranspiración que tienen lugar en la cubeta donde se almacena el agua.

Balance hídrico

Como en el resto de las lagunas, el balance hídrico se ha determinado mediante la metodología desarrollada en el proyecto Ecolake, basada en el cálculo diario de las entradas y salidas de agua a su vaso. Así, las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada existente en cada momento (con una superficie teórica máxima de la cubeta de 67,04 ha) y a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (921,8 ha), ya que se descartan los aportes de aguas subterráneas. Por su parte, las salidas son debidas a la evapotranspiración producida sobre la lámina de agua libre, limitada igualmente por el volumen de agua disponible.

El análisis geológico de la cuenca vertiente, según las distintas formaciones aflorantes, ha arrojado como resultado un suelo de tipo C (tabla 13.11). Por su parte, la pendiente media hallada ha sido del 2,3%, es decir, inferior al 3% (figura 13.20), mientras que al uso de la tierra se la ha asignado la tipología de labor de secano con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 13.20). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

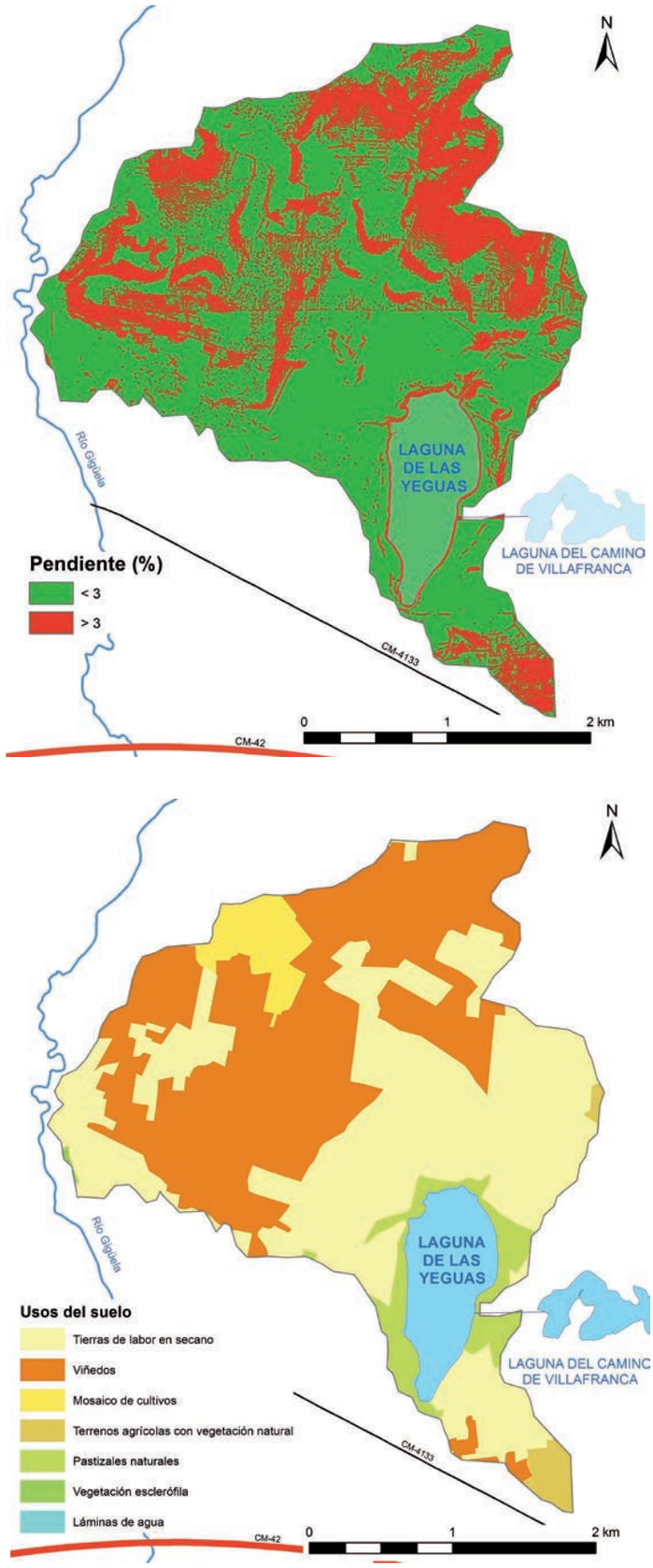


Figura 13.20. Cuenca hidrológica de la laguna de las Yeguas. Mapa de pendientes (arriba) y Mapa de usos del suelo (abajo) (Corine Land Cover 2012)

Los datos climáticos se han obtenido de la estación agroclimática Herencia del SIAR, para el periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo kc=1, escogido en este caso como más adecuado, y para la determinación de la evaporación se ha tenido en cuenta la extensión de la lámina de agua de la laguna en cada momento.

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC *(Antecedent Runoff Condition)* 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=51, que se corresponde con un valor de CN I=31 para condiciones de humedad baja y CN III=70 para condiciones de humedad alta. Esto supone un valor umbral de escorrentía (P_0) medio de 48,81 mm, con un máximo de 113,98 mm y un mínimo de 21,13 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 13.13).

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG se ha determinado el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación, con pasos de altura de 0,02 m. También se han obtenido y representado las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen (figura 13.21).

Finalmente, los resultados de la simulación para al periodo del proyecto Ecolake (2012-2014) muestran unos niveles de agua bastante bajos, ya que la laguna sólo almacena un cierto volumen de agua (lejos de su capacidad máxima) entre noviembre de 2012 y junio de 2013, y entre diciembre de 2013 y abril de 2014. En el año hidrológico 2013/14, relativamente seco (321 mm de lluvia), el agua acumulada es claramente inferior al de 2012/13.

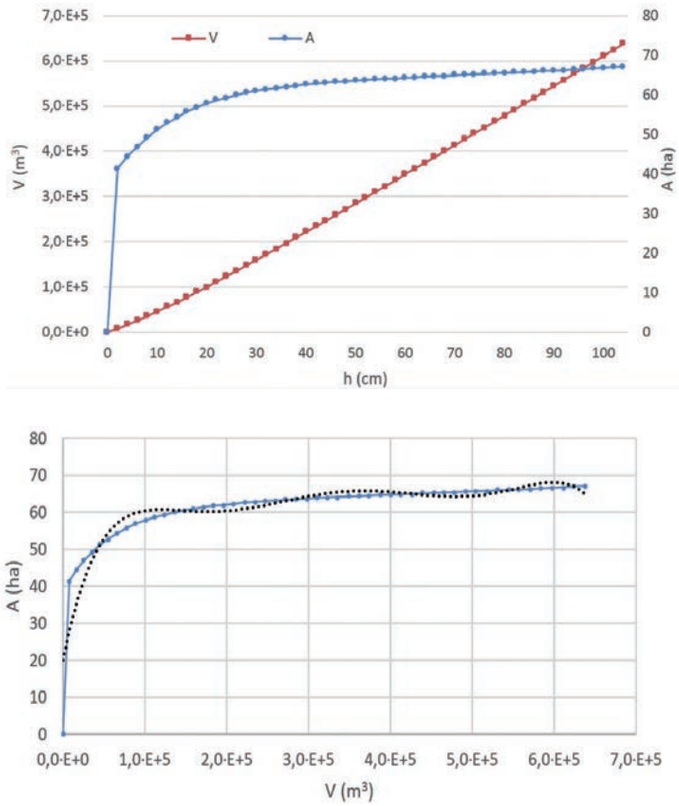


Figura 13.21. Laguna de las Yeguas. Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A) Abajo: relación entre área inundada (A) y volumen almacenado (V)

El balance hídrico medio anual obtenido para el mencionado periodo indica que los principales aportes de agua corresponden a la precipitación directa, con 161.135 m³ (79%), mientras que la escorrentía supone sólo 41.715 m³ (21%), siendo las salidas del sistema exclusivamente por evapotranspiración (tabla 13.14).

Con los parámetros validados para el periodo de calibración se ha procedido a la determinación del balance hídrico hiperanual del humedal para un periodo de 15 años (2001-2016). En esta simulación se observa que la laguna permanece seca gran parte del tiempo (figura 13.22), aunque en algunos años hidrológicos en los que la pluviometría es relativamente alta consigue acumular pequeños volúmenes de agua

Tabla 13.13. Cuenca de la laguna de las Yeguas. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
< 3	> 50% Labor de secano	Media baja	C	113,98	48,81	21,13

Año hidrológico	ENTRADAS			SALIDAS	Variación de volumen (m^3)
	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)	
2012/13	210.054	56.544	266.598	264.234	2.364
2013/14	112.215	26.885	139.101	141.465	-2.364
Media periodo	161.135	41.715	202.849	202.849	0

Tabla 13.14. Balance hídrico de la laguna de las Yeguas. Periodo 2012-2014

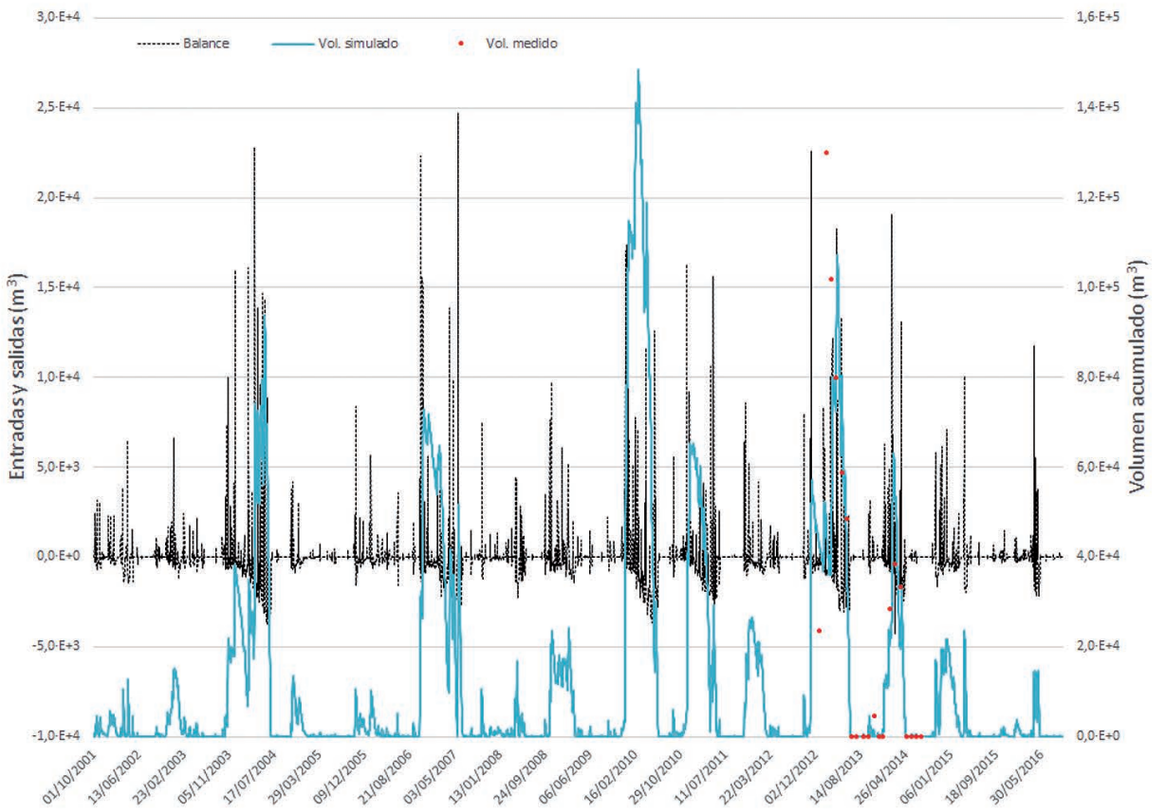


Figura 13.22. Simulación del balance hídrico para la laguna de las Yeguas. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

(años 2003/04, 2006/07, 2009/10 y 2012/13). Los resultados de la simulación muestran que la laguna se encuentra seca o con un volumen inundado muy escaso la mayor parte del tiempo (el 52% del tiempo la superficie inundada es inferior al 10% de la cubeta, 6,7 ha). La superficie máxima de inundación en este periodo (60,6 ha) se alcanzó en el año hidrológico 2009/10 como resultado de un periodo excepcionalmente húmedo iniciado en diciembre de 2009.

El balance hídrico hiperanual (15 años) muestra unos aportes medios por precipitación directa caída sobre la laguna de 111.549 m^3/año (78% de entradas) y, en menor medida, a la escorrentía generada en la cuenca vertiente a ella, 32.319 m^3/año (22% de entradas). Por su parte, las salidas de agua por evapotranspiración arrojan una media para el periodo estudiado de 143.868 m^3/año (tabla 13.15).

DATOS			ENTRADAS			SALIDAS
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km^2)	Área media inundada (m^2)	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)
348,90	9,22	185.834	111.549	32.319	143.868	143.868

Tabla 13.15. Balance hídrico hiperanual de la laguna de las Yeguas. Periodo 2001-2016

Evolución visual del territorio

Las dos imágenes que constituyen la figura 13.23 reflejan cómo el paso de los años ha modificado sensiblemente el enjambre parcelario en el entorno lagunar, manteniendo los recintos esteparios intactos y mejorando la red de caminos principales que dan paso a los cultivos, incrementando los carriles secundarios. Muestran también cómo la red de carreteras evoluciona a la par que los requerimientos que imponen los tiempos modernos, con la consecuente alteración del paisaje agrario. Destacar la conservación del canal artificial que une la laguna de las Yeguas con su hermana Camino de Villafranca, si bien la obra ha sido abandonada y actualmente se encuentra cerrada por una mota que impide la antigua conexión.

La característica marcada estacionalidad de este humedal queda reflejada en las fotografías de las páginas siguientes (figuras 13.24 a 13.29). Durante el periodo estival predomina en la cubeta un tapiz salino de tonalidades claras, mientras que la periferia adquiere un marcado aspecto de secarral. En cambio, en épocas húmedas la laguna resplandece con una lámina de agua poco profunda pero extensa que invita a su contemplación.

Figura 13.23. Laguna de las Yeguas. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

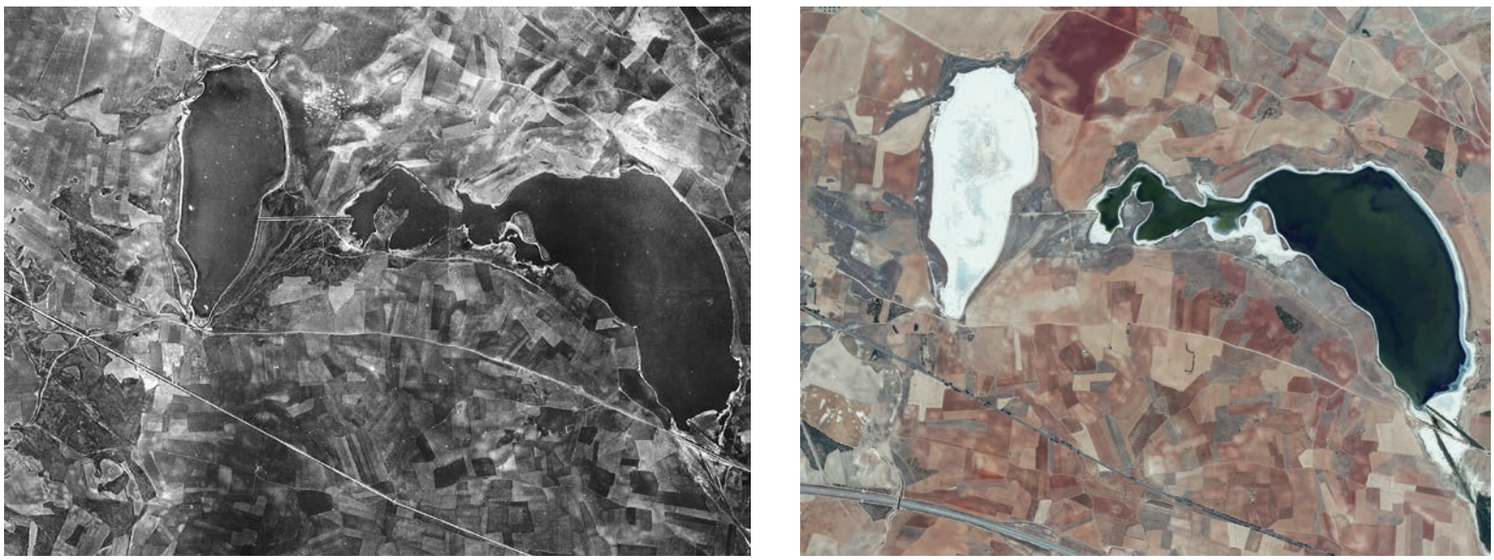


Figura 13.24. Panel informativo de la laguna de las Yeguas (B.J. Ballesteros)





Figura 13.25. Laguna en febrero de 2018, época húmeda (C. Camuñas)



Figura 13.26. Extremo norte del humedal y flora ribereña (B.J. Ballesteros)



Figura 13.27. Vista del flanco oriental donde se emplaza uno de los observatorios de aves, con los cerros nevados al fondo (C. Camuñas)



Figura 13.28. Humedal en noviembre de 2014 con cierta lámina de agua (B.J. Ballesteros)



Figura 13.29. Laguna seca en julio de 2016, evidencia de su estacionalidad (L.A. Carreño)

13.3. LAGUNA DEL CAMINO DE VILLAFRANCA

Situación geográfica, coordenadas y accesos

La laguna del Camino de Villafranca, también conocida antiguamente como laguna *Larga* o *La Esperanza*, se asienta entre sus dos hermanas de complejo (figura 13.30). Separado 4,5 km del centro urbano de Alcázar de San Juan las coordenadas de su punto central son X: 478050, Y: 4362650 (UTM ETRS89 H30) y su altitud de 632,1 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

La proximidad entre las tres lagunas del complejo conlleva que las vías de comunicación sean muy semejantes, si no las mismas, y por tanto citadas anteriormente. Así, al sur del humedal discurren la autovía de los Viñedos CM-42, la carretera nacional N-420 y la más cercana carretera CM-4133, que une Madridejos con Alcázar de San Juan. Esta da acceso a la laguna de las Yeguas, y por caminos agrícolas reconduce al costado sur de la laguna del Camino de Villafranca.

Para alcanzar de forma directa el margen norte del humedal se debe tomar el camino del Saladillo, que nace en el extremo oeste del polígono industrial Emilio Castro de Alcázar de San Juan y discurre algo serpenteante en dirección sureste-noroeste, atravesando el flanco este y norte de la laguna hasta intersectar con el camino de Saavedra, en las inmediaciones de las Yeguas. Al norte de la zona endorreica existe un gran número de caminos en el conocido Campo de San Juan, entrelazados entre sí, pero con una dirección sureste-noroeste prioritaria. Entre ellos destaca el camino de Tello, que acerca a los visitantes al conocido pozo de Tello (figura 13.31), distante unos 500 m al norte de la laguna del Camino de Villafranca y cuya existencia data, al menos, del siglo XVI.



Figura 13.31. Una losa rectangular de arenisca rojiza hace las funciones de brocal del pozo de Tello (C. Camuñas)



Figura 13.30. Situación geográfica de la laguna del Camino de Villafranca (hoja 713 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

Cerca del canal artificial que conecta la laguna de las Yeguas con la del Camino de Villafranca, actualmente bloqueado por un cúmulo de tierra, nace el camino del Pozo de la Laguna, que bordea el margen sur de esta última hasta intersectar con el camino de Villafranca de los Caballeros. En esta zona sur transitan también el camino del Velador y el carril del Cocedero de los Frailes.

Características fisiográficas

La laguna del Camino de Villafranca, de carácter endorreico, hipersalina y estacional, se encuentra condicionada por las aguas que, a través de un canal, recibe de su hermana de complejo, la Veguilla. Tiene una morfología arriñonada de aproximadamente 1,7 km de longitud y 0,7 km de anchura, con una prolongación sinuosa al oeste que se extiende casi 1 km (figura 13.32), perfilando una superficie de máxima inundación de 136,37 ha que la sitúan en la tercera posición de las lagunas incluidas en esta publicación. Su perímetro aproximado es de 9,8 km, según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021 (BOE, 2016).

Como ocurre con la mayoría de los humedales manchegos, el vaso lagunar queda embalsado en la zona



Figura 13.32. Laguna del Camino de Villafranca en el año 2015 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

endorreica y rodeado por terrenos algo más elevados. Unos metros más al norte se eleva, unos 12 m por encima del vaso, una lineación de cerros que destaca sobre la planicie imperante en el paisaje, desde donde se tiene una vista preferente del humedal. La orilla sur de la laguna es más escarpada, con un escalón de unos 35 cm que da paso a un gran entramado de cultivos de cereal y viñedos.

Normativa específica y figuras de protección

Durante las décadas de los 80 y 90 del siglo XX se dota a este espacio de una amplia protección dentro de los ámbitos internacional, europeo y nacional. En este sentido, a nivel internacional, la laguna del Camino de Villafranca forma parte de la Reserva de la Biosfera "La Mancha Húmeda", declarada por la UNESCO en 1980, por ser un espacio de gran riqueza natural y cultural, y está incluida desde marzo de 1993 en la Lista del Convenio de Ramsar de Humedales de Importancia Internacional, como hábitat de aves acuáticas.

Además, al estar rodeado de vegetación halófila y marginal de gran interés botánico, este humedal también se encuentra incluido en la Red Natura 2000 y ha sido declarado Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Humedales de La Mancha". A nivel autonómico, Castilla-La Mancha lo declaró Refugio de Caza por Decreto 128/1988, de 10 de octubre y, posteriormente, en 1993, fue declarado Refugio de Fauna con la aprobación de la Ley de Caza.

Es propiedad de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y además cuenta con un Plan de Ordenación de los Recursos Naturales desde 1999 (tabla 13.16).

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA DEL CAMINO DE VILLAFRANCA
RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA
Declaración de la UNESCO de 30 de noviembre de 1980
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Humedales de La Mancha", código ES4250010 Zona de Especial Protección para las Aves Z.E.P.A. "Humedales de La Mancha", código ES0000091
REFUGIO DE FAUNA
Decreto 128/1988, de 10 de octubre, por el que se declara refugio de caza las lagunas del Camino de Villafranca y la de las Yeguas, ubicadas en Alcázar de San Juan de la provincia de Ciudad Real (DOCM nº 4, de 18-10-1988). Con la aprobación de la Ley de Caza por las Cortes Regionales de Castilla-La Mancha en 1993, se reclasificaron todos los Refugios de Caza como "Refugios de Fauna"
CONVENIO RAMSAR
Incluida en la Lista de Humedales de Importancia Internacional (Humedal Ramsar) desde el 26 de marzo de 1993. Sitio Ramsar 595. Listado de Humedales Ramsar en España nº 21
RESERVA NATURAL
Decreto 214/1999, de 19 de octubre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las lagunas del Camino de Villafranca, las Yeguas y la Veguilla, y se declara la Reserva Natural del complejo lagunar de Alcázar de San Juan (DOCM nº 66, de 22-10-1999)

Tabla 13.16. Figuras de protección de la laguna del Camino de Villafranca

Valores históricos y culturales

Salina de interior

Un manuscrito de 1853 de la Diputación Provincial de Madrid, referente a las Espartinas, recoge que en los siglos XVII a XIX la explotación salina de esta laguna, a la que denomina *"Larga"*, estaba sujeta a la Administración Real establecida en la villa de Quero: *"Estas lagunas se hallan acotadas por disposición que dio la Dirección General de Rentas en 5 de septiembre de 1780, y están situadas en los términos de las Villas siguientes: … Yeguas, Larga: su charco y cerro mesado en el de Alcázar"*.

Otros aprovechamientos

Según manifestación del técnico ambiental Pablo Pichaco, otra utilidad era el lavado de animales de carga ya que, gracias a su alto contenido en sales (figura 13.33), lograban su desparasitación.

Hidrología

Como sus hermanas de complejo, la cuenca hidrológica de la laguna del Camino de Villafranca también se localiza en la cuenca alta del río Guadiana y su origen es exógeno, debido a la segmentación de antiguos cauces fluviales, situándose su vaso en una antigua difluencia fluvial. Su área vertiente, de 5.309 ha, se extiende sobre los términos municipales de Alcázar de San Juan y Campo de Criptana y la relación entre la superficie total y la de la propia laguna es de 39 a uno (figura 13.34).

La cuenca tiene aspecto semicircular con un ligero alargamiento en dirección sureste-noroeste, lo que la hace más estrecha en su tercio oriental. La zona



Figura 13.33. Crisol de colores del perímetro lagunar (L.A. Carreño)

inundada se sitúa en su límite suroeste y a unos 4,5 km del núcleo urbano de Alcázar de San Juan.

El relieve es algo más acentuado que en las otras dos cuencas del complejo, con 133 m de diferencia entre las cotas más elevadas (765,2 m s.n.m.), localizadas en la zona más oriental, y el fondo de la cubeta del humedal (632,1 m s.n.m.), siendo la altitud media de 663,7 m s.n.m. y la pendiente media del 3,3%.

La red de drenaje principal la constituyen dos cauces cuyas áreas vertientes ocupan el sector norte de la cuenca hidrológica y aportan agua al humedal a pesar de su carácter estacional. El principal es el arroyo del Albardial, con casi 6 km de longitud, que transita con dirección este-oeste en su tramo más cercano a la cubeta y norte-sur en el más alejado. De menor relevancia es el arroyo de Juana Jiménez que, en este caso, tiene una longitud de 3,3 km y discurre en sentido norte-sur.

Geología

Al igual que sucede en la contigua laguna de las Yeguas, la cuenca vertiente de la del Camino de Villafranca, pese a su mayor extensión, está ocupada mayoritariamente por afloramientos de sedimentos triásicos, en este caso en sus distintas facies. En mucha menor medida, y con un gran salto en el tiempo, aparecen sedimentos paleógenos, reducidos a una pequeña extensión en su extremo noroccidental. También están moderadamente representados los depósitos miocenos y cuaternarios (figura 13.35). Por último, y de manera casi testimonial, aparecen formaciones jurásicas, estando ausentes las de edad cretácica.

La mayor parte de los afloramientos (tabla 13.17) corresponden a formaciones impermeables y de baja permeabilidad. Concretamente, las primeras (Tipología D: 40%) están representadas por arcillas, margas y limos con yesos del Trías Keuper y por las arcillas y limos con yesos del Mioceno inferior-medio. Los materiales considerados de baja permeabilidad (Tipología C: 40%) son las arcillas,

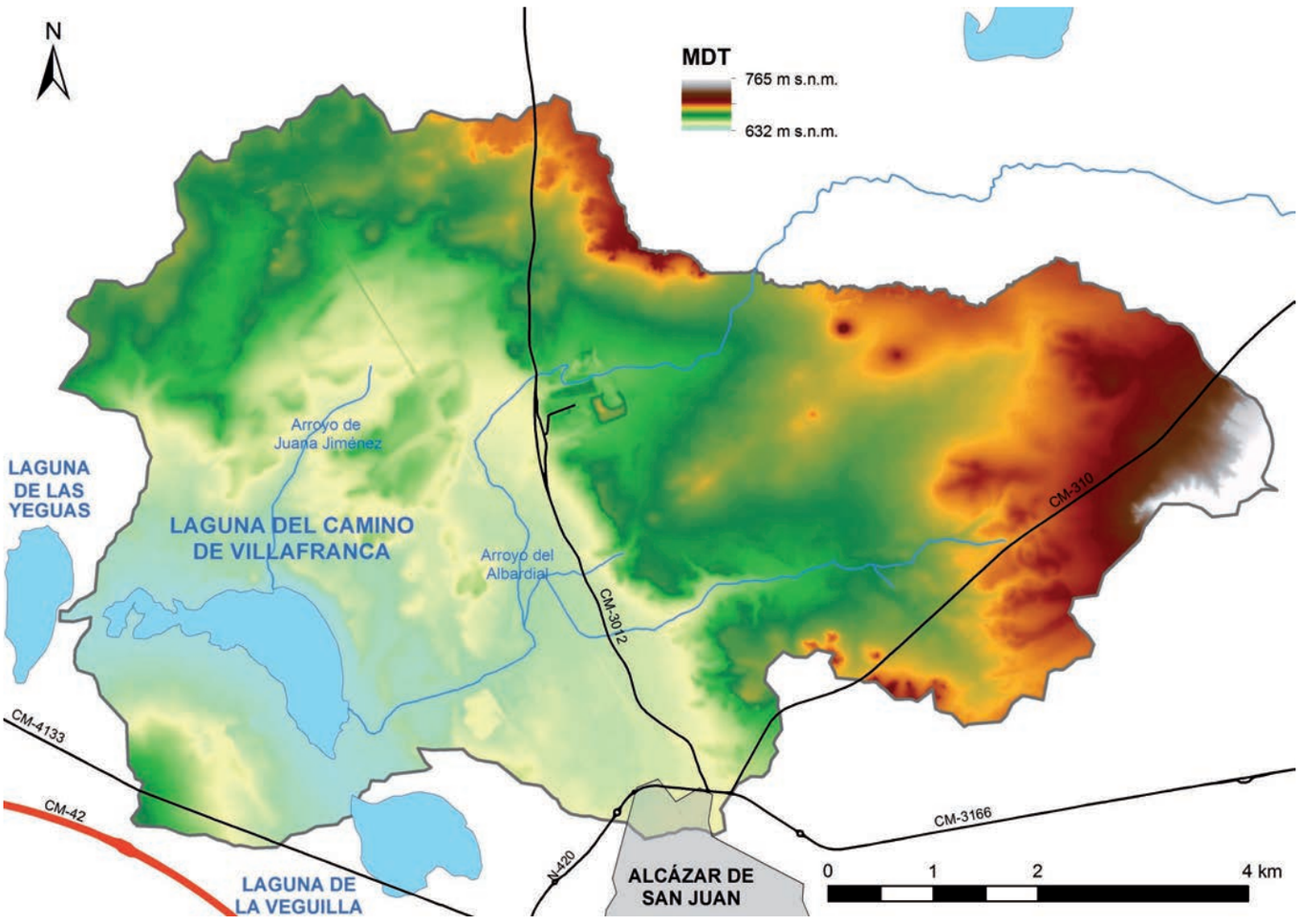


Figura 13.34. Cuenca hidrológica de la laguna del Camino de Villafranca

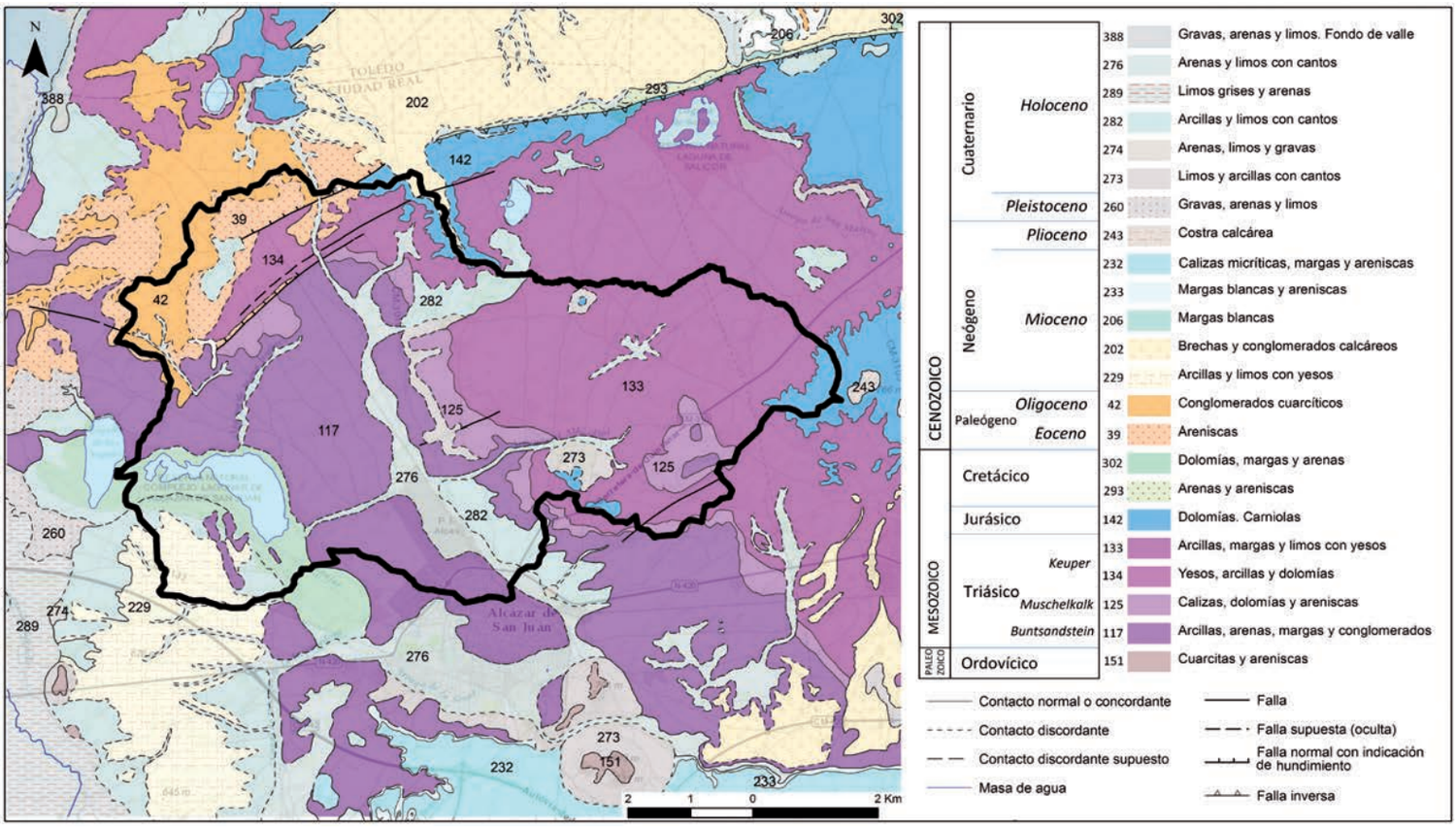


Figura 13.35. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna del Camino de Villafranca (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

arenas, margas y conglomerados del Triásico en facies Buntsandstein, y los limos y arenas del Cuaternario.

A los niveles de areniscas del Eoceno y a los conglomerados cuarcíticos del Oligoceno se les atribuye una permeabilidad media (Tipología B: 10%), mientras que los sedimentos considerados de alta permeabilidad (Tipología A: 10%) se asignan a las calizas y dolomías de la facies Trías Muschelkalk, a las intercalaciones de dolomías del Trías Keuper y a las dolomías de edad jurásica.

En orden cronológico, los niveles más antiguos pertenecen a la facies Buntsandstein del Trías, depositados en un medio de llanura de marea con canales fluviales. En la parte basal de estos sedimentos aparecen arenas rojas y pardas con estratificación cruzada, sobre las que se asienta de forma concordante una secuencia de areniscas rojas de textura fina y estratificación tendida, con bases suavemente canalizadas y geometrías de relleno de paleocanales. En posición suprayacente se dispone una alternancia de areniscas rojas y arcillas limolíticas que predominan hacia el techo. Estos tramos culminan con arcillas rojizas, en ocasiones verdosas, con in-

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
FORMACIÓN GEOLÓGICA	Edad	Tipología	%
Calizas y dolomías	Triásico (Muschelkalk)	A	10
Dolomías	Triásico (Keuper)	A	
Dolomías	Jurásico	A	
Areniscas y conglomerados cuarcíticos	Paleógeno (Eoceno-Oligoceno)	B	10
Arcillas, conglomerados, areniscas y margas	Triásico (Buntsandstein)	C	40
Limos y arenas	Cuaternario	C	
Arcillas, margas y limos con yesos	Triásico (Keuper)	D	40
Arcillas y limos con yesos	Mioceno inferior-medio	D	
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Tabla 13.17. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna del Camino de Villafranca

tercalaciones margosas y areniscas rojas de grano fino con bancos conglomeráticos de base erosiva, formando paleocanales de poca potencia y amplia extensión lateral. Su ubicación se limita a la franja oeste de la cuenca y perfila el flanco norte de la laguna. Sobre los materiales anteriores, en capas delgadas y tonalidades grisáceas que las destaca frente a la coloración rojiza de las unidades infra y suprayacentes, aparecen las calizas y dolomías de la facies Muschelkalk del Trías, distribuidas a retazos en la zona central de la cuenca.

La secuencia estratigráfica continúa con la unidad esencialmente lutítica y evaporítica de la facies Keuper. Su litología es de arcillas de color rojo púrpura con intercalaciones de margas y limos con yesos, si bien en su mitad inferior aparecen algunos niveles carbonáticos. Esta formación presenta un amplio desarrollo, especialmente en la mitad oriental. La serie triásica culmina con un delgado tramo de dolomías tableadas, relegadas al extremo noroeste. También de forma puntual y casi testimonial, en los bordes norte y este aparecen pequeños afloramientos de dolomías pertenecientes a la base del Jurásico.

Los materiales paleógenos afloran en el extremo noroccidental de la cuenca. Están constituidos por areniscas cuarcíticas del Eoceno y por conglomerados cuarcíticos del Oligoceno en clara discordancia sobre las formaciones triásicas. El Mioceno inferior-medio, con facies de sedimentos distales de abanicos aluviales, aparece en el sector suroeste y está representado por limos con yesos, arcillas rojizas y margas.

El Pleistoceno, con una litología variada de arenas y limos con tonos ocres y grisáceos entre las que intercalan niveles de gravas con cantos de cuarcita, cuarzo y, en menor proporción, calizas, conforma las terrazas aluviales que se extienden por la franja centro-occidental de la cuenca.

Por último, los sedimentos más recientes del Cuaternario, compuestos por limos y arenas con cantos, rellenan las vaguadas y fondos de valle.

El esquema geológico general en el que se enmarca la cuenca vertiente al humedal es claramente el de una estructura en antiforme de dirección NW-SE con un flanco oriental de buzamiento muy suave (4º), donde la zona inundada queda emplazada en el eje del mismo.

Hidrogeología

El esquema hidrogeológico en el que se enmarca la laguna del Camino de Villafranca es similar al de las Yeguas (figura 13.36), de la que apenas dista 300 m,

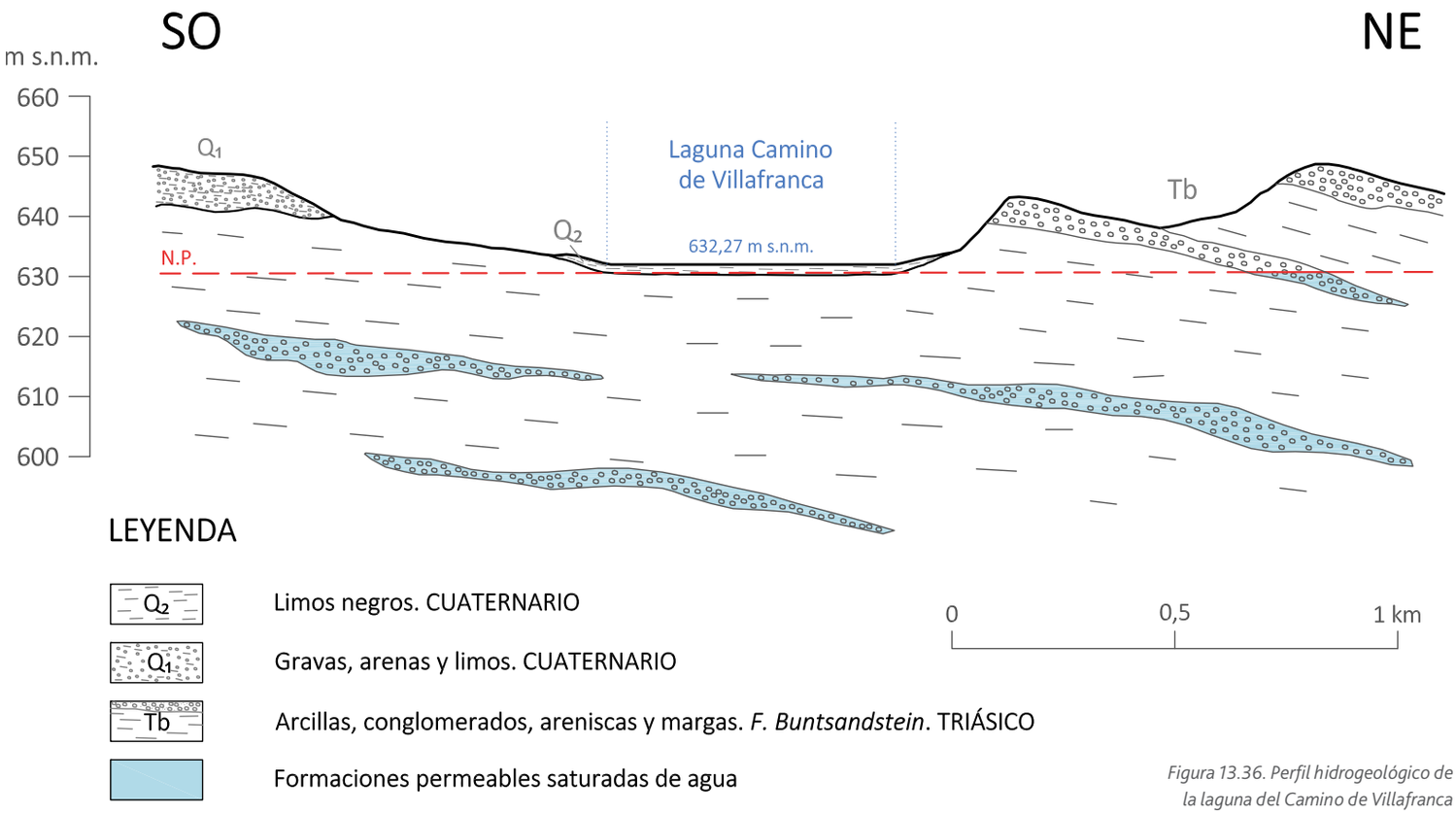


Figura 13.36. Perfil hidrogeológico de la laguna del Camino de Villafranca

así como de la Veguilla, en este caso unos 500 m. Es decir, su vaso se extiende totalmente sobre la formación geológica de arcillas y margas pertenecientes al Trías en facies Buntsandstein (Tb), materiales impermeables de gran espesor que pueden alcanzar hasta 180 m de potencia. No obstante, intercalados en esta secuencia y englobados por los sedimentos arcillosos mayoritarios, aparecen lentejones de areniscas y conglomerados con escasa continuidad lateral y reducido espesor que presentan permeabilidad media-baja por porosidad intergranular. En la cuenca aparecen otros sedimentos con cierta permeabilidad, como las areniscas y conglomerados paleógenos que afloran en el extremo noroccidental, dispuestos tabularmente y mediante discordancia erosiva sobre la facies Buntsandstein, pero su base se encuentra por encima del humedal y por tanto, carecen de relación hídrica con él.

El esquema hidrogeológico descrito, junto con el carácter impermeable de la facies Buntsandstein, impide la interconexión del ecosistema con las aguas subterráneas. Existen, sin embargo, algunos pozos y sondeos en los alrededores con rendimientos muy precarios que captan los horizontes parcialmente confinados de areniscas y conglomerados intercalados en la mencionada formación. El flujo subterráneo relacionado con estos materiales presenta una componente suroeste y una piezometría muy condicionada por la topografía, con cotas muy próximas a la superficie y un gradiente del orden del 0,3% (figura 13.37). La fluctuación en el nivel del agua llega a ser de algunos metros entre la época seca y la húmeda. También existen niveles de agua más profundos que son captados por las perforaciones de mayor longitud.

La calidad de las aguas subterráneas es deficiente, con una CE entre 2.000 y 4.000 µS/cm creciente hacia el suroeste, en dirección al río Gigüela y en el sentido del flujo subterráneo (figura 13.38), valores que en épocas de baja pluviosidad pueden incrementarse sustancialmente.



Figura 13.37. Mapa piezométrico (m s.n.m.) y sentido del flujo subterráneo. Junio de 2016 (IGN)



Figura 13.38. Mapa de isoconductividades eléctricas (µS/cm) de las aguas subterráneas (IGN)





Hidroquímica

En cuanto a la calidad del agua de la laguna, la CE alcanza los 76.100 µS/cm y el pH 8,39, si bien los aportes de menor salinidad que recibe de la contigua laguna de la Veguilla han modificado sus condiciones naturales. Por su parte, la muestra de agua subterránea de un sondeo cercano adquiere un valor de 1.993 µS/cm con un pH inferior a 8,0. Por último, la muestra del canal que interconecta ambos ecosistemas aporta un valor de CE de 4.960 µS/cm y un pH de 8,04.

De forma similar a las Yeguas, los aniones mayoritarios son mucho más elevados en la laguna que en el agua subterránea, con las diferencias más notables a cargo de los sulfatos y los cloruros. En el agua subterránea los primeros arrojan un valor de 410 mg/L y los segundos de 205 mg/L, mientras que en la laguna se obtienen 21.558 mg/L para los cloruros y 57.446 mg/L para los sulfatos.

Los cationes sodio, magnesio y potasio se mantienen en proporciones similares a los aniones, esto es, en cantidades muy elevadas en la laguna frente a las registradas en el agua subterránea. En consecuencia, la facies hidroquímica en la laguna es sulfatada-clorurada magnésico-sódica (figura 13.39) y la del agua subterránea sulfatada-clorurada magnésica. Por otro lado, las muestras del canal adquieren una facies sulfatada-clorurada sódica en la muestra de 2014, pasando a sulfatada-bicarbonatada sódico-cálcica en 2016 (figura 13.40).

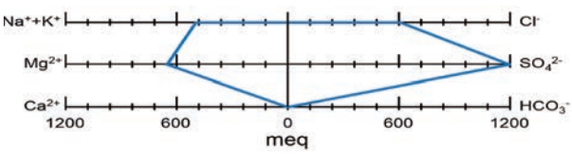


Figura 13.39. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna del Camino de Villafranca. Fecha de análisis 26/11/2014

En la tabla 13.18 se compara la calidad del agua de la laguna con los valores recogidos en la normativa que regula las aguas de consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero), por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad de dichas aguas.

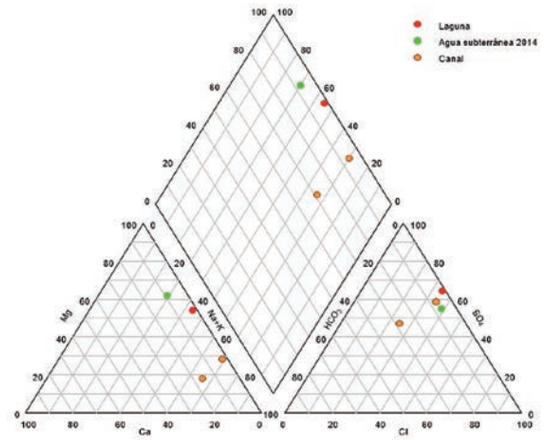


Figura 13.40. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de la muestra de la laguna del Camino de Villafranca, pozo cercano y canal

Durante el periodo de control (diciembre 2012-julio 2014, figura 13.41) la CE en la laguna registra, tras un pico máximo relativo de 81.750 µS/cm al inicio de la serie, valores bajos, de 15.780 a 23.260 µS/cm, entre enero y julio de 2013, fecha a partir de la cual experimenta un ascenso progresivo hasta alcanzar el máximo de la serie, 132.300 µS/cm, en noviembre de 2013. En los meses siguientes se registra un descenso algo más brusco, hasta mantenerse en valores cercanos a los 35.000 µS/cm, marcando un nuevo pico relativo de 51.600 µS/cm en junio de 2014 y el mínimo de la serie en su último mes, con apenas 10.190 µS/cm.

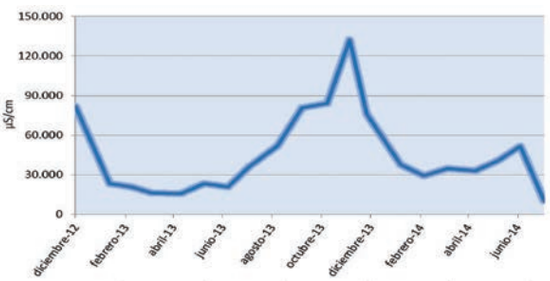


Figura 13.41. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna del Camino de Villafranca entre diciembre de 2012 y julio de 2014

	Fecha de análisis			26/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA	
				Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	88,6	10
	Boro	B	mg/L	9,029	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	21.558	250
	Conductividad	CE	µS/cm	76.100	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	50	50
	pH	-	Ud de pH	8,39	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	10.154	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	57.446	250

Tabla 13.18. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

El funcionamiento hídrico de este humedal está fuertemente condicionado por la acción humana. En régimen natural estaba aislado y era de carácter temporal, mientras que en la actualidad presenta inundación casi permanente gracias a los aportes que recibe de la laguna de la Veguilla, con la que está conectada por medio de una canalización, receptora a su vez de las aguas residuales de Alcázar de San Juan. Sólo cuando cesan estos aportes durante el periodo estival la laguna puede llegar a secarse.

Independientemente de la citada circunstancia, su modelo conceptual es relativamente sencillo al no existir relación con las aguas subterráneas. En consecuencia, la laguna sólo es alimentada, además de los aportes antrópicos, por la escorrentía superficial y por la precipitación caída sobre su vaso. Por otro lado, su drenaje se produce por los procesos de evaporación y evapotranspiración que tienen lugar en la cubeta de la propia laguna.

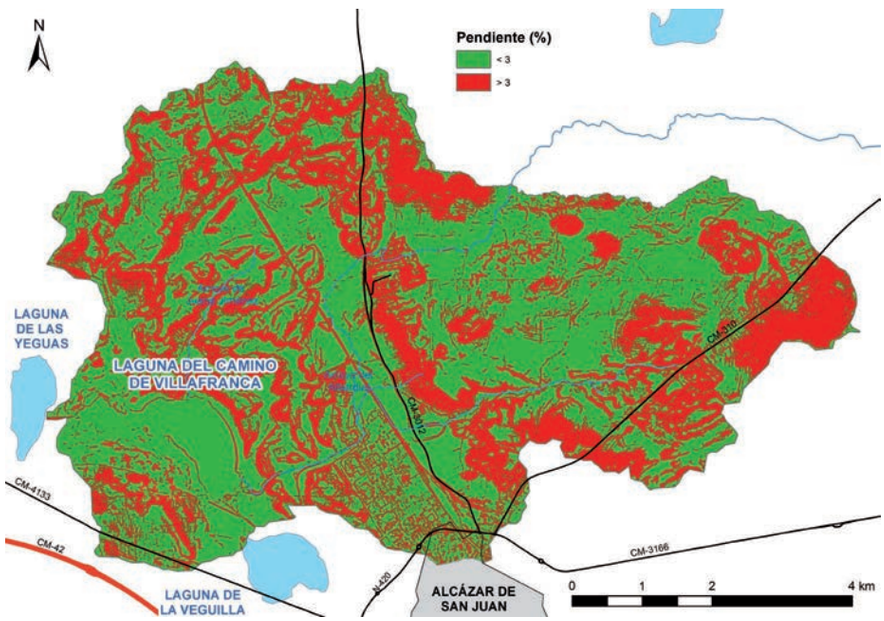
Balance hídrico

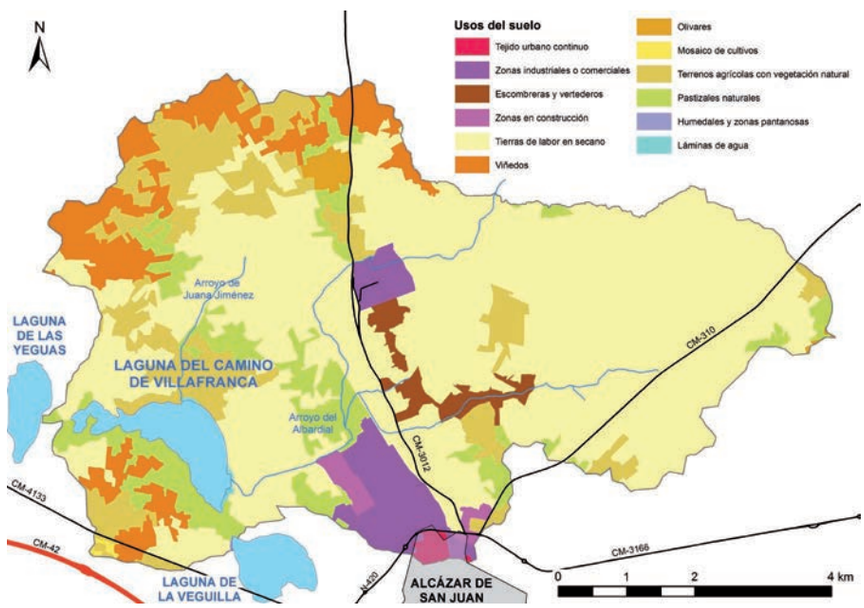
Como en el resto de las lagunas, el balance hídrico de la laguna del Camino de Villafranca se ha determinado mediante la metodología desarrollada en el proyecto Ecolake, basada en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua a su vaso. Así, las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada existente en cada momento (superficie máxima de la cubeta de 136,37 ha), a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (5.308 ha) y a los aportes canalizados desde la vecina laguna de la Veguilla cuando ésta alcanza un cierto nivel de agua. Por su parte, las salidas se deben únicamente a la evaporación producida sobre la lámina de agua libre, limitada por el volumen disponible, si bien son posibles pequeñas salidas ocasionales a la misma Veguilla cuando las condiciones lo permiten. Se descarta, por tanto, cualquier tipo de aporte o cesión a las aguas subterráneas.

Los datos climáticos se han obtenido de la estación agroclimática Herencia del SIAR para el periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por el coeficiente de cultivo kc=1, escogido en este caso como más adecuado considerando la ausencia de vegetación macrófita en la cubeta, y para la determinación de la evaporación se ha tenido en cuenta la extensión de la lámina de agua de la laguna en cada momento.

El análisis geológico de la cuenca vertiente, según las distintas formaciones aflorantes, ha arrojado como resultado un suelo de tipo C (tabla 13.17). Por su parte, la pendiente media hallada ha sido del 3,3%, es decir, superior al 3% (figura 13.42), mientras que al uso de la tierra se la ha asignado la tipología de labor de secano con un porcentaje de

Figura 13.42. Cuenca hidrológica de la laguna del Camino de Villafranca. Mapa de pendientes (arriba) y Mapa de usos del suelo (abajo) (Corine Land Cover 2012)





ocupación superior al 50% (figura 13.42). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC *(Antecedent Runoff Condition)* 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=65, que se corresponde con un valor de CN I=45 para condiciones de humedad baja y CN III=82 para condiciones de humedad alta. Esto supone unos valores umbral de escorrentía (P_0) medio de 27,35 mm, con un máximo de 61,05 mm y un mínimo de 11,03 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 13.19).

La estrecha conexión existente entre las lagunas del Camino de Villafranca y la Veguilla ha obligado a que su balance hídrico se haya hecho de forma conjunta para ambas. En consecuencia, los aportes canalizados desde la laguna de la Veguilla se han simulado a partir del balance realizado para esta última, en el que se considera que se produce una salida de agua con un caudal de 4.000 m³/d cuando alcanza un cierto volumen (130.000 m³). Por tanto, los aportes no son constantes, sino que dependen del nivel de inundación de la Veguilla.

La batimetría de la cubeta se ha definido a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG se ha establecido el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación con pasos de altura de 0,02 m. También se han obtenido y representado las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen (figura 13.43).

Finalmente, los resultados de la simulación para el periodo 2012-2014 muestran niveles de agua bastante altos y por encima de lo que es habitual en las lagunas estudiadas. Esto se debe, sin duda, a los aportes procedentes de la laguna de la Veguilla, que a su vez recibe

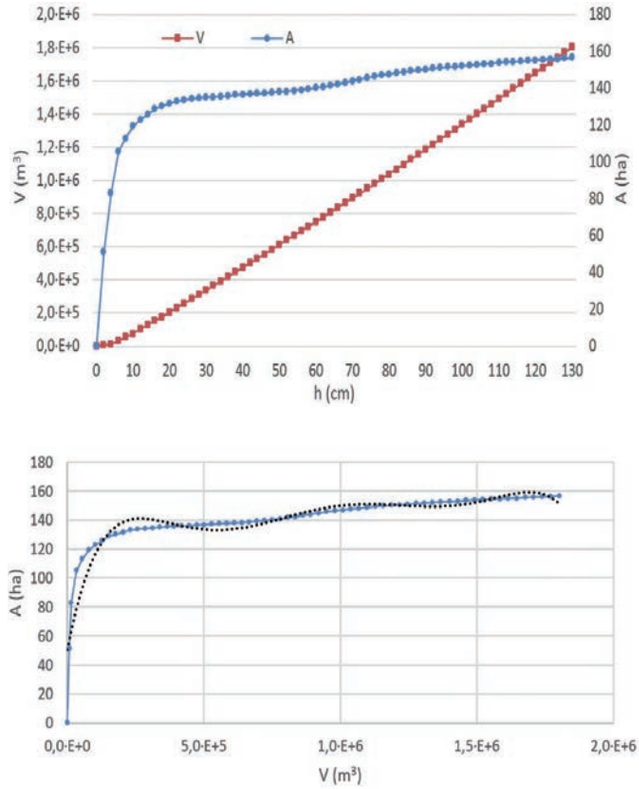


Figura 13.43. Laguna del Camino de Villafranca.
Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A).
Abajo: relación entre área inundada (A) y el volumen almacenado (V)

de forma continua los caudales de la EDAR de Alcázar de San Juan, con excepción del periodo estival, momento en el que la laguna puede llegar a secarse, pero almacena volúmenes notables en los restantes meses. De los dos años hidrológicos analizados en la calibración, el 2013/14, clasificado como seco, es el que acumula menos agua debido a su pluviometría (321 mm), inferior a la de 2012/13 que fue más húmedo.

El balance hídrico medio anual obtenido para el mencionado periodo indica que el principal aporte de agua procede de la laguna de la Veguilla (59%), mientras que la precipitación directa (36%) y la escorrentía (5%) contribuyen en mucha menor medida a su alimentación. Como ya se ha mencionado, las pérdidas de agua se deben únicamente a la evapotranspiración (tabla 13.20).

Tabla 13.19. Cuenca de la laguna del Camino de Villafranca. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
> 3	> 50% Labor de secano	Media baja	C	61,05	27,35	11,03

Año hidrológico	ENTRADAS				SALIDAS	Variación de volumen (m^3)
	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aportes laguna de la Veguilla (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP (m^3/año)	
2012/13	624.393	130.474	1.072.000	1.826.867	1.574.249	252.618
2013/14	418.000	15.213	616.000	1.049.213	1.301.831	-252.618
Media periodo	521.196	72.844	844.000	1.438.040	1.438.040	0

Tabla 13.20. Balance hídrico de la laguna del Camino de Villafranca. Periodo 2012-2014

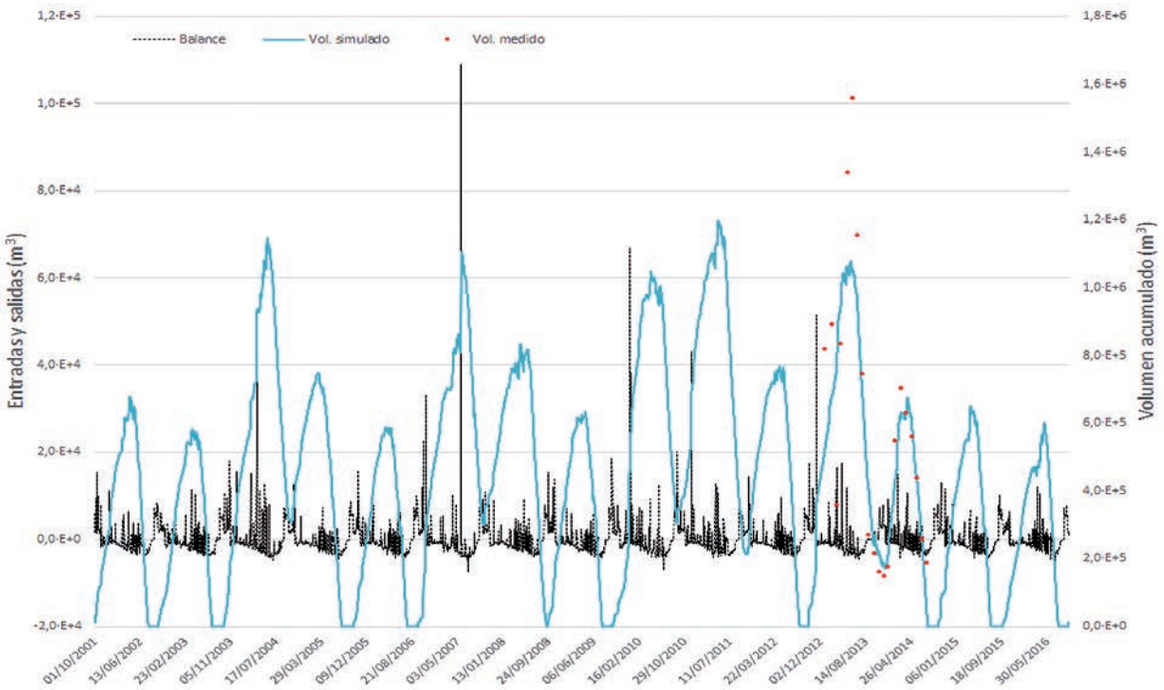


Figura 13.44. Simulación del balance hídrico para la laguna del Camino de Villafranca. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

Con los parámetros validados para el periodo de calibración se ha procedido a la determinación del balance hídrico hiperanual del humedal para un periodo de 15 años (2001-2016). En esta simulación se observa que sólo se seca en algunos años durante los meses de verano cuando cesan los aportes de los efluentes de la EDAR de Alcázar de San Juan a laguna de la Veguilla y, por tanto, no los hay desde ésta a la del Camino de Villafranca (figura 13.44). El resto del tiempo se acumulan notables volúmenes de agua y, como se acaba de comentar, también durante el periodo estival en años de mayor pluviometría. Los resultados de la simulación muestran que la laguna mantiene una superficie inundada amplia la mayor parte del tiempo (el 88% del tiempo la superficie inundada es superior al 75% de la cubeta, 102 ha). La superficie máxima de inundación en este periodo se alcanzó en el año hidrológico 2010/11 como resultado de un periodo excepcionalmente húmedo iniciado en diciembre de 2009.

El balance hídrico hiperanual (15 años) muestra que su alimentación se debe principalmente a los caudales procedentes de la laguna de la Veguilla (65%), mientras que la precipitación directa (31%) y la escorrentía (4%) contribuyen en menor medida (tabla 13.21). Por su parte, las salidas de agua se deben únicamente a la evapotranspiración.

DATOS			ENTRADAS				SALIDAS
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km^2)	Área media inundada (m^2)	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aportes laguna de la Veguilla (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)
348,90	53,09	1.210.828	459.650	54.019	952.267	1.465.935	1.465.935

Tabla 13.21. Balance hídrico hiperanual de la laguna del Camino de Villafranca. Periodo 2001-2016

Evolución visual del territorio

La diferencia entre las dos imágenes expuestas más abajo (figura 13.45) es un ejemplo claro exponente de los avances de las vías de comunicación en la zona a lo largo de los 55 años que las separan, con la construcción de nuevos trazados al sur de la laguna y la mejora de los principales caminos que la circundan. También el entramado parcelario ha sufrido cierta reestructuración, pero no así las zonas con vegetación esteparia que se han mantenido a lo largo del tiempo.

Su forma arriñonada junto con su prolongación occidental, irregular y serpenteante, proporcionan a este humedal un paisaje idóneo para su observación, con multitud de colores, reflejos y formas (figuras 13.46 a 13.51). La estacionalidad de la laguna se ve alterada por la conexión con su hermana de complejo, la Veguilla, que la dota de una mínima lámina de agua, aprovechada por algunas especies de aves acuáticas.

Figura 13.45. Laguna del Camino de Villafranca. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)





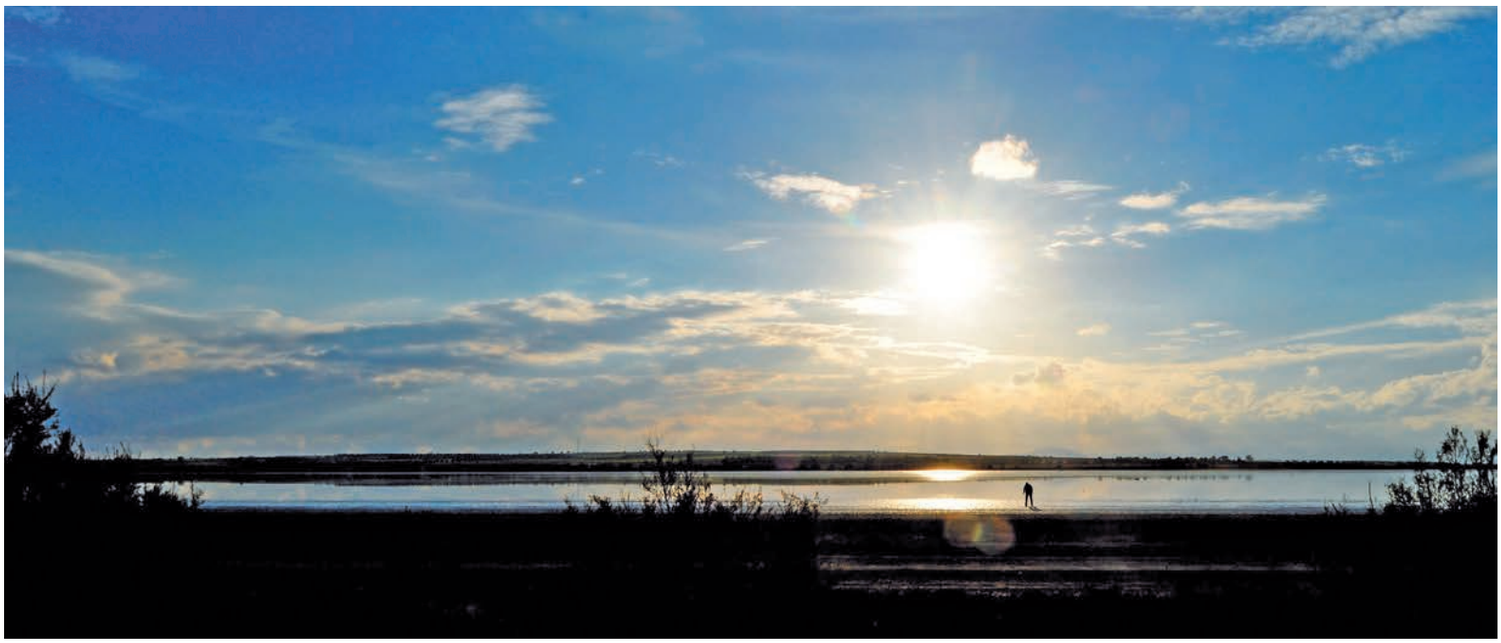


Figura 13.46. Atardecer en la laguna del Camino de Villafranca. Noviembre de 2014 (B.J. Ballesteros)

Figura 13.47. Mínima lámina de agua procedente de la Veguilla en periodo estival. Agosto de 2016 (C. Camuñas)





Figura 13.48. Extremo occidental del humedal. Febrero de 2018 (C. Camuñas)

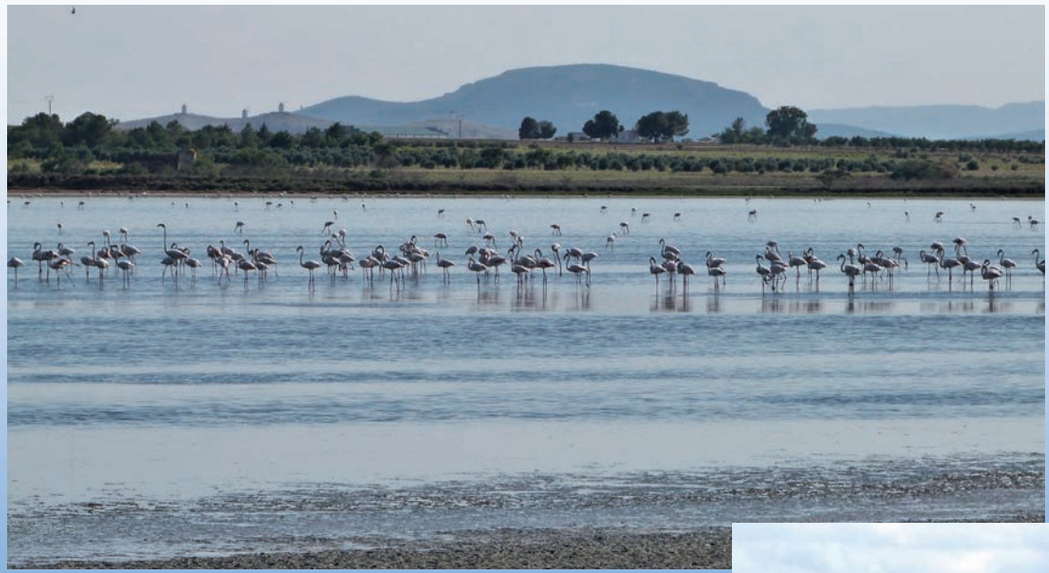


Figura 13.49. Avifauna en junio de 2018 (C. Camuñas)



Figura 13.50. Laguna en invierno (C. Camuñas)



Figura 13.51. Trabajos altimétricos en la laguna (B.J. Ballesteros)

13.4. LAGUNA DE LA VEGUILLA

Situación geográfica, coordenadas y accesos

De las tres que constituyen el complejo lagunar, la laguna más cercana al núcleo urbano de Alcázar de San Juan es la Veguilla (figura 13.52) distante apenas 2,5 km. Su punto central responde a las coordenadas X: 479250, Y: 4360800 (UTM ETRS89 H30) cuya altitud alcanza los 631,0 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

Son varias las vías de comunicación cercanas a la laguna, todas ellas al sur de la misma, como la autovía CM-42 o la carretera nacional CM-420. Ahora bien, la entrada más directa queda en el margen derecho de la carretera CM-4133 después de recorridos 800 m desde la rotonda situada a la salida de la población. En este lugar nace un camino de tierra que lleva a uno de los observatorios de aves y continúa hasta el centro de interpretación y la depuradora de aguas residuales.

Entre los caminos rurales del entorno cabe destacar el camino de Villafranca de los Caballeros y el camino del Saladillo, que se intersectan al norte del humedal. En el extremo noroeste, y bordeando este flanco, serpentea el camino del Velador, cuyo trazado tuvo que ser modificado por la elevación de la lámina de agua en la Veguilla.

Características fisiográficas

La laguna, de carácter endorreico, perfila un contorno suave semicircular en su mitad norte con un radio aproximado de 1 km, alargándose en su extremo noroeste y quedando cortada al sur por la carretera, caminos de acceso y en lo que en su momento fueron escombreras incontroladas (figura 13.53). El perímetro aproximado del vaso es de 3,6 km y la superficie máxima de inundación de 70,73 ha, según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021 (BOE, 2016).

Como ocurre con sus hermanas de complejo, las escasas diferencias topográficas existentes perfilan un horizonte llano donde la orilla de la mitad norte del humedal asciende paulatinamente, al contrario que sus extremos sur y sureste, en los que existe un escarpe artificial elevado unos 4 m sobre la cubeta.



Figura 13.52. Situación geográfica de la laguna de la Veguilla (hoja 713 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

La red fluvial queda restringida al curso del arroyo de la Serna que, entre parcelas edificadas en su primer tramo y cultivadas en sus tramos finales, bordea el núcleo urbano hasta alcanzar el flanco sur del humedal con un encajamiento poco acusado. Es de destacar, igualmente, la zanja del canal de desagüe de la depuradora local y la que la conecta con la laguna del Camino de Villafranca.

Normativa específica y figuras de protección

La laguna de la Veguilla es propiedad de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, al igual que las otras del complejo. Empieza a ser protegida a finales del siglo XX, al pasar a formar parte de la Reserva de la Biosfera de "La Mancha Húmeda" declarada por la UNESCO en 1980, por ser un espacio con una gran biodiversidad. También está integrada en la red ecológica de áreas de conservación de la biodiversidad de la Unión Europea, Red Natura 2000, siendo Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Humedales de La Mancha".

En octubre de 1999, Castilla-La Mancha aprobó el Plan de Ordenación de sus Recursos Naturales,



Figura 13.53. Laguna de la Veguilla en el año 2015 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

declarándose Reserva Natural. Sin embargo, a diferencia de sus hermanas de complejo, no forma parte de los humedales Ramsar y tampoco ha sido declarada Refugio de Caza (tabla 13.22).

Valores históricos y culturales

Historia

La escasez de agua y los problemas de la Veguilla hicieron que la población alcazareña la olvidara como humedal, así como los textos científicos, tal y como reflejan los mapas topográficos de Alcázar de San Juan, hoja 713 a escala 1:50.000, del siglo XIX (figura 13.54), y de mediados del siglo XX (figura 13.55).

Campo de aeromodelismo

Documentos fotográficos constatan cómo a principios del siglo XX el paraje de la Veguilla sirvió de campo de aeromodelismo (figura 13.56). Según la revista Aeroplano (2004), el 12 de mayo de 1915 tuvo lugar el primer hidrovuelo de la aviación española desde Madrid hasta Los Alcázares (Murcia), con escalas en Alcázar de San Juan y Albacete. Fueron aviones Lhoner y Farman los que participaron en esta misión (figura 13.57).

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA DE LA VEGUILLA
RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA
Declaración de la UNESCO de 30 de noviembre de 1980
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Humedales de La Mancha", código ES4250010 Zona de Especial Protección para las Aves Z.E.P.A. "Humedales de La Mancha", código ES0000091
RESERVA NATURAL
Decreto 214/1999, de 19 de octubre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las lagunas del Camino de Villafranca, las Yeguas y la Veguilla, y se declara la Reserva Natural del complejo lagunar de Alcázar de San Juan (DOCM nº 66, de 22-10-1999)

Tabla 13.22. Figuras de protección de la laguna de la Veguilla

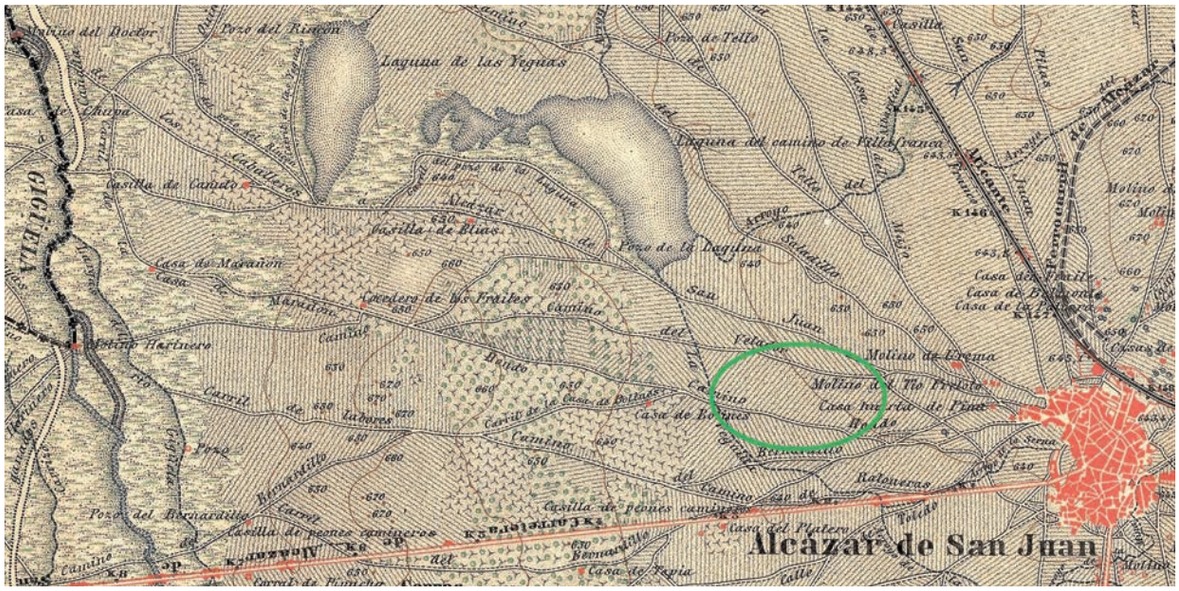


Figura 13.54. Detalle de la Hoja Topográfica 713 a escala 1:50.000, año 1886, en la que no aparece la laguna de la Veguilla (modificado de Instituto Geográfico y Estadístico. Cartoteca del IGN)

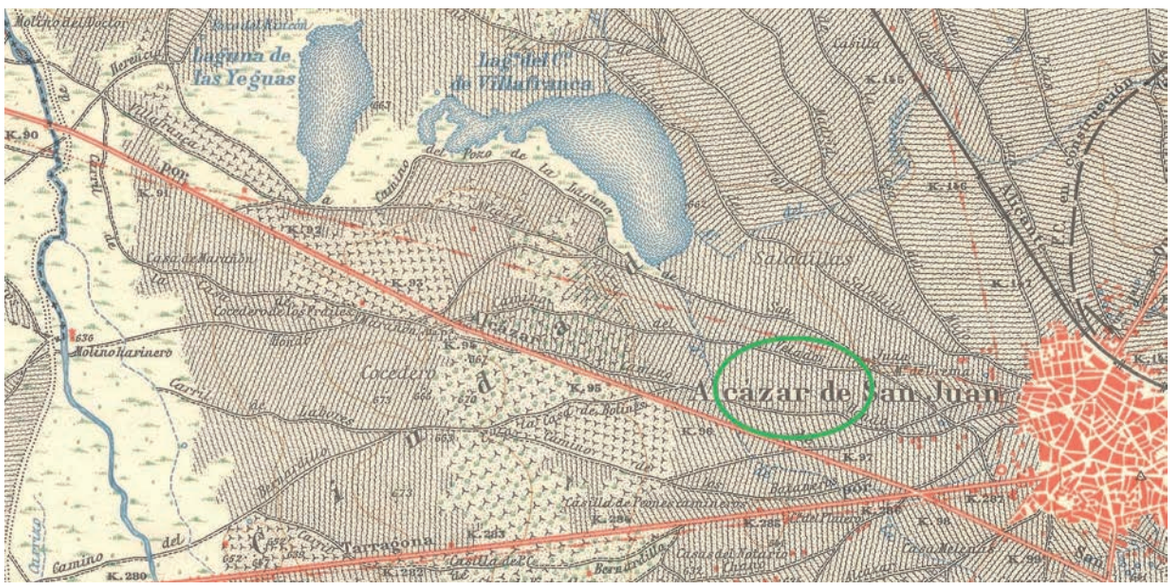


Figura 13.55. Detalle de la Hoja Topográfica 713 a escala 1:50.000, año 1955, en la que tampoco aparece la laguna de la Veguilla (modificado de Instituto Geográfico y Catastral. Cartoteca del IGN)



Figura 13.56. Campamento militar de aviación en la Veguilla. Fotografía La Artística, 1919. (Archivo fotográfico del Patronato Municipal de Cultura)



Figura 13.57. Militares en el campo de aviación de la Veguilla. Fotografía La Artística, 1919 (Archivo fotográfico del Patronato Municipal de Cultura)

Vertedero municipal

Durante el siglo XX la laguna de la Veguilla sufrió un fuerte deterioro por el vertido incontrolado de residuos sólidos y de aguas residuales urbanas, lo que derivó en malos olores y proliferación de mosquitos. Esta circunstancia generó un problema sanitario, con epidemias de cólera y fiebres endémicas que causaron un elevado número de fallecimientos.

En 1938 el estancamiento de agua en las lagunas de la Veguilla y las Yeguas era una preocupación constante para el municipio. Al estar en plena Guerra Civil el ayuntamiento se dirige al Comité Ejecutivo de la Casa del Pueblo y se plantea al Consejo el estudio de un alcantarillado para el casco urbano.

En los años 60 del pasado siglo se retomó el plan de saneamiento con un proyecto consistente en desecar "la Veguilla". El acuerdo, concretado en 1964, se diseña con el fin de paliar los problemas de inundación de los terrenos agrícolas colindantes, que llegaba a interrumpir el tráfico en la antigua carretera CM-400, de Toledo a Albacete, así como los desagradables olores procedentes del estancamiento de estas aguas residuales (AHMASJ, 1964).

Al año siguiente, el Gobernador Civil comunica que la población de Alcázar de San Juan ha sido incluida en el Plan de Abastecimiento y Saneamiento de la provincia de Ciudad Real, y se redacta el proyecto para las obras de desecación. Aprobado en Consejo de Ministros en abril de 1966, se lleva a cabo una primera fase de desagüe al año siguiente. Con posterioridad, y tras diversos trámites infructuosos, el proyecto se retoma en 1971 al licitar el Ministerio de Obras Públicas la primera fase de saneamiento, adjudicada a una empresa que, en 1974, tres años después, rescinde su compromiso. En octubre de dicho año la propia Dirección General de Obras Hidráulicas tramita un nuevo proyecto para la finalización de las obras, que es adjudicado en 1975.

A partir de 1978 son muchas las teorías e intentos de solucionar el problema de la Veguilla, como el de proceder a su desecación mediante bombeo y airear el agua origen de los malos olores, o poner un modesto terraplén dotado de un rudimentario sistema de intercambio de efluentes. Ambos proyectos fueron desaconsejados por los servicios técnicos, que en 1980 todavía la identificaban como *"zona negra e inmunda"* y como un foco de infección. Finalmente, el 20 de agosto de ese mismo año se realiza un convenio de puesta en funcionamiento del sistema de depuración natural de las aguas residuales de Alcázar de San Juan (figura 13.58).



Figura 13.58. Canal que aporta aguas residuales depuradas al humedal de la Veguilla. Julio de 2016 (L.A. Carreño)

Espacio de educación ambiental

Las figuras de protección con las que cuenta este espacio hacen que, a pesar de recibir las aguas depuradas del municipio, en la actualidad hayan desaparecido en parte las huellas dejadas a lo largo de los años por su uso como vertedero local, y se haya transformado en un lugar visitado por turistas y vecinos en el que pueden disfrutar del paisaje y de la observación de diversas aves acuáticas. Situado al este de la Veguilla se encuentra el centro de interpretación del complejo, lugar donde nace un sendero interpretativo que llega a diversos observatorios situados en los márgenes del humedal, así como a varios paneles informativos que explican su dinámica.

Aunque queda mucho por mejorar, esta laguna se ha convertido en un claro ejemplo de la transformación de un lugar intensamente deteriorado en un espacio natural de educación ambiental, en el que se puede contemplar la flora y la fauna de estos ecosistemas.

Hidrología

La cuenca alta del río Guadiana también incluye a la cuenca hidrológica de la laguna de la Veguilla. La mayor parte de sus 4.466 ha quedan emplazadas en el término municipal de Alcázar de San Juan, ya que una pequeña extensión cerca de su límite más oriental pertenece al vecino municipio ciudadrealeño de Campo de Criptana. La morfología de su área vertiente es vagamente triangular con el vaso situado en el vértice occidental, muy próximo a la localidad de Alcázar de San Juan (figura 13.59), cuyo núcleo urbano queda incluido prácticamente en su totalidad dentro de ella.

La relación entre la superficie de la cuenca y la de la propia laguna es de 63, por lo que es una de las más altas de las descritas en esta publicación. El relieve del territorio ocupado por ella es suave, con 143 m de diferencia entre las cotas más elevadas de la zona noreste (774 m s.n.m.) y el fondo del humedal (631 m s.n.m.), siendo la altitud media de 665,7 m s.n.m. y la pendiente media del 3,9%.

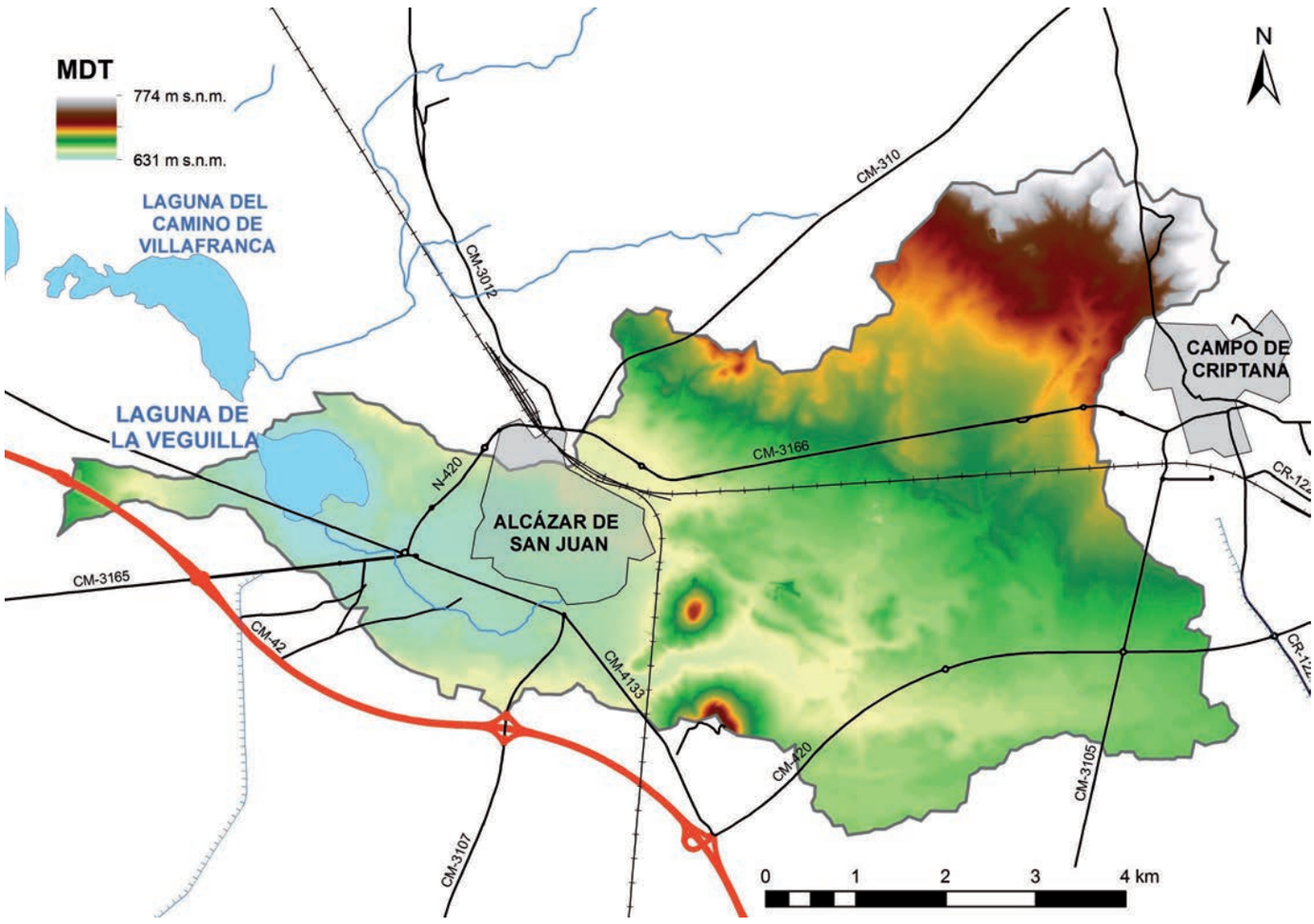


Figura 13.59. Cuenca hidrológica de la laguna de la Veguilla

El principal elemento de la red de drenaje es el arroyo de La Serna que, con un flujo general este-oeste, desemboca en la laguna por su ribera meridional después de rodear por el sur la población de Alcázar de San Juan.

Como ya se ha expuesto, la zona inundada se encuentra a escasos metros de la laguna del Camino de Villafranca, ubicada inmediatamente al noroeste, con la que está conectada de forma artificial por medio de dos canalizaciones. Existen también otros dos canales, en este caso en su borde sur, que después de confluir en una sola conducción a unos cientos de metros del humedal se dirige hacia el río Gigüela, al cual accede después de recorridos unos 8 km. Esta derivación es utilizada para evacuar parte de las aguas residuales de Alcázar de San Juan, especialmente durante los meses de la temporada estival.

Geología

A diferencia de sus hermanas de complejo, la cuenca vertiente a la Veguilla está ocupada por formaciones con un amplio lapso temporal a escala geológica, ya que afloran sedimentos que abarcan desde el Ordovícico hasta el Cuaternario, con una gran extensión de los de edad triásica (figura 13.60).

Respecto a su comportamiento hidrogeológico (tabla 13.23), los materiales de baja permeabilidad (Tipología C: 60%) son los más abundantes. Corresponden a las arcillas, arenas, margas y conglomerados del Trías Buntsandstein, las arcillas, limos y arenas del Mioceno inferior-medio, las margas y areniscas del Mioceno superior y los limos y arenas del Cuaternario. En orden decreciente de extensión se encuentran las formaciones netamente impermeables (Tipología D: 25%) constituidas por las arcillas, margas y limos con yesos del Trías en facies Keuper, y por las arcillas y limos con yesos del Mioceno inferior-medio.

Los sedimentos de alta permeabilidad son minoritarios (Tipología A: 12%). Entre ellos se encuentran las calizas y dolomías del Trías Muschelkalk y las dolomías jurásicas. Por último, y con una presencia casi testimonial, aparecen materiales con permeabilidad media (Tipología B: 3%) que se corresponden con las cuarcitas y areniscas paleozoicas.

Cronológicamente, la formación geológica más antigua aflorante en la cuenca vertiente a la laguna está constituida por cuarcitas con intercalaciones de areniscas rojas, afectadas por un metamorfismo regional de grado bajo a muy bajo, pertenecientes al Ordovícico. Aparecen al sureste de Alcázar de San Juan en las cotas más altas de la imperante planicie, y responden a

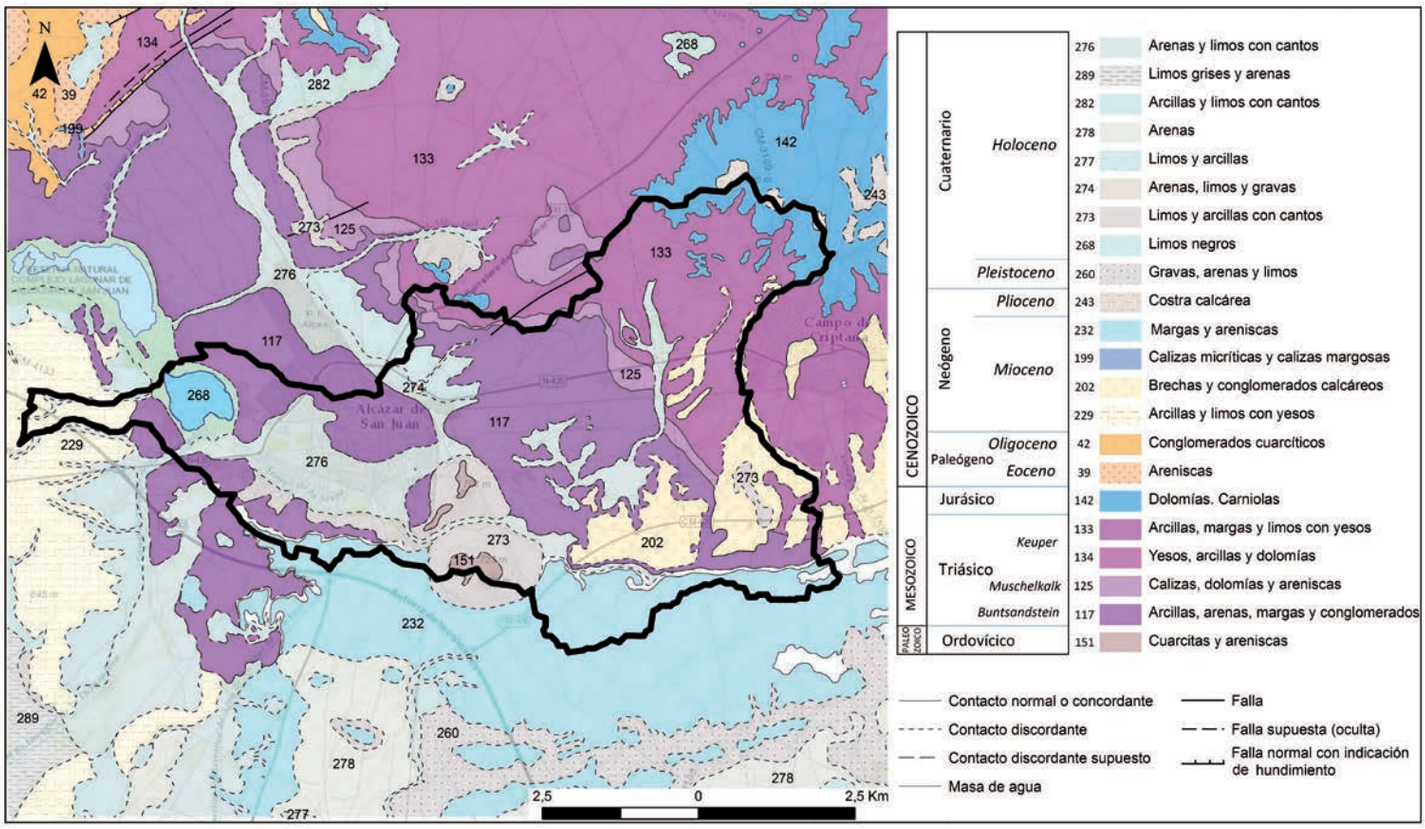


Figura 13.60. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de la Veguilla (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
FORMACIÓN GEOLÓGICA	Edad	Tipología	%
Calizas y dolomías	Triásico (Muschelkalk)	A	12
Dolomías	Jurásico	A	
Cuarcitas y areniscas	Ordovícico	B	3
Arcillas, conglomerados, areniscas y margas	Triásico (Buntsandstein)	C	60
Arcillas, limos y arenas	Mioceno inferior-medio	C	
Margas y areniscas	Mioceno superior	C	
Limos y arenas	Cuaternario	C	
Arcillas, margas y limos con yesos	Triásico (Keuper)	D	25
Arcillas y limos con yesos	Mioceno inferior-medio	D	
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Tabla 13.23. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de la Veguilla

depósitos de plataforma somera en zonas mareales o intermareales con desarrollo de canales y barras.

La secuencia continúa con la formación del Trías Buntsandstein que bordea casi por completo al vaso lagunar y se extiende por el sector central de la cuenca, así como por sus flancos norte y oeste. Se trata de depósitos de llanura de marea intersectada por canales fluviales constituidos por areniscas, cementadas por carbonato, arcillas y margas rojas, y bancos de conglomerados dispuestos en una sucesión de pequeñas capas con buzamientos muy suaves.

Suprayacente a la citada formación, y en concordancia con ella, aparecen delgadas capas de calizas y dolomías, facies Muschelkalk del Trías, sobre la que, a su vez, se dispone la facies Keuper con su característica arcilla de color rojo vinoso, margas, también rojizas, y limos con yesos. Estos sedimentos ocupan gran parte de la mitad oriental de la cuenca.

La presencia del Jurásico es ocasional y se limita al borde nororiental. Está representado por dolomías tableadas compactas dispuestas en bancos centimétricos con coloración beige predominante.

El Mioceno inferior-medio dejó su huella con la deposición de facies distales de abanicos aluviales que responde a una serie integrada por limos con yesos, arcillas rojizas y margas. Durante el Mioceno superior se sedimentó una alternancia de margocalizas con margas verdes y blancas, con cristales de yeso, que lateralmente pasan a horizontes detríticos, areniscas y microconglomerados.

Por último, los materiales cuaternarios corresponden al conjunto de sedimentos de terrazas fluviales, aluviales y lagunares, de escaso espesor y con abundancia de elementos finos, que alcanzan una gran extensión, sobre todo en la mitad occidental de la cuenca, con desarrollo de suelos de naturaleza yesífera.

Hidrogeología

La laguna de la Veguilla es la más meridional de las tres que componen el complejo de Alcázar de San Juan, con las que comparte un mismo esquema hidrogeológico. Al igual que ellas, su vaso se extiende en su totalidad sobre la formación geológica de arcillas, areniscas y margas pertenecientes al Trías en facies Buntsandstein (Tb). Esta formación tiene un gran espesor (180 m) y es de carácter netamente impermeable a pesar de poseer intercalaciones de areniscas y ocasionalmente conglomerados a lo largo de su secuencia sedimentaria. Estos materiales tienen permeabilidad media-baja por porosidad intergranular, así como escasa continuidad lateral y reducido espesor (figura 13.61) por lo que quedan englobados dentro de las arcillas predominantes, motivo por el cual están desconectados hidráulicamente de la laguna. En la cuenca aparecen otros sedimentos de cierta permeabilidad dispuestos tabularmente, y mediante discordancia erosiva, sobre la facies Buntsandstein, pero al encontrarse su base por encima del humedal carecen de relación hídrica con él.

El esquema hidrogeológico descrito, como se acaba de comentar, impide la interconexión del ecosistema con las aguas subterráneas. A pesar de esto, existen algunos pozos y sondeos en los alrededores de muy escaso rendimiento que aprovechan los horizontes parcialmente confinados de areniscas intercalados en la mencionada formación. La piezometría relacionada con estos horizontes está muy condicionada por la topografía, con cotas muy próximas a la superficie, mientras que el flujo presenta una componente suroeste y un gradiente muy suave del orden del 0,3% (figura 13.62).

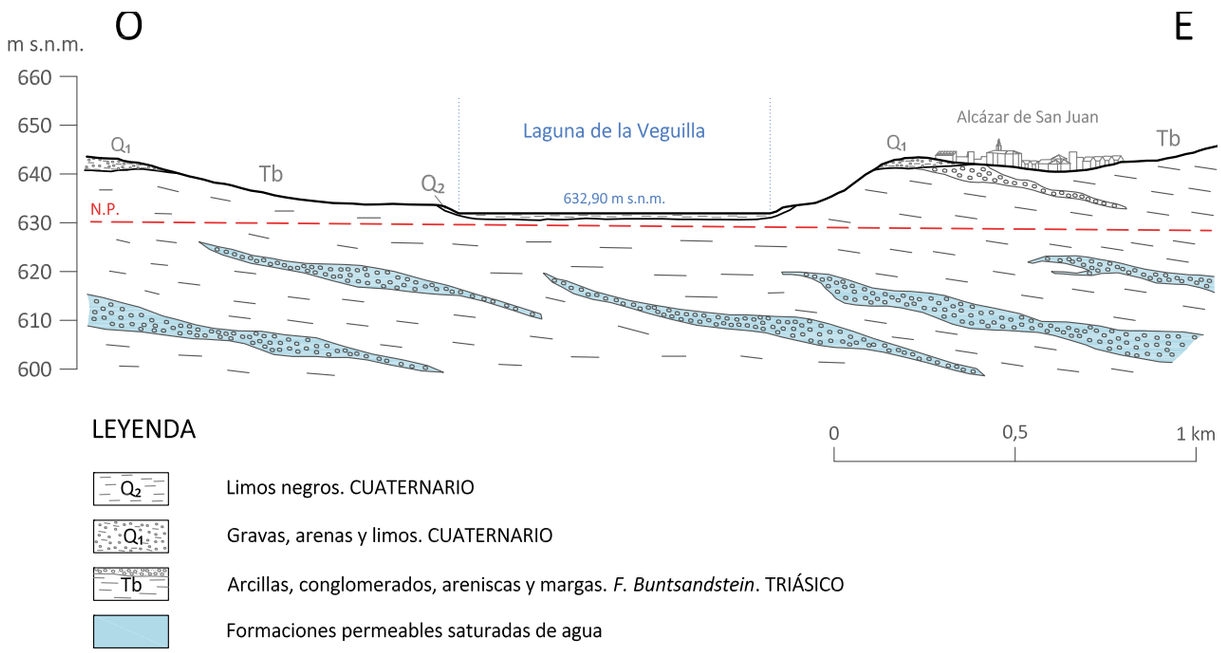


Figura 13.61. Perfil hidrogeológico de la laguna de la Veguilla

La calidad de las aguas subterráneas es deficiente, con valores de la CE entre 2.000 y 3.000 µS/cm, crecientes en el sentido del flujo subterráneo y en dirección al río Gigüela, que se incrementan durante las épocas secas.

En cuanto a la calidad del agua de la laguna, su CE está relacionada con la magnitud de los aportes de las aguas residuales, si bien los valores más comunes están en torno a los 10.000 µS/cm.



Figura 13.62. Mapa piezométrico (m s.n.m.) y sentido del flujo subterráneo. Junio de 2016 (IGN)

Hidroquímica

El agua de la laguna de la Veguilla presenta una conductividad eléctrica (CE) de 9.490 µS/cm, muy por debajo de sus lagunas hermanas debido al continuado aporte de aguas residuales, con un pH de 8,88 y una facies hidroquímica sulfatada-clorurada sódico-magnésica.

En la muestra analizada en el proyecto Ecolake, los aniones mayoritarios como cloruros y sulfatos adquieren valores de 1.697 y 3.913 mg/L, respectivamente, y cercanos a 100 mg/L para el anión bicarbonato. Los cationes predominantes son sodio y magnesio, con 1.256 y 355 mg/L, a los que les sigue el potasio, con 203 mg/L, siendo el calcio minoritario con apenas 23 mg/L (figuras 13.63 y 13.64).

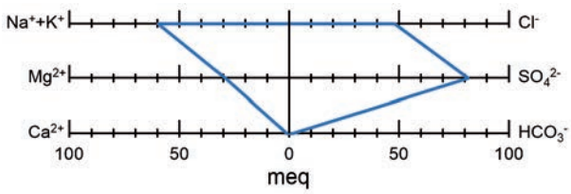


Figura 13.63. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna de la Veguilla. Fecha de análisis 26/11/2014

Algunos de los parámetros analizados son comparados en la tabla 13.24 con los valores recogidos en la normativa que regula la calidad para aguas de consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero).

La CE del agua de la laguna para el periodo diciembre de 2012 hasta septiembre de 2014 (figura 13.65) registra valores medios cercanos a 3.000 µS/cm (sin considerar máximos y mínimos). La serie es moderadamente regular, salvo en agosto de 2013 y septiembre de 2014, momento en el que se alcanzan los valores máximos (5.790 y 5.680 µS/cm, respectivamente). Por el lado opuesto, el valor mínimo se obtiene a finales de enero de 2014, con 1.590 µS/cm.

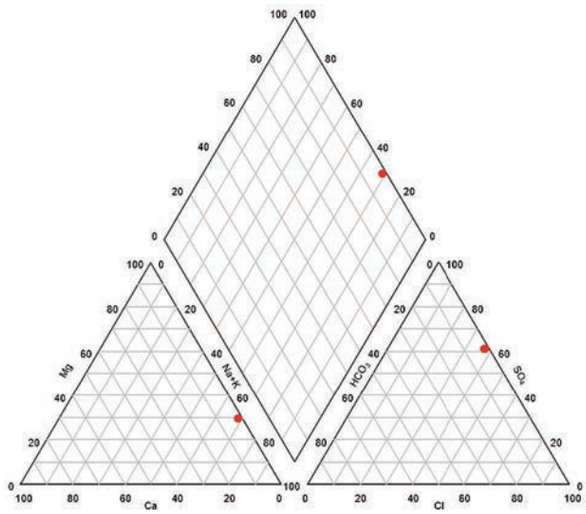


Figura 13.64. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de la muestra de la laguna de la Veguilla

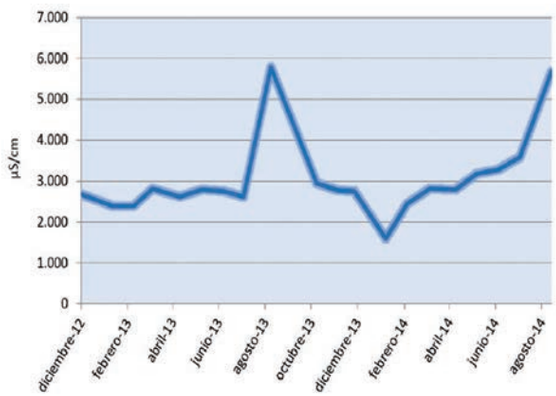


Figura 13.65. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna de la Veguilla entre diciembre de 2012 y septiembre de 2014

	Fecha de análisis			26/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA	
				Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	7,9	10
	Boro	B	mg/L	1,240	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	1.697	250
	Conductividad	CE	µS/cm	9.490	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	59,6	50
	pH	-	Ud de pH	8,88	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	1.256	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	3.913	250

Tabla 13.24. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

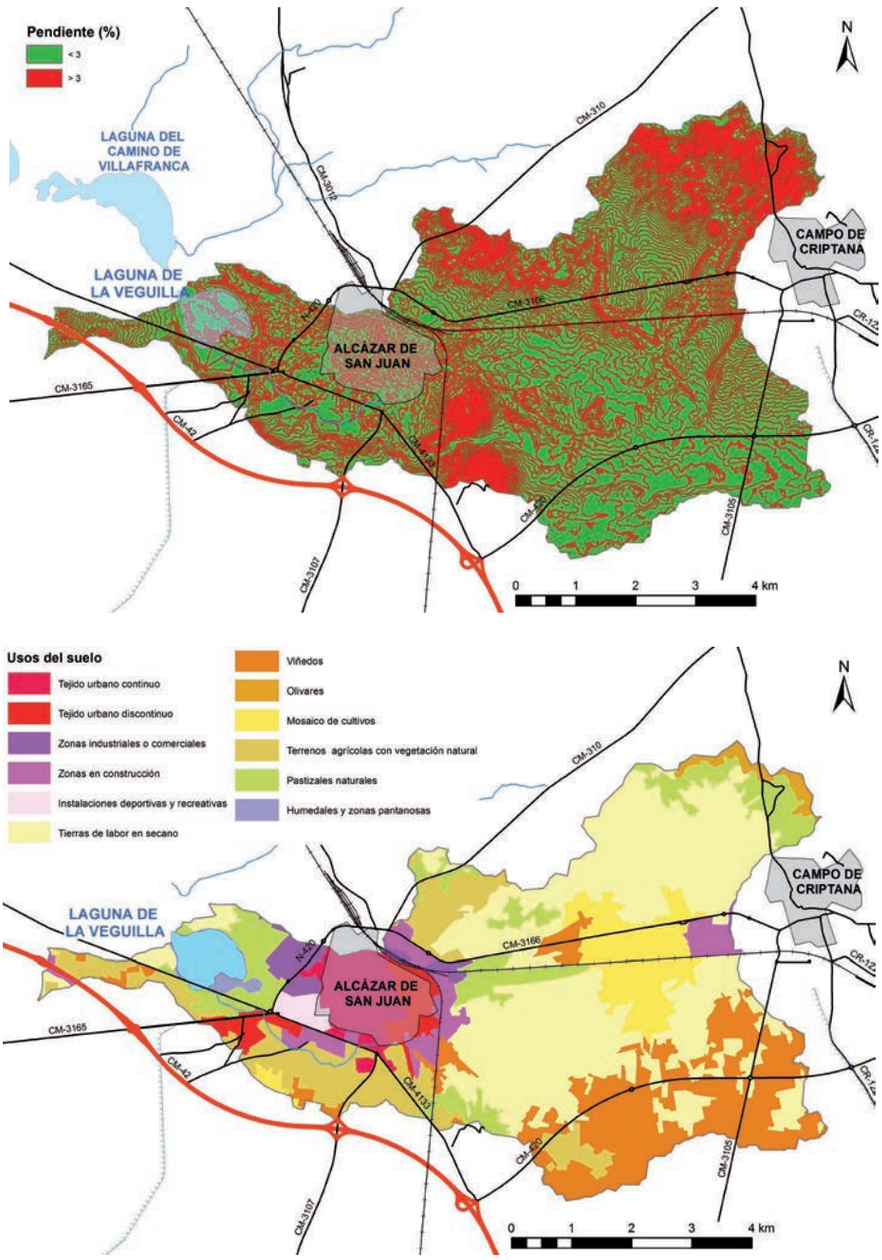
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

El funcionamiento hídrico de este humedal está totalmente alterado por la acción humana. El ecosistema en régimen natural estaba aislado y era de carácter temporal, pero en la actualidad presenta inundación casi permanente al recibir prácticamente durante todo el año los aportes de aguas residuales de Alcázar de San Juan. Sólo cuando cesan estos aportes en el periodo estival la laguna puede llegar a secarse. La intervención antrópica se completa con la existencia de varias canalizaciones que la conectan, al norte, con la laguna del Camino de Villafranca, a la cual alimenta cuando el nivel del agua alcanza cierta altura, y al sur con el cauce del río Gigüela.

Por lo demás, su modelo conceptual es sencillo dado que no existe relación alguna con las aguas subterráneas.

Figura 13.66. Cuenca hidrológica de la laguna de la Veguilla. Mapa de pendientes (ariba) y Mapa de usos del suelo (abajo) (Corine Land Cover 2012)



Balance hídrico

Como en el resto de los casos estudiados, el balance hídrico de la laguna de la Veguilla se ha obtenido a partir de la metodología desarrollada en el proyecto Ecolake basada en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua a su vaso. Por lo tanto, las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada existente en cada momento (superficie teórica máxima: 70,73 ha), a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (4.466 ha) y a los aportes de aguas residuales tratadas en la EDAR de Alcázar de San Juan, descartándose los aportes de aguas subterráneas. Por su parte, las salidas son debidas a la evapotranspiración producida sobre la lámina de agua libre, limitada igualmente por el volumen de agua disponible, así como la salida de agua canalizada hacia la vecina laguna del Camino de Villafranca, cuando se alcanza un cierto volumen de almacenamiento en la Veguilla.

Los datos climáticos se han obtenido de la estación agroclimática Herencia del SIAR para el periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo de kc=1,1, escogido en este caso como más adecuado considerando la gran cantidad de carrizo que suele crecer en la cubeta, y para la determinación de la evaporación se ha tenido en cuenta la extensión de la lámina de agua de la laguna en cada momento.

El análisis geológico de la cuenca vertiente, según las distintas formaciones aflorantes, ha arrojado como resultado un suelo de tipo C (tabla 13.23). Por su parte, la pendiente media hallada ha sido del 3,9%, es decir, superior al 3% (figura 13.66), mientras que al uso de la tierra se le ha asignado la tipología de labor de secano con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 13.66). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC *(Antecedent Runoff Condition)* 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=62, que se corresponde con un valor de CN I=42 para condiciones de humedad baja y CN III=79 para condiciones de humedad alta. Esto supone un valor umbral de escorrentía (P_0) medio de 31,14 mm, con un máximo de 70,02 mm y un mínimo de 12,77 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 13.25).

En cuanto a los aportes por aguas residuales tratadas de la EDAR de Alcázar de San Juan, la información suministrada por el ayuntamiento sobre el patrón de vertidos indica que durante los meses de septiembre y octubre se vierten las aguas tratadas a la laguna (unos 15.000 m³/día), mientras que, entre noviembre y junio, ambos incluidos, el caudal es de aproximadamente la mitad, ya que la otra mitad se deriva hacia los ríos Gigüela y Záncara. Por último, en los meses de julio y agosto no se vierte ningún volumen de agua. A estos aportes, estimados a partir del suministro del agua en alta, se les ha aplicado un coeficiente reductor de eficiencia debido a las pérdidas que se producen en las redes de acometida y saneamiento.

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG se ha establecido el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación, con pasos de altura de 0,02 m. También se han establecido y representado las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen (figura 13.67).

Finalmente, los resultados de la simulación para al periodo 2012-2014 muestran un elevado volumen de agua almacenada. Esto se debe, sin duda, a los aportes de la EDAR que generan niveles de agua

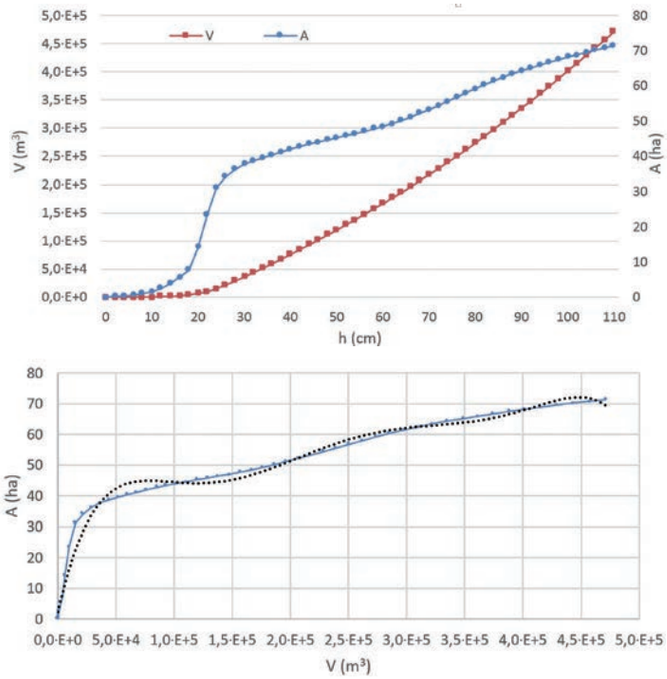


Figura 13.67. Laguna de la Veguilla. Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A)
Abajo: relación entre área inundada (A) y volumen almacenado (V)

considerables, excepto durante el periodo estival, meses en los que cesan al derivarse a la junta de los ríos Gigüela y Záncara. Como resultado de esta gestión, la laguna llega a secarse en ese periodo, salvo en los años más húmedos, pero almacena volúmenes notables durante el resto del tiempo. En el año hidrológico 2013/14, relativamente seco (321 mm), el volumen acumulado fue claramente inferior al de 2012/13.

El balance hídrico medio anual obtenido para el mencionado periodo (tabla 13.26) indica unos aportes totales de agua al sistema del orden de 1,38 hm³, de los que la mayor parte corresponde a los efluentes de la EDAR (83%), mientras que la precipitación directa (15%) y la escorrentía (2%) contribuyen en menor medida. Las salidas del sistema, del mismo orden que las entradas, se deben a los caudales cedidos a la laguna del Camino de Villafranca (61%) y, en una proporción algo menor, a la evapotranspiración sufrida en la cubeta (39%).

Con los parámetros validados para el periodo de calibración se ha obtenido el balance hídrico hiperanual del humedal para un lapso temporal de 15 años (2001-

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_o (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
> 3	> 50% Labor de secano	Media baja	C	70,02	31,14	12,77

Tabla 13.25. Cuenca de la laguna de la Veguilla. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Tabla 13.26. Balance hídrico de la laguna de la Veguilla. Periodo 2012-2014

Año hidrológico	ENTRADAS				SALIDAS			Variación de volumen (m^3)
	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	EDAR (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP (m^3/año)	Laguna Camino de VIllafranca (m^3/año)	Totales (m^3/año)	
2012/13	259.972	50.883	1.140.000	1.450.856	530.293	1.072.000	1.602.293	-151.437
2013/14	145.172	161	1.162.500	1.307.832	540.396	616.000	1.156.396	151.437
Media periodo	202.572	25.522	1.151.250	1.379.344	535.344	844.000	1.379.344	0

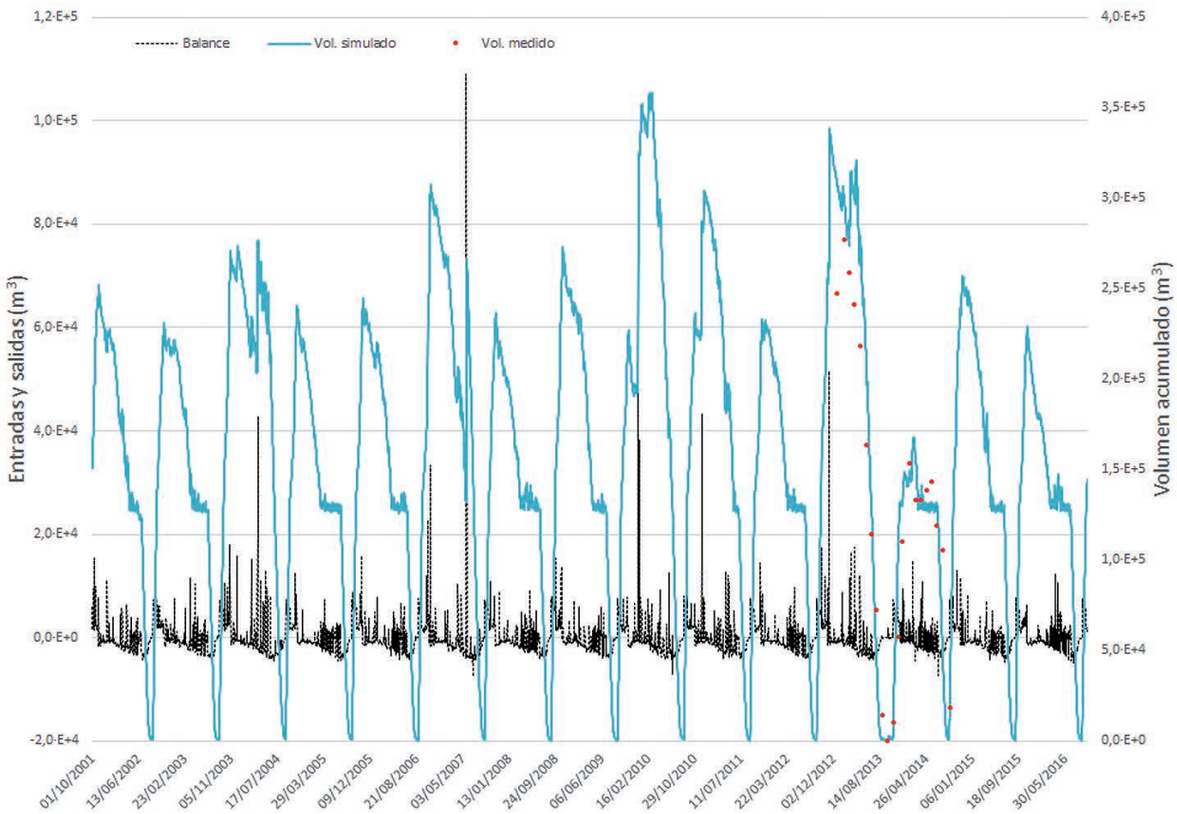


Figura 13.68. Simulación del balance hídrico para la laguna de la Veguilla. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

2016). En esta simulación se observa que la laguna se seca únicamente en los meses de verano al cesar los efluentes de la EDAR, mientras que el resto del año acumula un notable volumen de agua (figura 13.68). Los resultados muestran la existencia de una amplia superficie inundada la mayor parte del tiempo (89% del tiempo superior a la mitad de la cubeta), con un máximo de 66 ha en el año hidrológico 2009/10 como respuesta al periodo excepcionalmente húmedo iniciado en diciembre de 2009.

El balance hídrico hiperanual (15 años) muestra un volumen total implicado de 1,54 hm^3/año, con unos aportes debidos esencialmente a los efluentes de la EDAR de Alcázar de San Juan (87%), mientras que la precipitación directa sobre la laguna (12%) y la escorrentía (1%) contribuyen en menor medida (tabla 13.27). Por su parte, las salidas de agua se deben a los caudales cedidos a la laguna del Camino de Villafranca (62%) y a la evapotranspiración (38%).

Tabla 13.27. Balance hídrico hiperanual de la laguna de la Veguilla. Periodo 2001-2016

DATOS			ENTRADAS				SALIDAS		
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km^2)	Área media inundada (m^2)	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	EDAR (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP laguna (m^3/año)	Laguna Cº de Villafranca (m^3/año)	Totales (m^3/año)
348,90	44,66	461.016	184.277	21.868	1.337.500	1.543.644	591.378	952.267	1.543.644

Evolución visual del territorio

De las tres lagunas que integran el completo, la Veguilla es la que mayor transformación ha sufrido. En la foto del año 1957 (figura 13.69) se intuye la zona endorreica por la que transitan varios caminos y donde se ubican algunas parcelas agrarias. Como ocurre con sus hermanas, en su entorno más inmediato han mejorado las vías de comunicación y realizado nuevas construcciones, tanto lineales (autovía y carreteras al sur) como edificaciones (EDAR o centro de interpretación al este). También es especialmente destacable el crecimiento del núcleo urbano, con nuevas infraestructuras, polígonos industriales, comercios y grandes superficies que se abren hueco al sur y este del humedal.

Las fotografías tomadas tanto en época invernal como en periodo estival (figuras 13.70 a 13.75) atestiguan la presencia de una lámina de agua casi permanente que permite albergar un hábitat protegido, con una avifauna rica en número y en especies, muy cercano a la población y en clara coexistencia con ella.



Figura 13.69. Laguna de la Veguilla. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 13.70. Panorámica del humedal en julio de 2016 (C. Camuñas)



Figura 13.71. Diversidad de especies de avifauna. Febrero de 2018 (C. Camuñas)



Figura 13.72. Humedal sin apenas agua. Septiembre de 2013 (Archivo Fundación Global Nature)



Figura 13.73. Avifauna en junio de 2016 (B.J. Ballesteros)



Figura 13.74. Grupo de flamencos ajenos a la actividad industrial tras ellos (C. Camuñas)



Figura 13.75. Litoral norte del humedal en junio de 2018 (C. Camuñas)

Capítulo 14



LAGUNA NAVA GRANDE

MALAGÓN (CIUDAD REAL)





14. LAGUNA NAVA GRANDE

SITUACIÓN GEOGRÁFICA, COORDENADAS Y ACCESOS

La localidad de Malagón se encuentra en la zona centro-septentrional de la provincia de Ciudad Real, a unos 25 km de la capital. Al oeste del núcleo urbano, en dirección noroeste-sureste y al sur del curso del río Bañuelos, se alza la sierra cuarcítica de Malagón en cuya vertiente meridional emergen tres lagunas endorreicas conocidas como *Navas*, y denominadas de oeste a este: Nava Grande, Nava de Enmedio y Nava Pequeña (figura 14.1).

Esta publicación se centra en la más extensa de las tres, la laguna de Nava Grande, cuyo punto central

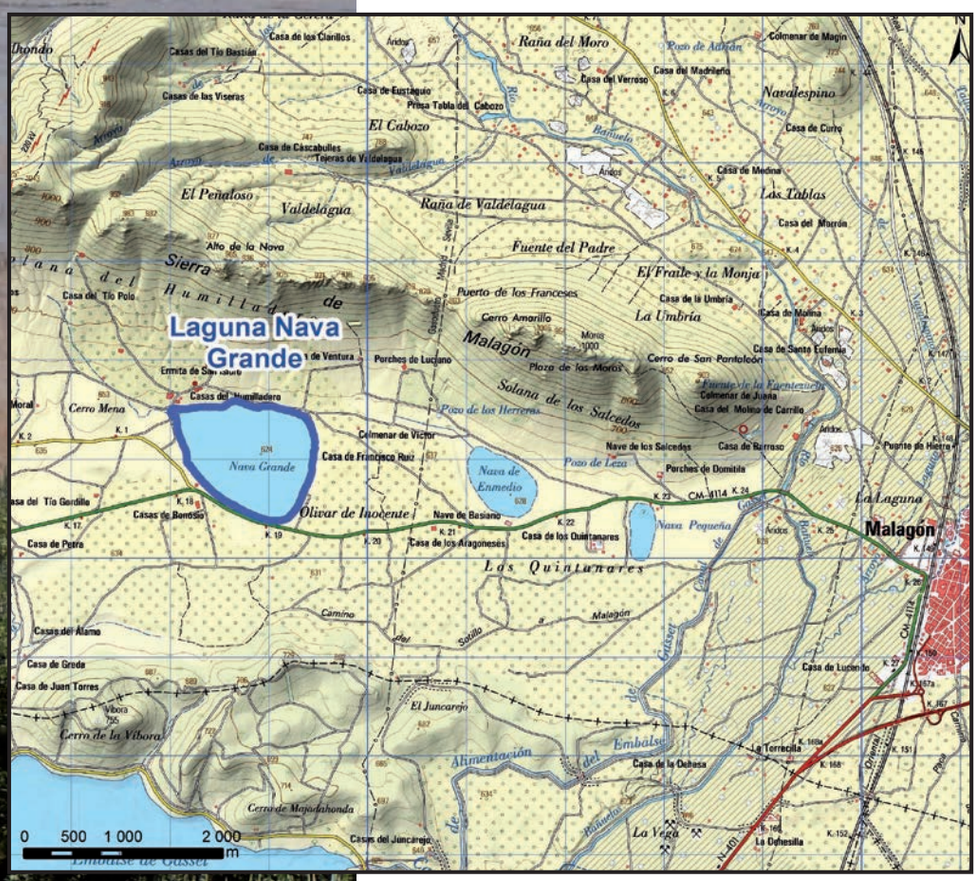


Figura 14.1. Situación geográfica de la laguna Nava Grande (hoja 736 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)



Figura 14.2. Vaso lagunar en el año 2015 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

tiene por coordenadas X: 418800, Y: 4337100 (UTM ETRS89 H30) y una altitud de 622,6 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

El acceso a la zona inundada es libre. Desde Malagón se toma la carretera CM-4114 en dirección oeste, la cual, después de recorridos 7 km, alcanza el humedal y lo bordea por su flanco sur. Un kilómetro más adelante esta vía intersecta a la carretera provincial CR-7123 que discurre por la ribera occidental de la laguna y continúa hasta las pedanías de Fuencaliente y Cristo del Espíritu Santo.

El área cobija una amplia red de sendas y caminos que dan servicio a las parcelas agrícolas, como el camino de Porzuna a Malagón al oeste del humedal, el camino de las Casas del Álamo al sur, el carril de los López al este y, por último, el camino del Cristo del Espíritu Santo que lo envuelve por su contorno norte y brinda una panorámica excepcional del mismo.

Características fisiográficas

La laguna Nava Grande posee un claro carácter estacional y una salinidad variable, lo que proporciona una alta diversidad biológica a la par que una gran vulnerabilidad. Su perímetro, de 4,8 km de longitud, dibuja una forma ovalada de dirección este-oeste con una parte más ancha en su tercio septentrional que se reduce progresivamente hacia el extremo meridional (figura 14.2). La superficie máxima inundable es de 118,76 ha, según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021 (BOE, 2016).

En contraste con la planicie manchega imperante en la mayoría de las lagunas descritas en esta publicación, en el entorno geomorfológico de la Nava de Malagón destacan los relieves rocosos, de aspecto acastillado, de la sierra homónima, con el Alto de la Nava, el cerro Amarillo y el pico Moros que alcanzan los 1.000 m s.n.m.

La vertiente sur de la sierra, arropada por un manto de coluviones y canchales, es conocida como Solana del Humilladero y, más cerca de Malagón tras el puerto de los Franceses, como Solana de los Salcedos. En este territorio se desarrolla una escasa vegetación esteparia, con la salvedad de algunos encinares y arbustos de tallo bajo.

Las Navas o zonas deprimidas se sitúan en el piedemonte de la sierra, con diferencias topográficas de unos 380 m respecto a los picos más elevados. En ellas predomina un paraje alomado, con olivares, campos de viñedos, cultivos de herbáceos y pastos.

Normativa específica y figuras de protección

La laguna Nava Grande es de propiedad municipal y está protegida por las figuras jurídicas de ámbito europeo incluida en la Red Natura 2000, Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Navas de Malagón" (tabla 14.1).

En septiembre de 2005 se aprobó su Plan de Ordenación de Recursos Naturales, declarándose Reserva Natural y es un área definida como zona de máxima importancia en el Plan de Recuperación de la malvasía cabeciblanca.

Climatología

Las características climáticas del entorno lagunar han sido determinadas a partir de la estación meteorológica CR04 Ciudad Real, perteneciente a la red de estaciones

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA NAVA GRANDE
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Navas de Malagón", código ES4220001 Zona de Especial Protección para las Aves Z.E.P.A. "Navas de Malagón", código ES4220001
RESERVA NATURAL
Decreto 103/2005, de 13 de septiembre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las Navas de Malagón, en el término municipal de Malagón de la provincia de Ciudad Real y se declara la Reserva Natural de Las Navas de Malagón (DOCM nº 186, de 16-09-2005)

Tabla 14.1. Figuras de protección de la laguna Nava Grande

meteorológicas del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha (tabla 14.2).

La precipitación media anual de los últimos 15 años (2001/02-2015/16) es de 414,5 mm, con un máximo de 690,8 mm en el más húmedo (2009/10) y un mínimo de 259,6 mm en el más seco (2004/05). A escala diaria el hecho más destacable es el episodio de lluvia ocurrido el 28 de septiembre de 2012, en el que se acumularon 68,5 mm.

El registro mensual refleja que en todos los meses se superan los 30 mm de lluvia, salvo en los de verano (junio, julio, agosto y septiembre), siendo el más húmedo el de abril y el más seco el de julio con valores de 60,4 mm y apenas 2,9 mm, respectivamente (tabla 14.3). En este periodo la precipitación máxima acumulada en un solo mes fue de algo más de 168 mm (diciembre de 2009 y marzo de 2013).

Registros climáticos anteriores al año 2001, y para un periodo de 40 años (1960/61 a 1999/2000), se han obtenido de la estación meteorológica Malagón (nº 4124) perteneciente a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), cuyos valores más representativos se resumen en la tabla 14.4. El análisis de sus datos permite concluir que la precipitación media anual en los últimos 15 años ha sufrido un descenso de casi 24 mm con respecto a los 40 años anteriores.

Las temperaturas máximas y mínimas diarias para los últimos 15 años (2001/02-2015/16) son 21,4 °C y 6,5 °C, respectivamente, mientras que la temperatura media anual es de 14,0 °C (tabla 14.5).

Valores ambientales

Valoración global

Formado sobre las rañas típicas de los piedemontes de los Montes de Toledo, en conjunto y por la superficie ocupada, cabe considerar a este humedal como un sistema palustre temporal de gran interés limnológico.

Biodiversidad: flora y fauna

Esta laguna con una cierta importancia botánica, gran extensión y baja pendiente litoral (figura 14.3),

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	**Nombre**	**X**	**Y**	**(m s.n.m.)**	**Inicio**	**Fin**
CR04	Ciudad Real	414362	4321940	662	01/10/2001	30/09/2016

Tabla 14.2. Datos de ubicación y periodo de registro temporal empleado (SIAR)

PRECIPITACIÓN (mm)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**414,5**	**1,0**	**35,5**	**42,9**	**44,1**	**60,4**	**32,1**	**16,4**	**2,9**	**4,7**	**28,7**	**57,7**	**45,2**	**45,9**
Máxima absoluta	690,8	68,5	99,6	126,6	168,9	134,0	75,2	66,4	11,8	15,8	91,7	123,4	128,5	168,4
Fecha	2009/10	28/09/2012	2010	2010	2013	2007	2008	2000	2010	2003	2012	2003	2012	2009
Mínima absoluta	259,6	0,0	1,8	1,8	10,8	22,4	5,9	0,2	0,0	0,0	0,0	27,0	8,8	7,8
Fecha	2004/05	-	2005	2012	2008	2009	2015	2002	Varios años	Varios años	2011	2015	2009	2015

Tabla 14.3. Registro de valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica CR04 Ciudad Real (SIAR)

Tabla 14.4. Datos de ubicación, registro temporal y valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica nº 4124 Malagón (AEMET)

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
4124	Malagón	426162	4336063	610	1960/61	1999/2000

PRECIPITACIÓN (mm)		
	Precipitación anual	Fecha
Media	**438,4**	1960/61 - 1999/2000
Máxima absoluta	761,9	1961/62
Mínima absoluta	157,4	1994/95

Tabla 14.5. Registro de valores de temperatura más relevantes de la estación termo-pluviométrica CR04 Ciudad Real (SIAR)

TEMPERATURA (°C)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**14,0**	**-**	**4,7**	**5,9**	**9,0**	**12,0**	**16,3**	**22,3**	**25,5**	**24,7**	**19,9**	**14,6**	**8,4**	**5,0**
Máxima media	21,4	-	10,6	12,4	16,1	19,2	24,2	30,8	34,4	33,7	28,1	21,9	14,8	11,1
Mínima media	6,5	-	-0,4	0,0	2,2	4,7	7,8	12,6	15,0	14,7	11,5	7,9	2,7	-0,1
Máxima absoluta	-	43,0	19,6	22,8	43,0	30,4	38,2	41,1	42,1	42,0	39,7	31,9	25,4	19,9
Fecha	-	27/03/02	27/01/03	27/02/10	27/03/02	29/04/05	17/05/06	29/06/15	06/07/15	10/08/12	06/09/16	01/10/04	16/11/09	15/12/15
Mínima absoluta	-	-11,9	-11,9	-10,5	-8,1	-3,1	-1,8	2,4	7,0	0,0	0,0	-2,7	-9,9	-8,7
Fecha	-	28/01/05	28/01/05	12/02/12	09/03/05	02/04/16	04/05/02	09/06/02	09/07/04	16/08/12	27/09/12	26/10/10	17/11/07	17/12/10

debido a su carácter moderadamente salino, puede presentar comunidades subacuáticas relativamente diversas, tales como distintas especies de rupiaceas y carófitas, algunas tan poco comunes como *Nitella hialina* (Cirujano y Medina, 2002), sólo descrita en las lagunas de Ruidera. Entre las carófitas, Gosálvez (2011) cita también *Chara connivens* como elemento dominante en estas asociaciones.

También es posible observar el briófito *Riella helicophylla* (Cirujano y Medina, 2002) si la salinidad es aún mayor, siendo la única hepática en las lagunas de Campo de Calatrava.

El cinturón perilagunar, algo empobrecido (Serrano, 2015), muestra por lo general poblaciones de vegetación hidrofítica en la que dominan las especies de juncos (*Scirpus* sp.) y carrizo (*Phragmites australis*), mientras que la propia cubeta se encuentra en buena parte cubierta por junco de laguna (*Schoenoplectus lacustris*, Gosálvez, 2014). En los periodos secos la vegetación sumergida es sustituida por especies anuales rastreras.

Las partes más alejadas de la cubeta están en parte desnaturalizadas por la presencia de caminos y cultivos, sin embargo, en las menos alteradas se desarrollan pastizales cubiertos por gramíneas, como las del género *Puccinellia*, si bien también pueden estar algo afectadas por el pastoreo.

De los censos llevados a cabo durante el proyecto Ecolake (2013-2014) se deduce una presencia de avifauna acuática moderadamente alta, con recuentos que superan en muchas ocasiones los 1.000 individuos, y una riqueza mensual promedio cercana a las 15 especies.

Resulta particularmente abundante la población de focha común (*Fulica atra*), gracias probablemente a la gran cantidad de vegetación palustre y a la amplia extensión de aguas libres. Destacan también, de forma más o menos permanente, las anátidas siendo las más abundantes las especies *Anas platyrhynchos* y *Anas crecca*.

En el Plan de Gestión de Navas de Malagón se indica la presencia de malvasía cabeciblanca (*Oxyura leucocephala*) y avetoro (*Botaurus stellaris*), calificadas en peligro de extinción en los Catálogos, Nacional y Regional, de Especies Amenazadas. No obstante, en los censos del proyecto Ecolake solo se detectó la presencia de la primera.



Figura 14.3. Vista general de la Nava Grande durante el periodo invernal (enero 2014) en el que el nivel de inundación de la cubeta habitualmente es el máximo (C. Rochera)

En cuanto a la ictiofauna, por lo general ajena a estas lagunas temporales, existen citas que describen la existencia de carpas (*Cyrpinus carpio*) a finales de los años 90 introducidas por los pescadores de la zona (Gosálvez, 2011).

Biodiversidad microbiana y del plancton

La laguna muestra alta riqueza de diatomeas, como describen los informes de la Red de Control Biológico en la Cuenca del Guadiana para el periodo 2007-2010, con la catalogación de estado ecológico "*Muy Bueno*" en algunos periodos para el elemento de calidad fitoplancton, mientras que para los elementos florísticos o de fauna invertebrada el dictamen es menos favorable.

Algunos estudios taxonómicos corroboran la elevada diversidad de diatomeas, así como de clorofíceas (Gosálvez, 2011), en cambio otros grupos fitoplanctónicos, como criptofíceas y cianobacterias, aunque también presentes, son muy poco diversos en cuanto a especies.

Respecto a los macroinvertebrados, la laguna muestra una comunidad relativamente diversa, con predominio de dípteros quironómidos, heterópteros de las familias *Corixidae* y *Notonectidae*, así como efemerópteros de la familia *Baetidae*. Entre la comunidad de ostrácodos, Castillo-Escrivà *et al.* (2013) subrayan la presencia de alguna especie con una distribución muy restringida, como es el caso de *Herpetocypris chevreuxi* (figura 14.4), así como otras de distribución más cosmopolita en ambientes poco salinos como *Cypris bispinosa*.

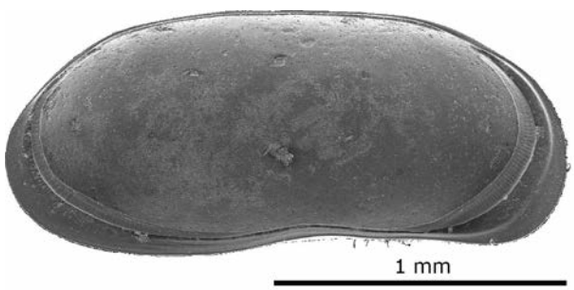


Figura 14.4. Visión externa de una valva de Herpetocypris chevreuxi*, ostrácodo de distribución restringida que se encuentra presente en la Nava Grande (A. Castillo-Escrivà)*

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos más destacables que ofrece esta laguna son:

- Servicios de abastecimiento: acervo genético.
- Servicios de regulación: climática, hídrica y de ciclos biogeoquímicos.
- Servicios culturales: conocimiento científico, identidad cultural, disfrute estético, recreo, turismo, educación ambiental.

Estado ecológico e impactos

El grado de conservación de la laguna Nava Grande es moderadamente bueno. La principal afección radica en el pastoreo realizado en su entorno, o incluso dentro de su vaso. Cabe mencionar la construcción de canales de drenaje perimetrales para recoger agua (Serrano, 2015). Por otra parte, la alteración de la vegetación primigenia afecta especialmente a la zona perilagunar debido a la actividad agrícola (cereal y olivar), también responsable de algunos eventos de eutrofización de las aguas de la cubeta, así como de la diseminación de fertilizantes y fitosanitarios.

En este sentido, la laguna alcanza concentraciones de clorofila y fósforo total generalmente bajas (Serrano, 2015; Castillo-Escrivà *et al.*, 2017) y en torno a niveles oligo-mesotróficos, pero hay descritos episodios de importantes desarrollos de algas filamentosas haptófitas del género Cladophora (Gosálvez, 2011), indicadoras de ciertos niveles de eutrofización.

Valores históricos y culturales

Historia

Según información histórica aportada por el Centro Cultural Santa Teresa del ayuntamiento de Malagón, las evidencias arqueológicas se remontan al Paleolítico medio, edad a la que pertenecen algunos asentamientos humanos del borde septentrional de la laguna en los que se han encontrado instrumentos hechos en cuarcita de la época musteriense (Fernández, 2016).



Figura 14.5. Pinturas rupestres encontradas en la sierra de Malagón (modificado de C. Fernández)

También, en una pequeña cavidad de la vertiente sur de la sierra de Malagón aparecieron 18 puntas de flecha de sílex y diversos objetos que apuntan a un enterramiento colectivo del Calcolítico. Los restos que sobrevivieron a varios saqueos fueron catalogados en el Museo Municipal de los Estados del Duque de Malagón. Cerca del habitáculo anterior se localizan otros hallazgos consistentes en una cavidad con pinturas rupestres (figura 14.5) en las que se aprecia un antropomorfo en colores rojos vinosos.

Asentamientos posteriores se emplazan en lo alto de la sierra, como la conocida Plaza de los Moros que atiende a un poblado en altura de la Edad del Bronce con murallas de piedra para proteger los flancos más vulnerables.

Al sur de la Nava Grande, y presumiblemente con una función de vigilancia, se sitúa el yacimiento de El Castillejo, el más importante y con mayor ocupación temporal de la zona. Se trata de una construcción aislada de planta circular formada por acumulación de piedras y sedimentos en la que se han hallado materiales cerámicos de la Edad del Bronce, del Hierro y de la Edad Media. También de la Edad de Bronce, y con una finalidad similar, aparecen al norte de la Nava Grande los yacimientos de la Morrilla de la Nava I y II, cercanos entre sí pero de menor tamaño que el anterior.

La primera mención bibliográfica a asentamientos más modernos en el entorno de la laguna data del siglo XVI y alude a "*un caserío donde residen 20 vecinos o menos, en la Nava de Mingo Adán que dista una legua, a poniente, de la villa de Malagón*". Tres siglos más tarde (Madoz, 1846-1850) aparece en su extremo noroeste el caserío de El Humilladero que perdura en la actualidad.

Usos tradicionales del entorno lagunar

La romería de San Isidro (figura 14.6) se celebra en el paraje de El Humilladero, cuya denominación le viene por ser el lugar donde se descansaba y se arrodillaban o humillaban ante la imagen del santo los participantes en la peregrinación de la imagen del Cristo, que desde Malagón se dirigía a la pedanía del Cristo del Espíritu Santo.



Figura 14.6. Romería de San Isidro en El Humilladero. Años 70 (Ruíz de la Cruz)

En el entorno de la laguna Nava Grande también era tradición la práctica de la caza y la pesca. Así, en 1979 se fundó la sociedad de Pesca Duque de Medinaceli, con el apoyo de la corporación municipal, como lugar de ocio y esparcimiento para los malagoneros, siendo la pesca el eje principal. El esfuerzo de todos los participantes se vio recompensado con la reintroducción de la especie *black-bass* y las gestiones con el ICONA dieron sus frutos con la repoblación de 2.000 chopos. El principal escollo de esta

iniciativa fue la ausencia de aguas permanentes debido a la desecación estacional del humedal.

Hasta hace 20 años el pastoreo de las cabañas ganaderas caprina y ovina, iniciado a raíz del derecho a pastar libremente, emanado de la Escritura de Concordia de 1552 (Del Campo, 1997), fue una de las principales actividades practicadas en la laguna durante el estío. En la actualidad está prohibido por sus negativas repercusiones sobre la flora y la vegetación autóctona.

Movimientos locales en defensa de humedal

En 1977 se practicaba la caza de patos y la pesca por personas foráneas, hecho que no era bien visto por los malagoneros y dio lugar a que la citada sociedad de Pesca Duque de Medinaceli promoviera la primera norma de prohibición de la caza en la Nava Grande, dictada por el Gobierno Civil de Ciudad Real en septiembre de 1980 (figura 14.7).

En 1996, para acogerse a los planes LEADER II (González, 1996), la asociación cultural Contrapunto promueve el llenado artificial de los humedales, iniciativa apoyada por la asociación de agricultores de La Legua (Tapiador, 1996). El proyecto fue presentado a diferentes estamentos administrativos, pero fue la administración local la que ofreció su apoyo. En 2002 el Consejo de Gobierno de Castilla-La Mancha acuerda los trámites a seguir para la elaboración del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las Navas de Malagón (DOCM, 2002), aprobado tres años después (DOCM, 2005). Más reciente es el Plan de Gestión de Navas de Malagón (2015), elaborado por la Dirección General de Montes y Espacios Naturales de la Consejería de Agricultura de la JCCM.

Espacio de educación ambiental

El entorno de la laguna de Nava Grande se ha convertido en un espacio propicio para disfrutar de su paisaje, así como de su fauna y flora. En este sentido, en el año 2009 se inauguró una ruta de senderismo por la Reserva Natural de las Navas, y un año después la Consejería de Medio Ambiente inauguró el Centro de Interpretación de Las Navas de Malagón en una antigua caseta de peones camineros rehabilitada.



Figura 14.7. Laguna en época invernal. Abril de 2018 (C. Camuñas)

Contexto socioeconómico

El término municipal de Malagón se extiende a lo largo de una superficie de 364,80 km^2, tiene una población de 8.433 habitantes (INE, 2014), lo que supone una densidad de 23,12 hab/km^2 (figura 14.8).

En el nivel de estudios entre los habitantes de mayores de 16 años (tabla 14.6) predomina el segundo grado (42,9%), seguido de las personas que carecen de ellos (22,3%) y de los que lograron alcanzar el primer grado (19,7%). Los grupos en minoritarios son los que sólo tienen el tercer grado (9,1%) y el de los analfabetos (6,0%).

Tabla 14.6. Nivel de estudios (Censo de Población y Vivienda 2011. INE)

NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	***%***
Analfabetos	347	*6,0*
Sin estudios	1.299	*22,3*
1er Grado	1.148	*19,7*
2º Grado	2.493	*42,9*
3er Grado	528	*9,1*
TOTAL	**5.815**	***100***

La principal actividad económica (tabla 14.7) la constituye el sector servicios, con el 61,8% de empresas, seguido de la agricultura y la industria, con un 16,3% para la primera y un 12,0% para la segunda; el 9,9% restante se lo apunta la construcción. Por consiguiente, los trabajadores afiliados al sector servicios son los más numerosos, con un 56,6%, al que les siguen los de la industria con un 18,0% y los afiliados a la agricultura (16,3%). Los minoritarios pertenecen a la construcción, con un 9,2%.

Tabla 14.7. Empresas y afiliación en Malagón (Tesorería General de la Seguridad Social 2014)

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	***%***	**Nº de empresas**	***%***
Agricultura	324	*16,3*	53	*16,3*
Industria	357	*18,0*	39	*12,0*
Construcción	182	*9,2*	32	*9,9*
Servicios	1.121	*56,5*	201	*61,8*
TOTAL	**1.984**	***100***	**325**	***100***

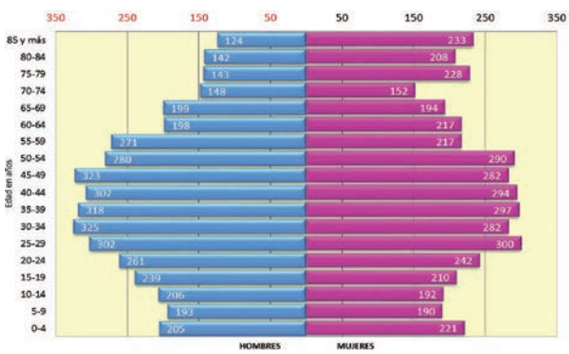


Figura 14.8. Pirámide (izquierda) y Grupos de población de Malagón (derecha) (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha 2014. Padrón Municipal de Habitantes a 1 de enero 2014. Instituto Nacional de Estadística, INE)

El número de parados entre 2009 y 2014 (tabla 14.8) registra un ascenso progresivo, salvo en el último año de la serie que sufre un notable receso.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº de parados	867	935	1.025	1.208	1.353	1.258

Tabla 14.8. Desempleados (Paro municipal registrado. SPEE)

En cuanto a la agricultura (tabla 14.9), la mayor parte de su término municipal está ocupado por pastos (37,4%) y por tierras de cultivo (52,7%) en las que predominan los herbáceos y olivares, siendo minoritarios los viñedos y frutales.

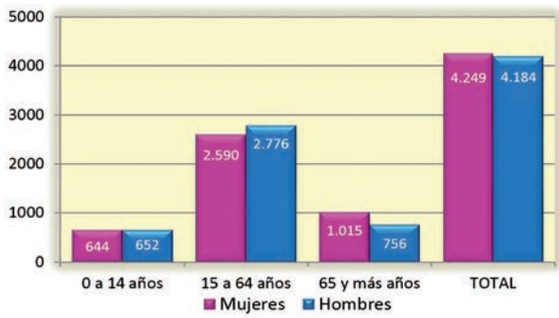
EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		***%***	
Labradas	Herbáceos	17.001	8.614	*52,7*	*50,7*
	Frutales		490		*2,8*
	Olivares		6.843		*40,3*
	Viñedos		1.054		*6,2*
Pastos		12.067		*37,4*	
Forestal		3.163		*9,9*	
TOTAL		**32.231**		***100***	

Tabla 14.9. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2009, INE)

La ganadería se reparte casi en su totalidad entre las cabañas caprina y ovina, con un 51,8% y 46,1%, respectivamente (tabla 14.10).

CABEZAS DE GANADO		
	Nº de cabezas	***%***
Bovinos	232	*0,6*
Ovinos	17.717	*46,1*
Caprinos	19.878	*51,8*
Porcinos	13	*0,0*
Aves	552	*1,4*
Equinos	30	*0,1*
TOTAL	**38.422**	***100***

Tabla 14.10. Cabezas de ganado (Censo Agrario 2009, INE)



HIDROLOGÍA

La laguna Nava Grande de Malagón forma parte de un sistema endorreico de 974,8 ha de superficie (figura 14.9) localizado en la cuenca alta de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Desde el punto de vista administrativo se extiende por el término municipal de Malagón y sólo un sector muy reducido, en concreto el apical de su extremo sur, lo hace por el del municipio de Fernán Caballero. El área vertiente a la laguna posee una morfología trapezoidal, con un vaso lagunar ovalado situado en el centro de la misma y una relación de 1 a 8 entre la extensión máxima inundable y su área vertiente.

De todas las estudiadas en esta publicación, el relieve de la cuenca hidrológica es el más acusado, con una diferencia de 360 m entre las cotas más elevadas (982,6 m s.n.m.), localizadas al norte, y el fondo de la cubeta donde se encuentra la zona inundable (622,6 m s.n.m.), siendo la altitud media de 681,7 m s.n.m y la pendiente media de casi el 12,0%. Por tanto, sus límites norte y sur son de fácil delimitación, mientras que los correspondientes al este y el oeste son difícilmente reconocibles.

En cuanto a la red hidrográfica, no se distingue ningún curso superficial reseñable, y el drenaje se verifica por medio de pequeñas vaguadas, algo más marcadas en la mitad norte, que recogen el agua de las precipitaciones caídas sobre los acusados relieves de su flanco septentrional. Al oeste de esta masa de agua superficial, y a unos 3,5 km de distancia, discurre el río de la Becea, y al este, más alejado, el río Bañuelos.

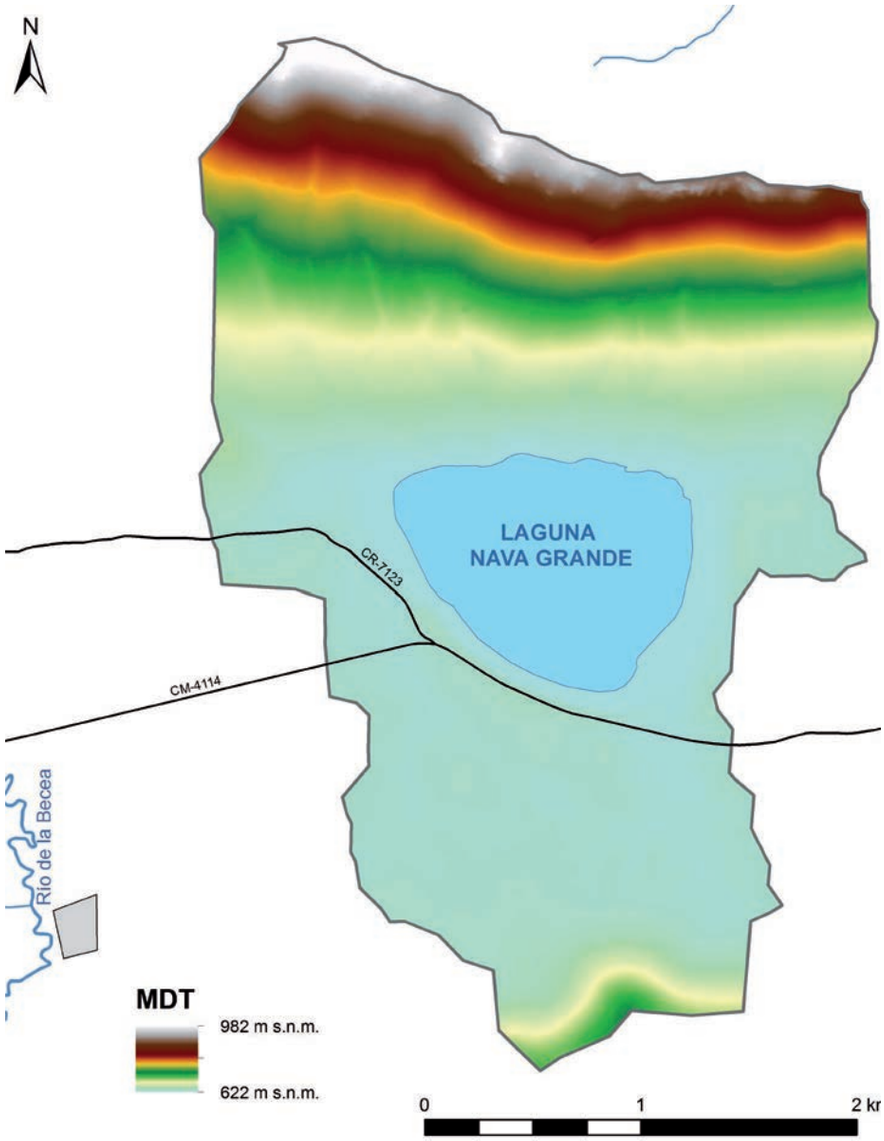


Figura 14.9. Cuenca hidrológica de la laguna Nava Grande

GEOLOGÍA

Las características geológicas del territorio condicionan de manera determinante la existencia y el propio comportamiento hidrológico de laguna Nava Grande de Malagón. En la franja más septentrional, y coincidiendo con las cotas más altas, se alzan los sedimentos más antiguos, representados por los escarpes rocosos del Ordovícico (figura 14.10). Las formaciones del Plioceno, mucho más recientes, afloran a lo largo de una buena parte de la mitad sur, con la excepción de su extremo más meridional en donde aparecen de nuevo sedimentos paleozoicos. Los materiales más modernos, de edad cuaternaria, adquieren también una apreciable extensión, en este caso en el tercio septentrional, y se encuentran representados bajo diversas configuraciones geomorfológicas, tales como coluviones y derrubios, abanicos aluviales, canchales y fondos de valle.

En cuanto a sus características hidrogeológicas (tabla 14.11), predominan los materiales de permeabilidad media (Tipología B: 76%), como son las ortocuarcitas del Ordovícico inferior-medio, las gravas, arenas y fangos del Plioceno, y los sedimentos cuaternarios compuestos por bloques, gravas, arenas y limos. Al 24% restante se le atribuye una baja permeabilidad (Tipología C) y corresponde a las litologías de pizarras y areniscas del Ordovícico medio, costras carbonatadas, limos y arcillas del Plioceno superior y sedimentos recientes de limos, arcillas y gravas de fondo endorreico.

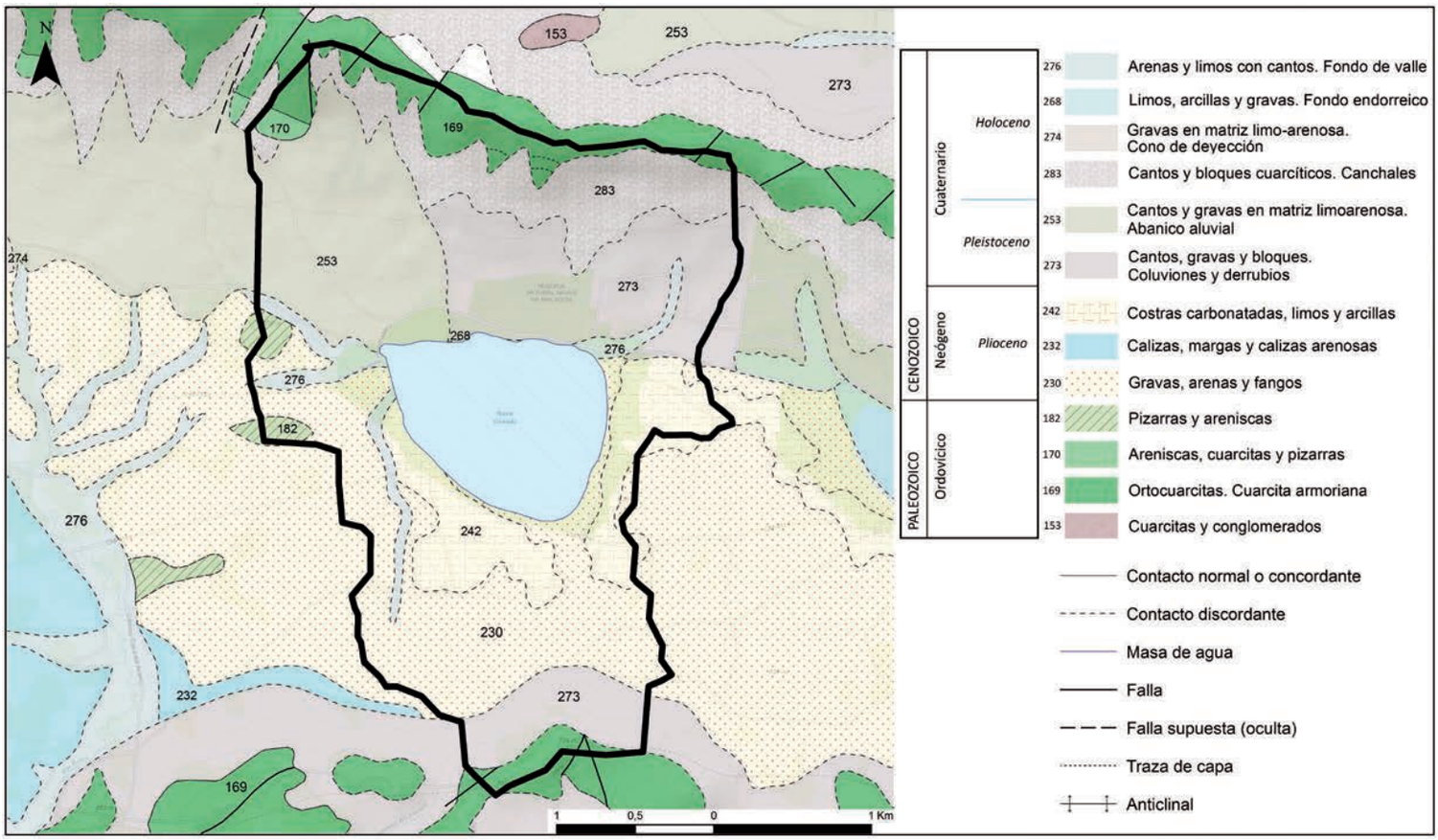


Figura 14.10. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna Nava Grande (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

La cuarcita armoricana, de edad Ordovícico inferior, es la roca más antigua. Configura un conjunto de materiales de alta dureza y compacidad constituido por unos 450 m de cuarcitas cristalinas blancas y grises, estratificadas en bancos masivos. Dan lugar a la formación de sierras y áreas escarpadas con importantes depósitos coluviales en sus laderas que ocultan las formaciones geológicamente infrayacentes. Así, en el extremo noroccidental de la cuenca aparece un pequeño afloramiento de edad Ordovícico inferior-medio, parcialmente oculto por estos derrubios, compuesto por cuarcitas, areniscas y pizarras alternantes, denominadas en conjunto como Capas de Marjaliza, apoyadas de forma concordante sobre la cuarcita armoricana. En orden cronológico, a la formación anterior le siguen las pizarras grises y areniscas de grano fino de edad Ordovícico medio, que aparecen en pequeños afloramientos en zonas deprimidas.

En la mitad meridional de la cuenca, y coincidiendo con áreas topográficamente llanas, se identifican sedimentos pliocenos de escasos metros de espesor integrados por gravas, arenas de grano medio a grueso y arcillas limo-arenosas de tonos rojizos, pardos y anaranjados, relacionados con un medio deposicional de abanico aluvial. En los

Tabla 14.11. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna Nava Grande

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
FORMACIÓN GEOLÓGICA	**Edad**	**Tipología**	**%**
Ortocuarcitas. Cuarcita armoricana	Ordovícico inferior-medio	B	76
Gravas, arenas y fangos	Plioceno	B	
Bloques, gravas, arenas y limos	Cuaternario	B	
Pizarras y areniscas	Ordovícico medio	C	24
Costras carbonatadas, limos y arcillas	Plioceno superior	C	
Limos, arcillas y gravas	Cuaternario	C	
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

bordes oeste, sur y este del humedal se desarrollan costras carbonatadas de morfología plana y potencia entre 1 y 1,5 m generadas por una sucesión de procesos edáfico-sedimentarios.

Los materiales pertenecientes al Pleistoceno y al Holoceno adquieren una gran extensión y preferentemente ocupan zonas endorreicas y de cursos intermitentes de agua. Los coluviones son derrubios cuarcíticos y pizarrosos muy heterogéneos, compuestos por bloques, gravas y cantos envueltos en una matriz arcillosa rojiza que alcanzan espesores variables entre 1 y 6 m. También son comunes los abanicos aluviales de piedemonte, formados por cantos y gravas cuarcíticas.

Sobre los materiales anteriores, en sus cotas más altas y asociados a los relieves más acusados, aparecen los canchales. Se trata de conjuntos litológicos de 1 a 3 m de espesor también integrados por bloques, cantos y gravas, a veces con algo de pizarra, procedentes de la disgregación mecánica de cuarcitas diaclasadas.

Por último, cabe citar a los limos y arcillas pardo-rojizas con gravas que constituyen los finos depósitos del vaso lagunar, al igual que las arenas anaranjadas y limos que ocupan fondos de vaguadas y depresiones.

Las formaciones descritas definen una estructura general donde la serie paleozoica de cuarcitas, areniscas y pizarras del Ordovícico configura un antiforme de dirección WNW-ESE, con la charnela ligeramente desplazada hacia el norte de la sierra, y en la que la cuenca endorreica se extiende sobre su flanco meridional. El buzamiento de estas formaciones, muy acusado cerca del núcleo anticlinal y con suavizamiento progresivo al alejarse del mismo, configura una serie monoclinal sobre la que se encuentran depositados de forma discordante los sedimentos terciario-cuaternarios.

Hidrogeología

La cuenca vertiente a la laguna Nava Grande de Malagón es de reducidas dimensiones y se encuentra inmersa dentro de un contexto hidrogeológico condicionado por la presencia de las formaciones ordovícicas aflorantes o subaflorantes en toda su extensión, algunas de cuyas litologías tienen carácter permeable y constituyen acuíferos de mayor o menor entidad.

Las que tienen unas mejores características hidrodinámicas corresponden a las cuarcitas armoricanas (O_2) y a las Capas de Marjaliza en las que predominan los tramos de areniscas y cuarcitas (O_3). Estas formaciones, de naturaleza detrítica y permeabilidad media por fisuración y porosidad (figura 14.11), presentan una disposición verticalizada en los

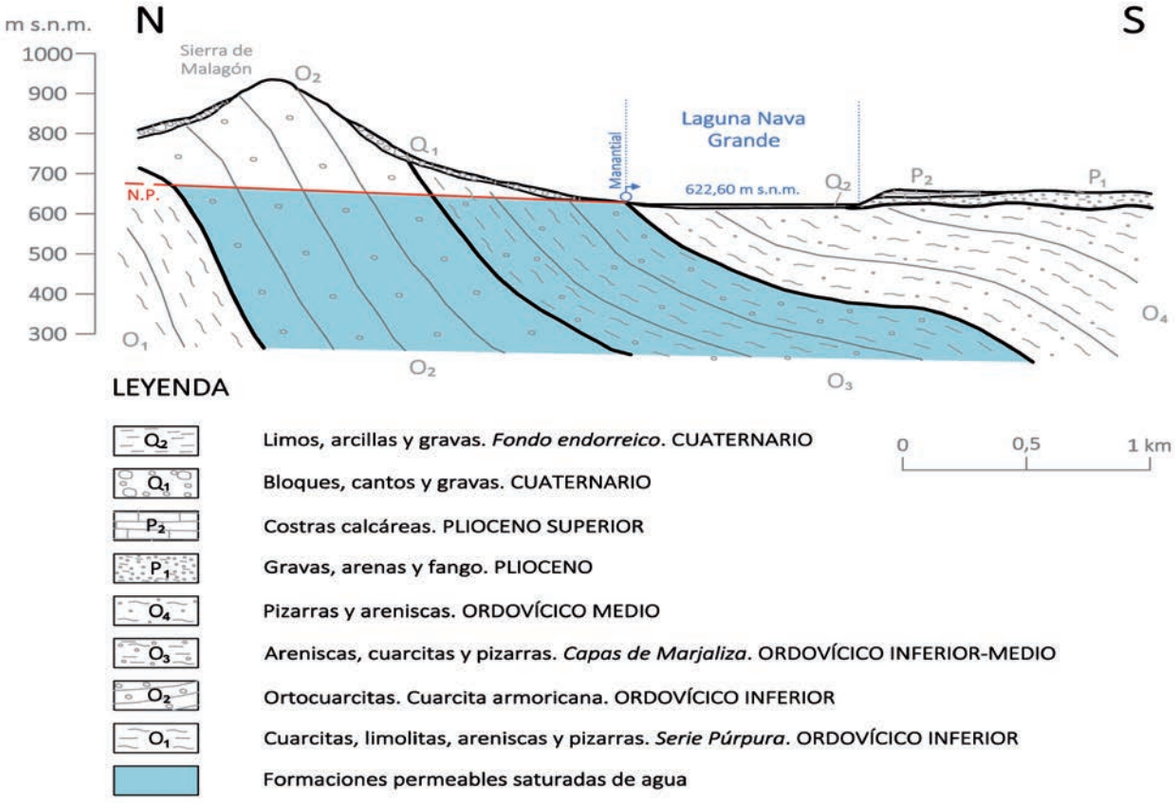


Figura 14.11. Perfil hidrogeológico de la laguna Nava Grande

relieves escarpados del norte con tendencia a suavizarse hacia el sur, y adquieren un importante espesor que, en conjunto, supera los 500 m.

La configuración geológica referida ha dado lugar a la existencia de un acuífero instalado en las cuarcitas armoricanas de edad Ordovícico inferior y, en menor medida, en las Capas de Marjaliza que drena parcialmente, y de forma natural, hacia los manantiales que alimentan la laguna Nava Grande. Por sus relativamente buenas condiciones hidrogeológicas, el acuífero también es captado por algunos sondeos de su entorno.

La base de este sistema hidrogeológico viene dada por las alternancias de cuarcitas, limolitas, areniscas y pizarras del Ordovícico inferior que, con unos 200 m de espesor, tienen un comportamiento global de formación impermeable.

Sobre los materiales que definen el acuífero se encuentra la secuencia de pizarras y areniscas del Ordovícico medio, que constituye un conjunto litológico de permeabilidad baja a muy baja. Esta formación subyace bajo la laguna y es la que permite la acumulación de agua en el vaso, al evitar su infiltración en profundidad.

El resto de las formaciones presentes en el entorno, pertenecientes al Plioceno y al Cuaternario, aunque puntualmente pueden presentar litologías con cierta permeabilidad, son de escaso espesor y carecen de relevancia hidrogeológica.

El sentido general del flujo subterráneo es norte-sur, desde las formaciones cuarcíticas hacia el borde septentrional de la laguna, donde surgen los manantiales que la alimentan. De las cotas obtenidas para ellos también se deduce la existencia de un gradiente hidráulico algo elevado.La surgencia de menor altitud se encuentra junto a la propia laguna (622,6 m s.n.m.) y justo un metro por encima del borde de la misma (623,6 m s.n.m.), mientras que las restantes surgencias identificadas están entre 627 y 641 m s.n.m, lo que implica gradientes del orden del 4% (figura 14.12).

Las aguas subterráneas presentan contenidos salinos extremadamente bajos, ya que la conductividad eléctrica (CE) medida en los manantiales oscila entre 150 y 220 µS/cm, con excepción del situado en el sector occidental, en el que resulta algo mayor y llega a los 730 µS/cm. Aunque por su disposición no se ha podido elaborar un mapa de isoconductividades, sí parece observarse un ligero enriquecimiento en sólidos disueltos con la proximidad al humedal. En cualquier caso, estos valores contrastan fuertemente con la calidad del agua de éste donde se llegan a alcanzar máximos de hasta 17.000 µS/cm (septiembre de 2014), si bien los más habituales están entre 3.000 y 4.000 µS/cm.



Figura 14.12. Mapa piezométrico (m s.n.m.) y sentido del flujo subterráneo. Noviembre de 2014 (IGN)

HIDROQUÍMICA

La analítica de la muestra tomada en la laguna Nava Grande muestra un valor de CE de 17.100 µS/cm, muy superior al de los manantiales y pozas cercanas, con máximos de 730 µS/cm. En cambio, el pH en la laguna es de 8,31, similar al manantial principal, inferior al pH de la fuente y algo superior al obtenido en las pozas.

Al igual que la CE, los aniones mayoritarios son mucho más elevados en la laguna. En las aguas de las pozas los cloruros arrojan valores entre 47 y 93 mg/L, siendo de 23 y 26 mg/L en la fuente y el manantial, respectivamente, mientras que en la laguna se obtienen 5.296 mg/L.

En esta misma línea se encuentran los sulfatos, así como los cationes mayoritarios, con un valor de 18.408 y 5.791 mg/L para el sodio y el magnesio, respectivamente, en la muestra de la laguna, sin llegar a la veintena en el resto de muestras.

La facies hidroquímica predominante en la laguna es clorurada sódico-magnésica (figura 14.13), mientras que en el manantial es sulfatada-clorurada, en la fuente magnésico-sódica y en el agua de las pozas clorurada magnésica (figura 14.14).

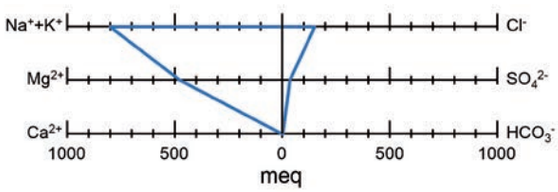


Figura 14.13. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna Nava Grande. Fecha de análisis 27/11/2014

La calidad del agua de la laguna comparada con la normativa de aguas para consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero), por el que se establecen los criterios sanitarios de calidad, se expone en la tabla 14.12

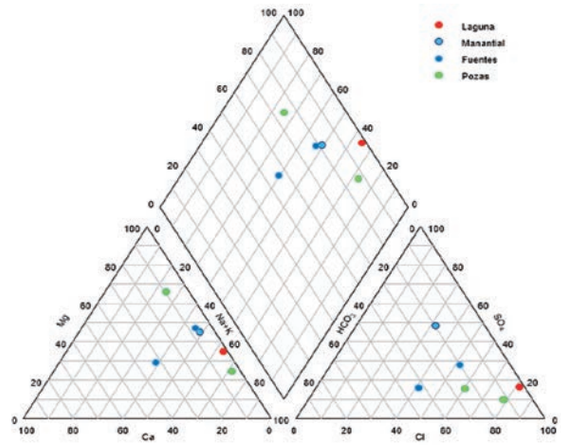


Figura 14.14. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de la muestra de la laguna y su entorno

Para el periodo controlado (enero 2013-septiembre 2014) en la laguna se obtienen valores medios de la CE cercanos a los 3.500 µS/cm. Desde el inicio de la serie hasta mayo de 2014, oscilan entre 1.150 y 4.450 µS/cm, con un mínimo de 890 µS/cm en marzo de 2013. Sin embargo en junio de 2014 asciende a 6.000 µS/cm, con un incremento progresivo hasta alcanzar el valor máximo de 17.140 µS/cm en septiembre de 2014 (figura 14.15).

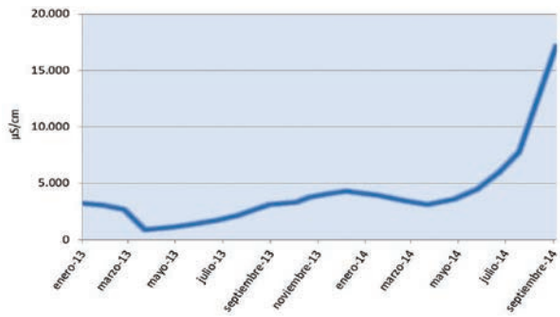


Figura 14.15. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna Nava Grande entre enero de 2013 y septiembre de 2014

	Fecha de análisis			27/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA	
				Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	5,5	10
	Boro	B	mg/L	0,388	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	5.296	250
	Conductividad	CE	µS/cm	17.100	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	246	50
	pH	-	Ud de pH	8,31	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	18.408	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	1.617	250

Tabla 14.12. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

La laguna Nava Grande de Malagón, como otras de la región, es una zona húmeda somera salina de carácter temporal en la que lámina de agua alcanza unas pocas decenas de centímetros durante buena parte del año, pero que normalmente desaparece durante la época estival.

En cuanto a su funcionamiento hidrológico, y a diferencia de otras lagunas mesetarias, reúne características específicas que las diferencian del modelo habitual. En este sentido, viene condicionado por la moderada extensión de su cuenca vertiente y, por tanto, por la escasa entidad de la escorrentía de origen superficial. Por el contrario, las aguas subterráneas tienen un papel relevante en su génesis y supervivencia, ya que en su ribera norte existen varias surgencias que contribuyen al aporte de recursos hídricos con los que mantener unos ciertos niveles de inundación en el vaso.

En consecuencia, la alimentación del humedal se debe esencialmente a los aportes de aguas subterráneas procedentes del acuífero formado por las cuarcitas del Ordovícico, así como por la precipitación directa del agua de lluvia, siendo en este caso la escorrentía superficial menos relevante. Por el lado contrario, el conjunto de estos aportes es drenado exclusivamente por la evaporación generada en la lámina de agua libre del ecosistema y, en consecuencia, se descarta cualquier salida de agua a través de la formación geológica que configura su cubeta.

Este esquema de funcionamiento viene refrendado por la salinidad observada en el agua de la laguna (CE habituales: 3.000 a 4.000 µS/cm), en contraste con la de los manantiales que la alimentan (CE de 150 a 220 µS/cm), atribuida a los procesos de evaporación que necesariamente tienen que darse para alcanzar esa concentración salina.

Balance hídrico

Como en el resto de las lagunas, el balance hídrico de la Nava Grande de Malagón se ha obtenido mediante la metodología desarrollada en el proyecto Ecolake, basada en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua a su vaso.

Como se ha comentado en el apartado anterior, las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada existente en cada momento (superficie teórica máxima de la cubeta: 118,76 ha), a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (974,8 ha) y a los aportes de aguas subterráneas por los manantiales existente en su borde septentrional. Por su parte, las salidas se deben únicamente a la evapotranspiración producida sobre la lámina de agua libre, limitada por el volumen de agua disponible en cada época del año.

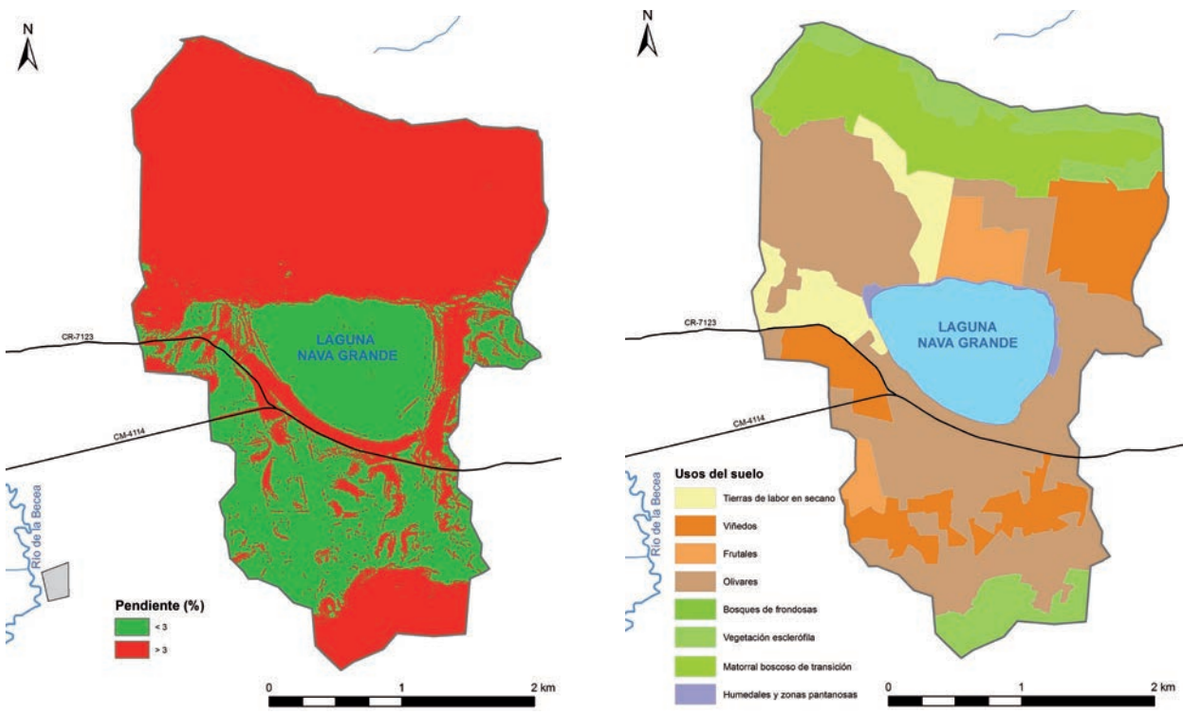


Figura 14.16. Cuenca hidrológica de la laguna Nava Grande. Mapa de pendientes (izquierda) y Mapa de usos del suelo (derecha) (Corine Land Cover 2012)

Los datos climáticos se han obtenido de la estación agroclimática del SIAR de Ciudad Real, para el periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo kc=1,1, escogido en este caso como más adecuado por considerar que la presencia de vegetación macrófita en la cubeta es importante. Para el cálculo de la evaporación se ha considerado la extensión de la lámina de agua de la laguna en cada momento.

El análisis geológico de la cuenca vertiente, según las distintas formaciones aflorantes, ha arrojado como resultado un suelo de tipo B (tabla 14.11). Por su parte, la pendiente media hallada ha sido del 11,6%, es decir, superior al 3% (figura 14.16), mientras que al uso de la tierra se la ha asignado la tipología de labor de secano con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 14.16). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC (*Antecedent Runoff Condition*) 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=41, que se corresponde con un valor de CN I=23 para condiciones de humedad baja y CN III=61 para condiciones de humedad alta. Esto supone unos valores umbral de escorrentía (P_0) medio de 73,10 mm, con un máximo de 178,05 mm y un mínimo de 32,85 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 14.13).

La estimación de los aportes de aguas subterráneas se ha establecido a partir de su relación con la precipitación acumulada. Para ello se ha tenido en cuenta la existencia de un tiempo de respuesta o retardo debido al lento movimiento del agua a través de las formaciones geológicas. En consecuencia, y para su cálculo, los aportes de aguas subterráneas se han considerado proporcionales a las precipitaciones ocurridas durante los 3 últimos meses. El coeficiente que define la relación se ha ajustado mediante la calibración de los volúmenes obtenidos en la simulación del balance hídrico de la laguna con las medidas limnimétricas del proyecto Ecolake. El valor arrojado para dicho coeficiente es de 0,1, equivalente al 10% de la precipitación acumulada en su cuenca vertiente.

La batimetría de la cubeta se ha definido a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG se ha establecido el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación con pasos de altura de 0,02 m. También se han obtenido y representado las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen (figura 14.17).

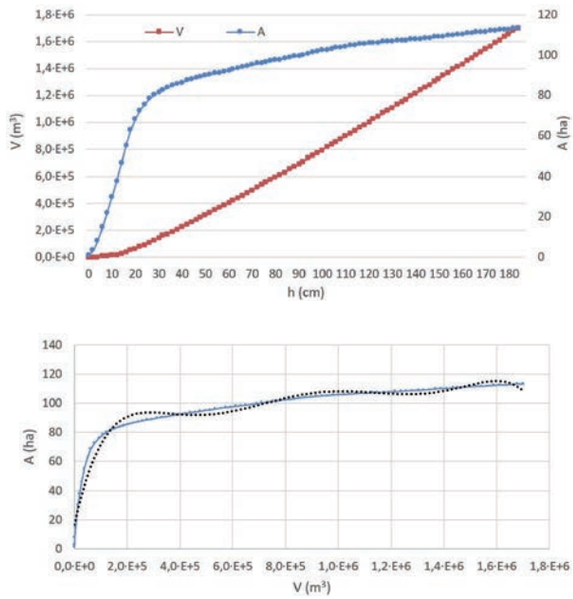


Figura 14.17. Laguna Nava Grande. Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A). Abajo: relación entre área inundada (A) y volumen almacenado (V)

Finalmente, los resultados de la simulación para al periodo del proyecto Ecolake (2012-2014) muestran niveles de agua bastante altos, excepto al final del periodo estival del año hidrológico 2013/14, de precipitaciones escasas (340 mm) en el que la laguna llegó a secarse. En el año hidrológico 2012/13, con precipitaciones abundantes (578 mm), el volumen acumulado fue significativo superior y durante el verano dispuso de una apreciable lámina de agua.

El balance hídrico medio anual obtenido para el mencionado periodo indica que los principales aportes corresponden a las aguas subterráneas (45%) y a la precipitación directa (44%), mientras que la escorrentía superficial (11%) contribuye en mucha menor medida. Por su parte, las pérdidas del sistema son debidas únicamente a la evapotranspiración (tabla 14.14).

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
> 3	> 50% Labor de secano	Media baja	B	178,05	73,10	32,85

Tabla 14.13. Cuenca de la laguna Nava Grande. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Tabla 14.14. Balance hídrico de la laguna Nava Grande. Periodo 2012-2014

Año hidrológico	ENTRADAS				SALIDAS	Variación de volumen (m^3)
	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aportes aguas subterráneas (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP directa (m^3/año)	
2012/13	612.210	170.247	633.805	1.416.261	1.237.827	178.434
2013/14	346.779	81.425	340.740	768.944	1.009.666	-240.722
Media periodo	479.494	125.836	487.272	1.092.603	1.123.747	-31.144

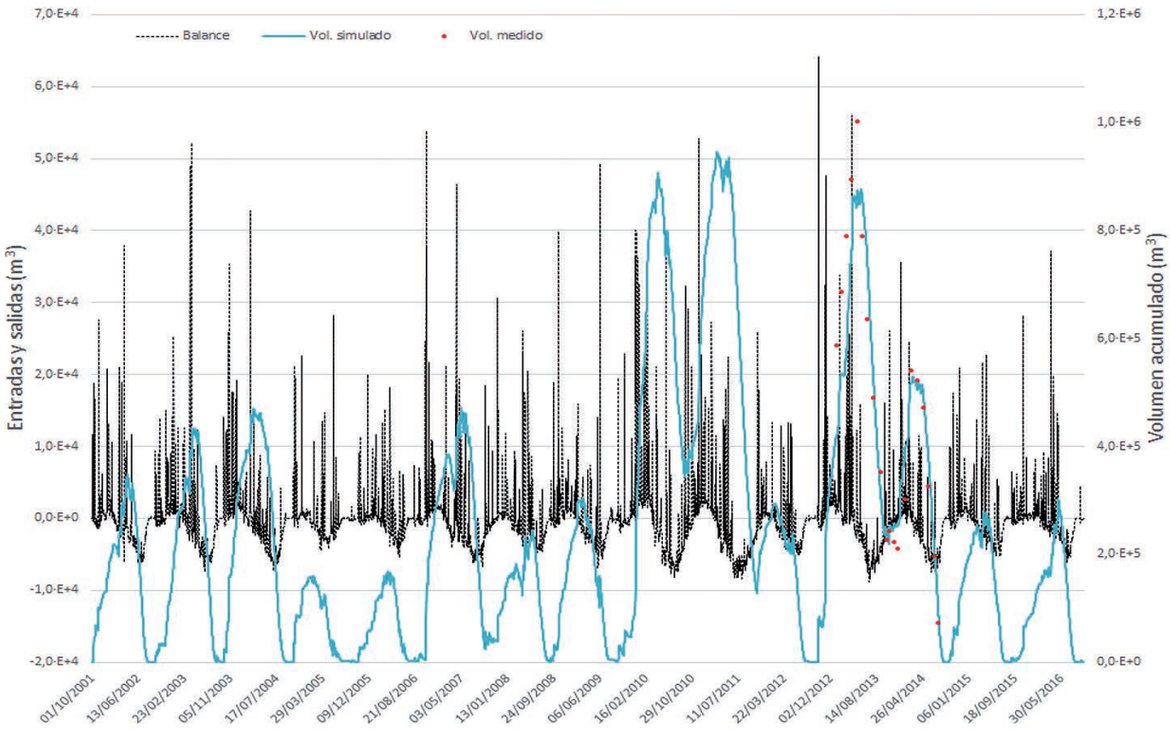


Figura 14.18. Simulación del balance hídrico para la laguna Nava Grande. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

Con los parámetros validados para el periodo de calibración, el balance hídrico hiperanual del humedal para un periodo de 15 años (2001/02 a 2015/16) muestra que el ecosistema presenta estiajes muy marcados y suele secarse durante el verano, excepto en los especialmente húmedos en los que consigue mantener una cierta superficie encharcada (figura 14.18). En el resto de las estaciones la laguna acumula un mayor o menor volumen de agua que depende de las precipitaciones habidas en los últimos meses. Aun así, los resultados de la simulación muestran que mantiene una amplia superficie inundada casi permanentemente (78% del tiempo superior al 50% de la cubeta, 59 ha). La superficie máxima alcanzada por la lámina de agua en este periodo se obtuvo en el año hidrológico 2010/11 como resultado de un periodo excepcionalmente húmedo iniciado en diciembre de 2009.

El balance hídrico hiperanual (15 años) muestra que los aportes corresponden esencialmente a la precipitación directa (45%) y a las aguas subterráneas (44%), mientras que la contribución de la escorrentía superficial (11%) es mucho menor (tabla 14.15). Por su parte, las salidas de agua corresponden únicamente a la evapotranspiración.

Tabla 14.15. Balance hídrico hiperanual de la laguna Nava Grande. Periodo 2001-2016

DATOS			ENTRADAS				SALIDAS
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km^2)	Área media inundada (m^2)	Precipitación directa laguna (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aportes aguas subterráneas (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP directa laguna (m^3/año)
414,51	9,75	724.418	409.017	97.402	403.744	910.163	910.163

Evolución visual del territorio

El relativo alejamiento de los núcleos urbanos, así como de las principales vías de comunicación, hacen que la laguna de Nava Grande no haya sufrido cambios significativos durante las últimas décadas. Prueba de ello son las imágenes aéreas de los años 1957 y 2012 (figura 14.19), que dan testimonio de las escasas modificaciones paisajísticas. Sólo cabe destacar la mejora de los viales y de la carretera que da acceso a la zona endorreica, además de las nuevas construcciones en el extremo noroccidental de la cubeta, manteniéndose prácticamente impasible el mosaico de parcelas de cultivo que la rodean.

Las imágenes mostradas en las siguientes páginas (figuras 14.20 a 14.25) son un reflejo de la belleza paisajística de la laguna Nava Grande, donde la interacción entre las abundantes aguas invernales, la profusa vegetación de su vaso durante todo el año y el acrestado relieve de su sierra configuran una combinación única y singular.



Figura 14.19. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 14.20. Panorámica de la laguna Nava Grande en junio de 2016 (M. Mejías)

Figura 14.21. Humedal en noviembre de 2016 con el cerro de la Víbora al fondo (C. Camuñas)





Figura 14.22. Laguna en época invernal. Abril de 2018 (C. Camuñas)



Figura 14.23. Vegetación en el vaso lagunar en periodo invernal (C. Camuñas)



Figura 14.24. Laguna Nava Grande en noviembre de 2013 (B.J. Ballesteros)



Figura 14.25. Nidos en el entorno lagunar. Junio de 2016 (B.J. Ballesteros)

Capítulo 15



LAGUNA DE CARACUEL

CARACUEL DE CALATRAVA (CIUDAD REAL)





15. LAGUNA DE CARACUEL

Situación geográfica, coordenadas y accesos

Ubicada en la zona central de la provincia de Ciudad Real, y a unos 25 km de su capital, la laguna de Caracuel queda a caballo entre los municipios de Corral de Calatrava y Caracuel de Calatrava (figura 15.1) y forma parte de un conjunto de humedales integrado por las lagunas de Doña Elvira, Perabad, de la Dehesa y de la Estación, así como por otras de menor relevancia.

Su cubeta se encuentra a apenas 1,5 km al sur del núcleo urbano de Caracuel de Calatrava y su punto central tiene las coordenadas X: 407300, Y: 4298200 (UTM ETRS89 H30) y una altitud de 667,1 m s.n.m.

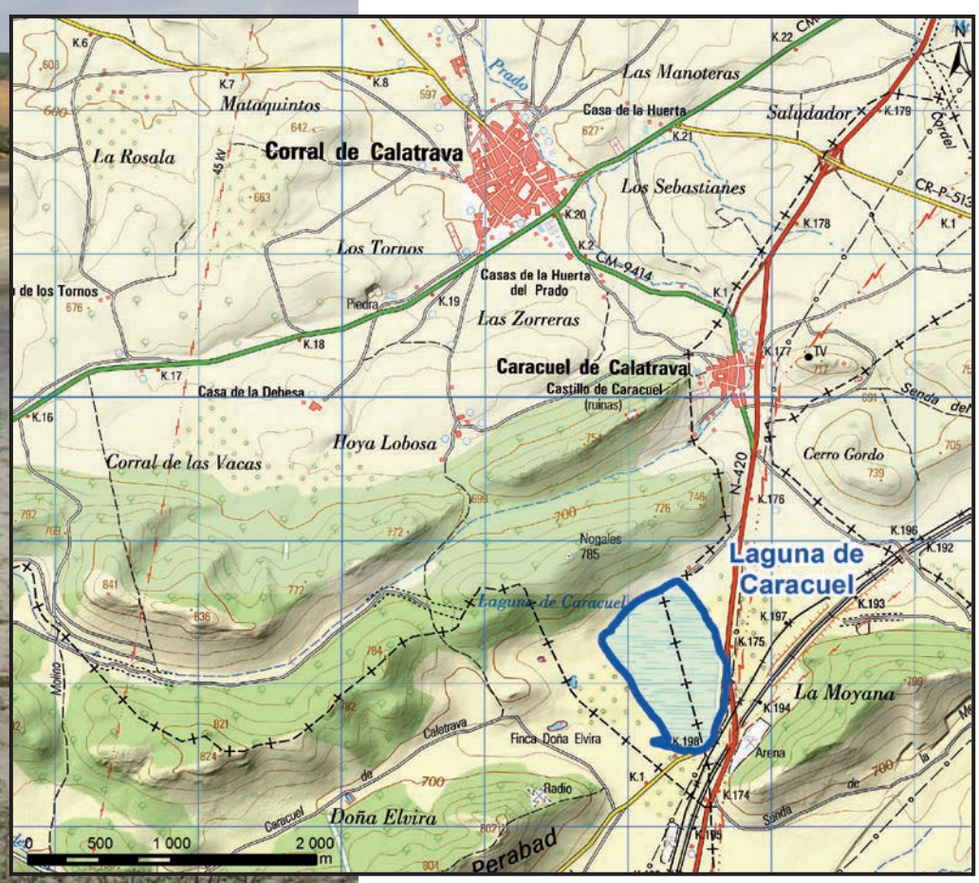


Figura 15.1. Situación geográfica de la laguna de Caracuel (hojas 784 y 810 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)



Figura 15.2. Vaso lagunar de Caracuel en el año 2015 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

La facilidad de acceso a la zona inundable es una de sus características, ya que la autovía A-41, que une Ciudad Real con Puertollano, transita tan solo a 1,5 km en dirección este. Más cerca aún, y junto a su ribera oriental, discurre la carretera N-420.

Si estas dos importantes vías hacen sencilla su visita, también la facilita la carretera CM-4115, que se intersecta con la N-420 en el p.k. 175 y recorre ese mismo flanco de la laguna hasta su extremo sur, para continuar después hasta la localidad de Villamayor de Calatrava. Muy próxima y, de nuevo por su flanco suroriental, discurre la línea de ferrocarril del AVE de Madrid a Puertollano.

Al quedar encajado el humedal entre sierras, al norte, sur y oeste, la red de caminos se limita a las zonas llanas y de piedemonte. Así, al oeste transcurre el camino de Caracuel de Calatrava que lo conecta con la localidad de Villamayor de Calatrava.

Este paraje también enlaza con Corral de Calatrava mediante un camino que parte de la calle Almagro de dicha población. Por último, al este y sureste, respectivamente, serpentea el camino del Coscojar y la senda de la Moyana.

Tras el paso ferroviario, es de reseñar la cercanía del Cordel de Ciudad Real que comunicaba Andalucía y el Valle de Alcudia con Toledo, así como la cañada de Ciudad Real de la Plata en la sierra de las Cabrerizas.

Características fisiográficas

La laguna de Caracuel es un humedal de marcado carácter estacional cuyo rasgo más sobresaliente es que se asienta en un área deprimida generada por sucesivas manifestaciones hidromagmáticas. Su perímetro, de 3,4 km, simula una forma semielíptica de dirección norte-sur, algo rectangular en su parte septentrional y ovalada en la meridional (figura 15.2). La superficie máxima inundable es de 64,78 ha, según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021 (BOE, 2016).

Las sierras que rodean el vaso se alinean según una dirección noreste-suroeste, con altitudes que superan los 800 m s.n.m. y una diferencia topográfica cercana a los 130 m respecto al fondo de la cubeta. Entre ellas cabe destacar la sierra de las Cabrerizas al norte, con su pico Nogales, la sierra de Perabad al suroeste, y la sierra Vieja al este, con sus cimas principales, la Moyana y la Prensa, separadas por el camino del puerto de Zapateros.

En los alrededores de la zona endorreica, de topografía llana, predomina un paisaje de cultivos de cereales y olivares, que alcanzan los flancos sur y oeste de la laguna, en el que es común el pastoreo de ganado ovino, caprino y bovino.

Normativa específica y figuras de protección

A pesar de quedar entre dos términos municipales, la laguna es propiedad del ayuntamiento de Caracuel de Calatrava, de donde toma el nombre. Está protegida por figuras jurídicas de ámbito europeo: Red Natura 2000 y Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava" (tabla 15.1) cuyo Plan de Gestión (2015) fue elaborado por la Dirección General de Montes y Espacios Naturales de la Consejería de Agricultura de la JCCM.

Este pequeño hábitat también fue declarado Microrreserva "Laguna de Caracuel" en mayo de 2003, con una superficie de 66,15 ha y una zona periférica de protección de 402,18 ha que se extiende por los municipios de Corral de Calatrava, Caracuel de Calatrava y Villamayor de Calatrava (DOCM, 2003), por

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA DE CARACUEL
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava", código ES4220005
MICRORRESERVA
Decreto 75/2003, de 13 de mayo, por el que se declara la Microrreserva Laguna de Caracuel en los términos municipales de Caracuel de Calatrava y Corral de Calatrava de la provincia de Ciudad Real (DOCM nº 82, de 06-06-2003)

Tabla 15.1. Figuras de protección de la laguna de Caracuel

la que se estableció un marco normativo dirigido a la conservación de sus valores ecológicos, geológicos, estéticos, educativos y científicos. Su administración y gestión corresponde a la actual Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural de la JCCM.

Cuenta, además, con las normas subsidiarias municipales establecidas en los Planes de Ordenación Urbana de los municipios de Corral de Calatrava y Caracuel de Calatrava, publicados en septiembre de 2006 y 2010, respectivamente.

Climatología

Las características climáticas del entorno han sido determinadas a partir de los datos de la estación meteorológica CR04 Ciudad Real, perteneciente a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha (tabla 15.2).

La precipitación media anual de los últimos 15 años (2001/02-2015/16) es de 414,5 mm, con un máximo de 690,8 mm en el más húmedo (2009/10) y un mínimo de 259,6 mm en el más seco (2004/05). A escala diaria el hecho más destacable es el episodio de lluvia ocurrido el 28 de septiembre de 2012 en el que se acumularon 68,5 mm.

El registro mensual refleja que todos los meses superan los 30 mm de lluvia, salvo los de verano (junio, julio, agosto y septiembre), siendo el más húmedo el de abril y el más seco el de julio con valores de 60,4 mm y apenas 2,9 mm, respectivamente (tabla 15.3). En este periodo la precipitación máxima acumulada en un solo mes fue de algo más de 168 mm (diciembre de 2009 y marzo de 2013).

Registros climáticos anteriores al año 2001, y para un periodo de 40 años (1960/61 a 1999/2000), se han obtenido de la estación meteorológica Alcolea de Calatrava (nº 4134) perteneciente a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), cuyos valores más representativos se resumen en la tabla 15.4. El análisis de sus registros permite concluir que la precipitación media anual en los últimos 15 años ha sufrido un descenso de 86 mm comparada con los 40 años anteriores.

En cuanto a las temperaturas máximas y mínimas diarias, sus valores medios son 21,4 °C y 6,5 °C, respectivamente, mientras que la media anual es de 14,0 °C (tabla 15.5).

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
CR04	Ciudad Real	414362	4321940	662	01/10/2001	30/09/2016

Tabla 15.2. Datos de ubicación y periodo de registro temporal empleado (SIAR)

PRECIPITACIÓN (mm)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**414,5**	**1,0**	**35,5**	**42,9**	**44,1**	**60,4**	**32,1**	**16,4**	**2,9**	**4,7**	**28,7**	**57,7**	**45,2**	**45,9**
Máxima absoluta	690,8	68,5	99,6	126,6	168,9	134,0	75,2	66,4	11,8	15,8	91,7	123,4	128,5	168,4
Fecha	2009/10	28/09/2012	2010	2010	2013	2007	2008	2000	2010	2003	2012	2003	2012	2009
Mínima absoluta	259,6	0,0	1,8	1,8	10,8	22,4	5,9	0,2	0,0	0,0	0,0	27,0	8,8	7,8
Fecha	2004/05	-	2005	2012	2008	2009	2015	2002	Varios años	Varios años	2011	2015	2009	2015

Tabla 15.3. Registro de valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica CR04 Ciudad Real (SIAR)

Tabla 15.4. Datos de ubicación, registro temporal y valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica nº 4134 Alcolea de Calatrava (AEMET)

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
4134	Alcolea de Calatrava	403305	4315839	650	1960/61	1999/2000

PRECIPITACIÓN (mm)		
	Precipitación anual	Fecha
Media	**502,7**	1960/61 - 1999/2000
Máxima absoluta	866,0	1968/69
Mínima absoluta	219,1	1998/99

Tabla 15.5. Registro de valores de temperatura más relevantes de la estación termo-pluviométrica CR04 Ciudad Real (SIAR)

TEMPERATURA (°C)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**14,0**	**-**	**4,7**	**5,9**	**9,0**	**12,0**	**16,3**	**22,3**	**25,5**	**24,7**	**19,9**	**14,6**	**8,4**	**5,0**
Máxima media	21,4	-	10,6	12,4	16,1	19,2	24,2	30,8	34,4	33,7	28,1	21,9	14,8	11,1
Mínima media	6,5	-	-0,4	0,0	2,2	4,7	7,8	12,6	15,0	14,7	11,5	7,9	2,7	-0,1
Máxima absoluta	-	43,0	19,6	22,8	43,0	30,4	38,2	41,1	42,1	42,0	39,7	31,9	25,4	19,9
Fecha	-	27/03/02	27/01/03	27/02/10	27/03/02	29/04/05	17/05/06	29/06/15	06/07/15	10/08/12	06/09/16	01/10/04	16/11/09	15/12/15
Mínima absoluta	-	-11,9	-11,9	-10,5	-8,1	-3,1	-1,8	2,4	7,0	0,0	0,0	-2,7	-9,9	-8,7
Fecha	-	28/01/05	28/01/05	12/02/12	09/03/05	02/04/16	04/05/02	09/06/02	09/07/04	16/08/12	27/09/12	26/10/10	17/11/07	17/12/10

Valores ambientales

Valoración global

El interés botánico de esta laguna reside en la existencia de una comunidad relativamente diversa de macrófitos, que son comunidades de hábitats de interés comunitario, así como en su variada y numerosa avifauna.

Biodiversidad: flora y fauna

Un desarrollo denso y continuo de carrizo (*Phragmites australis*) constituye la vegetación marginal de la cubeta en la que también aparecen eneas (*Typha* sp.) y distintos tipos de juncos (*Eleocharis palustris, Scirpus* spp.). Respecto a la vegetación sumergida, la relativa baja salinidad de la laguna y su mayor profundidad (1,5-2,0 m) comparada con las de su entorno, facilita el establecimiento de una amplia comunidad de macrófitos, como la espiga de agua (*Potamogeton pectinatus*) o varias especies de carófitos, como *Chara connivens* o *Chara galioides* (Camacho *et al*., 2009). Ruiz *et al.* (2011) citan la presencia de lenteja de agua (*Lemna gibba*) como respuesta a leves procesos de eutrofización, aunque su manifestación no parece ser habitual por su moderado contenido de nutrientes. La presencia del macrófito *Zannichellia obtusifolia*, incluido en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas (Gosálvez, 2011), constituye la única ubicación de la región.

Biodiversidad microbiana y del plancton

El óptimo estado trófico y la moderada salinidad del agua facilitan el establecimiento de una comunidad de zooplancton y zoobentos relativamente diversa (Fernández *et al.*, 2009; Schmit *et al.*, 2013) en la que destacan el anostráceo *Branchinecta orientalis*, distintas especies de cladóceros como *Alonella excisa*, o los dafnidos *Ceriodaphnia reticulata*, *Daphnia cucullata* y *Daphnia longispina*. En cuanto a los copépodos, cabe citar la presencia de *Ectocyclops phaleratus* o *Paracyclops affinis*. También un pormenorizado estudio realizado por Schmit *et al.* (2013) sobre la reproducción partenogenética de *Eucypris virens* en el humedal apunta a una notable diversidad de ostrácodos, sobre todo cuando las condiciones de inundación permiten el desarrollo de distintos tipos de nichos. No obstante, cuando la heterogeneidad espacial es menor, caso del proyecto Ecolake, se observa una comunidad de ostrácodos menos rica y dominada por las especies *Cypris bispinosa* y *Herpetocypris chevreuxi* (Castillo-Escrivà *et al.*, 2016). De las observaciones del zooplancton,

también en el contexto Ecolake, se deduce una escasa diversidad, con un predominio significativo entre los cladóceros de *Daphnia magna*. La comunidad de macroinvertebrados, por su parte, está compuesta principalmente por heterópteros de las familias *Corixidae* y *Pleidae* y efemerópteros de la familia *Caenidae*.

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos más destacables que ofrece esta laguna son:

- Servicios de abastecimiento: acervo genético.
- Servicios de regulación: climática, hídrica y de ciclos biogeoquímicos.
- Servicios culturales: conocimiento científico, identidad cultural, disfrute estético, recreo, turismo, educación ambiental.

Estado ecológico e impactos

La laguna de Caracuel se encuentra bien conservada en términos generales. Su estado trófico era óptimo durante el proyecto Ecolake, igual al observado en otros estudios (Fernández *et al.*, 2009 y Serrano, 2015), con concentraciones de clorofila-a en niveles próximos a la oligotrofia (<2 ug/l) y una diversidad de macrófitos y zooplancton que lo corrobora. Posiblemente, el impacto más evidente sufrido por este ecosistema es la presencia de la carretera CM-4115 que, además de comprometer parte del cinturón perilagunar, perturba la avifauna. Otros impactos de menor magnitud son la presencia de una pequeña granja de ganado bovino con escasa actividad, así como la existencia de un vallado perimetral, rebasado por la lámina de agua (figura 15.3) en aquellos periodos, no tan excepcionales, en los que se alcanza el máximo nivel de inundación.

Valores históricos y culturales

Historia y arqueología

La historia de la laguna de Caracuel (figura 15.4) ha estado unida a lo largo de los siglos a la localidad de la que toma su nombre. Sin embargo, a finales del siglo XIV Corral de Calatrava, que históricamente pertenecía a Caracuel de Calatrava, recibió el beneficio de Villa y en 1822 se produjo la segregación definitiva, con el reparto de la laguna y su ámbito natural entre ambas poblaciones.

La primera cita del municipio de Caracuel de Calatrava aparece en el Itinerario de Antonino con el nombre de *Carcuvium*, y como mansión de la vía de Mérida a Zaragoza. Otras fuentes documentales lo sitúan en posibles itinerarios de vías romanas, como las vías de Toledo a Córdoba, o la de Mérida a Almansa, las cuales mantuvieron su vigencia durante las épocas visigoda y musulmana.



Figura 15.3. Vallado perimetral del extremo noroeste, rebasado en los periodos de máxima inundación en enero de 2014 (C. Rochera)



Figura 15.4. El entorno de la laguna de Caracuel ha sido testigo de asentamientos humanos durante siglos (C. Camuñas)

La encomienda de Caracuel, fundada en 1170 y una de las más antiguas del Campo de Calatrava, indicaba que la autoridad en la zona era la Orden de Calatrava. El cambio de titularidad de parte del territorio a favor de Corral de Calatrava causó efecto en el Capítulo General de 1551. A partir de esa división Caracuel de Calatrava es, prácticamente, abandonada por sus habitantes y su importancia decae. El hecho es recogido, entre otros documentos, en las Relaciones Histórico Geográfico Estadísticas de los pueblos de España (Viñas y Paz, 1951) donde se narra el pasado esplendor de Caracuel y los motivos de su desertización.

La segregación favoreció notablemente al pueblo de Corral de Calatrava, pues obtuvo la mayor parte del territorio y del vaso lagunar, así como el castillo de Caracuel. Durante estos últimos cinco siglos, Caracuel de Calatrava no ha recuperado su grandeza como villa, ni su población, ya que los vecinos del municipio ascienden a tan solo 141 personas (INE, 2017). De esta forma, la primera de las mencionadas poblaciones pasó de ser una aldea de orden secundario a adquirir una mayor relevancia, tal y como se deduce de las Relaciones Topográficas de 1575 en las que se cita la toponimia de Corral de Calatrava como herradero de vacas de Caracuel: "*bajo de aquella villa de Caracuel un corral donde tiene asiento esta villa que servía de herradero de vacas y allí se edifico este pueblo por esto se entiende verismilmente tener el susodicho nombre*".

El patrimonio arquitectónico más cercano al humedal es el castillo de Caracuel (figura 15.5). Esta fortaleza, de origen musulmán y situada en el monte Nogales del término de Corral de Calatrava, data del siglo IX y fue reformada en los siglos XII y XIII bajo la protección del Decreto de 22 de abril de 1949 y la Ley 16/1985 del Patrimonio Histórico Español.



Figura 15.5. Castillo de origen musulmán del siglo IX (Archivo fotográfico de Caracuel de Calatrava)

Por otra parte, los yacimientos de Laguna de Caracuel I, Laguna de Caracuel II y Camino del Coscojar, datados en el Paleolítico y la Edad Media, están asociados a la ribera de la laguna y a la cercanía del Cordel de Ciudad Real. Dada su importancia histórica y cultural, se ha delimitado un ámbito de protección arqueológica que comprende las inmediaciones del municipio de Caracuel de Calatrava, el cerro del Mirador y el cerro del Castillo, donde se han identificado yacimientos adscritos al Paleolítico, Hierro I, Hierro II y época romana.

Aprovechamientos tradicionales del entorno lagunar

Según el ayuntamiento de Caracuel, propietario de la laguna, antes de la declaración de este espacio como microrreserva se adjudicaba anualmente, y mediante licitación pública, su aprovechamiento cinegético a cambio de una contraprestación económica. De esta manera, la caza constituyó una actividad tradicional y arraigada. Madoz (1846-1850) ya mencionaba la importancia de este recurso cuando informó de la productividad de los municipios de Corral de Calatrava: "*se cria caza menor, alguna mayor, y abundancia de lobos y zorras*" y Caracuel: "*se cria mucha caza de todas clases*".

Los vecinos de mayor edad recuerdan cómo la laguna anegaba la carretera de Villamayor y era visitada por multitud de personas de fuera de la provincia que llegaban con sus barcas a cazar toda clase de anátidas, actividad totalmente prohibida en la actualidad.

Espacio de educación ambiental

Según Becerra *et al.* (2008), los principales problemas a los que se enfrenta este espacio natural son su proximidad al oleoducto Puertollano-Madrid y a las carreteras N-420 y CM-4115, aspectos ya comentados. También perturba este hábitat el paso de la línea ferroviaria por su orilla sureste (figura 15.6) y la quema esporádica del carrizo de la orla perimetral. Como elemento de protección, cuenta con un vallado de malla ganadera y postes de madera tratada.



Figura 15.6. El tren circula a escasos metros de la laguna perturbando este hábitat, julio 2011 (© Un paseo manchego)

En cuanto a actividades de ocio este humedal tiene un escaso uso público, si bien se puede realizar senderismo o ciclismo en sus proximidades. Asimismo, existe un observatorio de aves en su margen meridional que regala una de las mejores panorámicas de la laguna, si bien en la actualidad se encuentra abandonado y deteriorado por las secuelas del incendio acaecido en 2015 (figura 15.7).



Figura 15.7. Observatorio de aves, en estado de abandono, al sur del humedal (C. Camuñas)

Contexto socioeconómico

Como ya se ha mencionado, el vaso lagunar se encuentra entre dos términos municipales y, dado que la mayor superficie corresponde a Corral de Calatrava, el contexto socioeconómico analizado será el de este municipio. Dicha localidad cuenta con 1.150 habitantes (INE, 2014) y un término municipal que se extiende a lo largo de 148,77 km^2, lo que supone una densidad de 7,73 hab/km^2 (figura 15.8).

En cuanto al nivel de estudios de la población mayor de 16 años, predomina el segundo grado (tabla 15.6), seguido de las personas que carecen de estudios (40,4% y 31,6%, respectivamente) y de las que alcanzaron el primer grado (18,6%). Los grupos minoritarios corresponden a los que tienen el tercer grado (6,1%) y a los analfabetos (3,3%).

Tabla 15.6. Nivel de estudios (Censo de Población y Vivienda 2011. INE)

NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	%
Analfabetos	32	*3,3*
Sin estudios	307	*31,6*
1er Grado	180	*18,6*
2º Grado	391	*40,4*
3er Grado	59	*6,1*
TOTAL	**969**	***100***

La principal actividad económica (tabla 15.7) reside en el sector servicios, con el 54,3% de empresas, le siguen la agricultura y la industria, con un 23,9% para la primera y el 13,1% para la segunda, mientras que el 8,7% restante corresponde a la construcción. Los trabajadores afiliados al sector servicios son los más numerosos, con un 43,7%, después se encuentran los agricultores con un 23,4%, y los afiliados a la industria, 21,6%. Los minoritarios pertenecen a la construcción, con un 11,3%.

Tabla 15.7. Empresas y afiliación en Corral de Calatrava (Tesorería General de la Seguridad Social 2014)

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	54	*23,4*	11	*23,9*
Industria	50	*21,6*	6	*13,1*
Construcción	26	*11,3*	4	*8,7*
Servicios	101	*43,7*	25	*54,3*
TOTAL	**231**	***100***	**46**	***100***

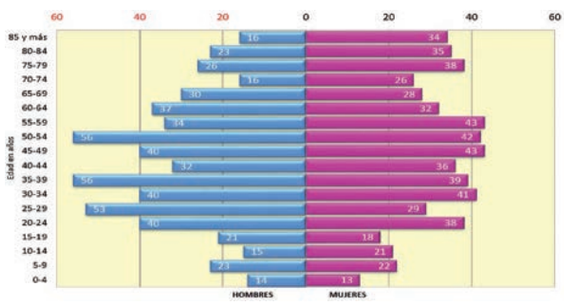


Figura 15.8. Pirámide (izquierda) y Grupos de población de Corral de Calatrava (derecha) (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha 2014. Padrón Municipal de Habitantes a 1 de enero 2014. Instituto Nacional de Estadística, INE)

La evolución ocupacional entre 2009 y 2014 (tabla 15.8) registra un ascenso significativo al inicio de la serie, que se modera en los años siguientes.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº de parados	78	135	132	155	192	194

Tabla 15.8. Desempleados (Paro municipal registrado. SPEE)

Desde el punto de vista del territorio (tabla 15.9), gran parte de su término municipal está ocupado por cultivos (61,2%), en los que predominan los herbáceos (93,4%), siendo minoritario el olivar (6,3%) y casi testimonial la vid (0,3%).

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	6.306	5.888	*61,2*	*93,4*
	Frutales		1		*0,0*
	Olivares		399		*6,3*
	Viñedos		18		*0,3*
Pastos		1.737		*16,9*	
Forestal		2.259		*21,9*	
TOTAL		**10.302**		***100***	

Tabla 15.9. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2009, INE)

En cuanto a la ganadería, la cabaña ovina es mayoritaria, con un 90,2%; le siguen la caprina y la bovina, que ocupan el segundo y tercer lugar con el 6,3% y 3,2%, respectivamente, mientras que el porcentaje restante, del 0,3%, corresponde a la avicultura y a los equinos (tabla 15.10).

CABEZAS DE GANADO		
	Nº de cabezas	%
Bovinos	421	*3,2*
Ovinos	12.035	*90,2*
Caprinos	843	*6,3*
Porcinos	0	*0,0*
Aves	23	*0,2*
Equinos	12	*0,1*
TOTAL	**13.334**	***100***

Tabla 15.10. Cabezas de ganado (Censo Agrario 2009, INE)



Hidrología

Al igual que el resto de las lagunas estudiadas, la de Caracuel se encuentra en la cuenca alta de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Dentro de este marco hidrográfico, ocupa el lugar más deprimido de un área de carácter endorreico localizada entre los arroyos del Garbanzo, que discurre a algo más de un kilómetro hacia el norte, y de Ubreba, unos 2 km al sur, ambos de carácter estacional.

Su cuenca vertiente, con una superficie de 622,1 ha (figura 15.9), se extiende sobre el término municipal de Villamayor de Calatrava, con la excepción de su extremo oeste, que pertenece a Caracuel de Calatrava, y de la zona norte, en este caso a Corral de Calatrava. El área así definida tiene una morfología rectangular y alargada en dirección noreste-suroeste, con la zona inundable situada en el tercio oriental, y una relación de 1 a 10 entre el área total de la cuenca vertiente y la de la propia laguna.

La pendiente media de la cuenca hidrológica es del 13,1%, con los relieves más acentuados en el sector suroccidental, y una diferencia de 159 m entre las cotas más elevadas (826,2 m s.n.m.) y la cubeta del humedal (667,1 m s.n.m.), siendo la altitud media de 710,4 m s.n.m.

En la cuenca no se distingue ningún curso superficial reseñable y la red de drenaje está formada por vaguadas que recogen, sobre todo, el agua de las precipitaciones de los flancos de mayor relieve.

Geología

La cuenca hidrológica de Caracuel está ocupada por materiales que abarcan un lapso temporal muy amplio a escala geológica. Los más antiguos pertenecen al Ordovícico y afloran en las zonas más elevadas, mientras que los más modernos son de edad cuaternaria y aparecen en las cotas más bajas. Entre ellos sólo están representados algunos sedimentos neógenos, por lo que se encuentran ausentes las formaciones mesozoicas (figura 15.10).

Sin embargo, desde el punto de vista geológico, lo más sobresaliente tiene que ver con la propia génesis de la laguna, ya que a lo largo del Mioceno superior-Pleistoceno inferior en el Campo de Calatrava tuvo lugar una intensa actividad volcánica, con la extrusión de diversos tipos de magmas y el desarrollo de estructuras que favorecieron la creación de áreas endorreicas y la formación de áreas inundables. Este humedal queda emplazado en una estructura volcánica formada por rocas hidromagmáticas que se extienden ampliamente por la parte centro-oriental de su

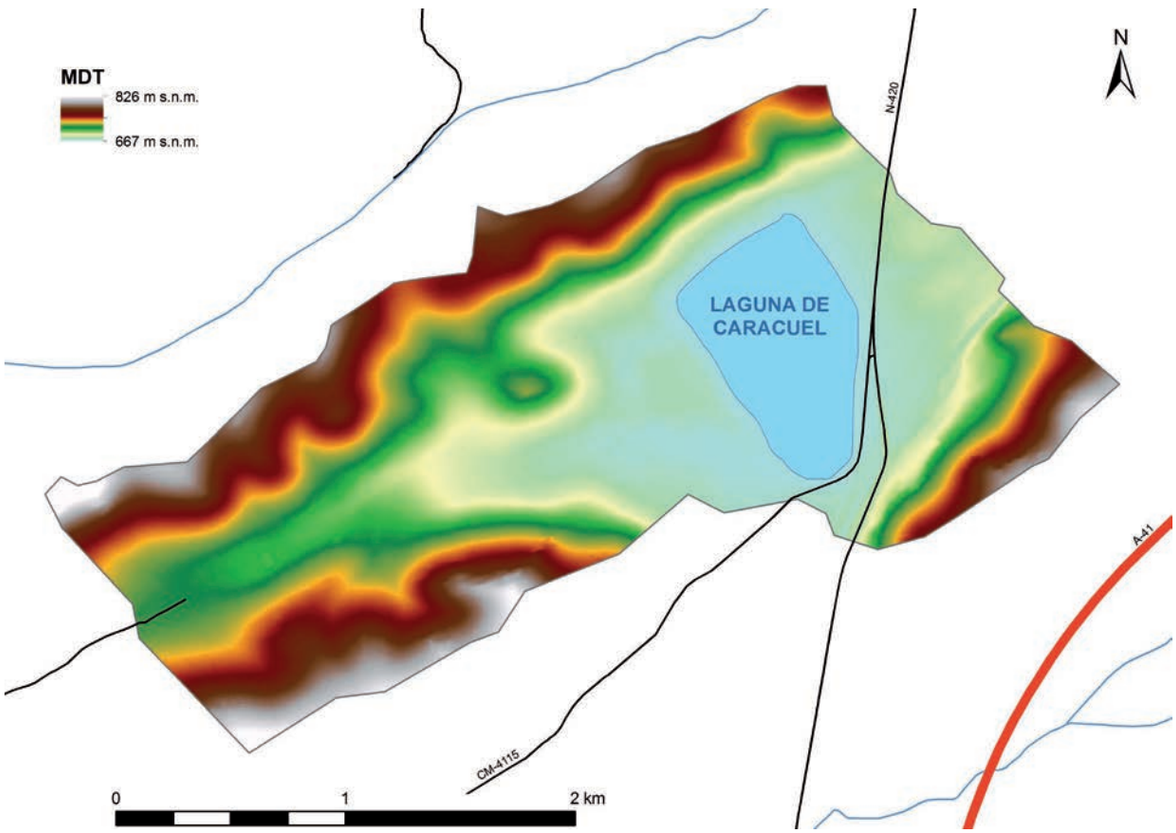


Figura 15.9. Cuenca hidrológica de la laguna de Caracuel

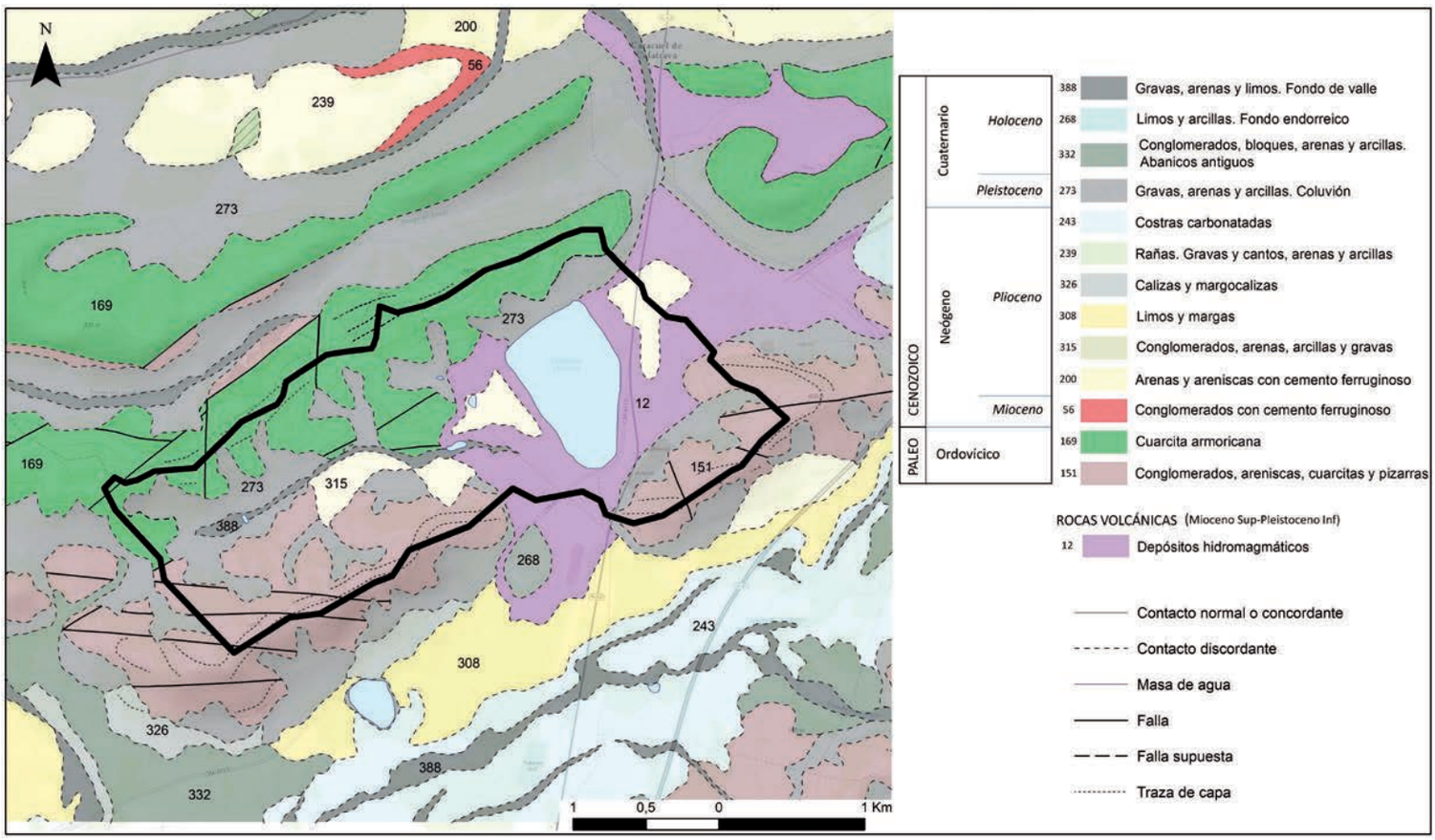


Figura 15.10. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de Caracuel (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

cuenca hidrológica. Estos materiales se generaron por una erupción freato-magmática explosiva y violenta, causada por el contacto del magma con las aguas subterráneas, que dio lugar a la formación de depresiones pseudoredondeadas o elípticas conocidas como *maares*.

Respecto al comportamiento hidrogeológico de las formaciones geológicas (tabla 15.11), el predominio corresponde a los materiales de permeabilidad media (Tipología B: 52%), entre los que se encuentran las cuarcitas armoricanas y los conglomerados, arenas, arcillas y gravas pliocuaternarias. La baja permeabilidad (Tipología C: 38%) se le atribuye a los conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras del Ordovícico y a los depósitos hidromagmáticos de edad Mioceno superior-Pleistoceno inferior. El 10% restante está representado por limos y arcillas del fondo endorreico, a los que se les atribuye una nula permeabilidad (Tipología D).

Petrográficamente, los depósitos hidromagmáticos son tobas poligénicas, heterométricas y muy variables, con fragmentos volcánicos procedentes del lugar donde se produce la explosión hidromagmática, usualmente porfídicos, unidos por un cemento de ceniza muy fina.

Los sedimentos más antiguos pertenecen al Ordovícico inferior y están constituidos por depósitos de

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
FORMACIÓN GEOLÓGICA	**Edad**	**Tipología**	**%**
Cuarcita armoricana	Ordovícico	B	52
Conglomerados, arenas, arcillas y gravas	Pliocuaternario	B	
Conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras	Ordovícico	C	38
Depósitos hidromagmáticos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	
Limos y arcillas	Cuaternario	D	10
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Tabla 15.11. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de Caracuel

plataforma somera representados por areniscas, cuarcitas y pizarras con intercalaciones de microconglomerados y conglomerados cuarcíticos dispuestos en capas de espesor variable. Esta formación aflora en los núcleos y flancos de los anticlinorios que marcan el límite norte, oeste y suroeste de la cuenca. Sobre estos materiales se encuentra la formación de las cuarcitas armoricanas, también de edad Ordovícico inferior, cuyos afloramientos se extienden sobre la franja del tercio noroccidental.

En orden cronológico, a la formación anterior le siguen los conglomerados, arenas, arcillas y gravas de edad Plioceno que aparecen en un pequeño afloramiento en el sector central y al oeste de la cuenca. Se trata de una formación detrítica de origen continental, con cierta alteración química, apoyada sobre una superficie ondulada que fosiliza la superficie infrayacente.

Registros del Plioceno superior-Pleistoceno inferior se localizan en sendos afloramientos a ambos lados del vaso lagunar, sobre los que se desarrolla una superficie de erosión tapizada por costras carbonatadas de tonalidades rojizas.

Los depósitos de cantos y gravas angulosas de cuarcita y pizarra con abundante proporción de arenas y arcillas rojizas están bien representados. Aparecen al pie de los relieves paleozoicos, especialmente en la vertiente meridional de la sierra de las Cabrerizas y en la vertiente septentrional de las sierras de Perabad y Vieja. A estos depósitos coluviales se les atribuye una edad Pleistoceno inferior-Holoceno.

En la franja central de la cuenca, y en las cotas más bajas, se encuentran sedimentos cuaternarios de fondo de valle formados por gravas, arenas y limos del Holoceno. En cuanto la cubeta de la laguna, responde a una litología de limos y arcillas grises también de edad holocena.

Hidrogeología

La superficie que vierte sus aguas a la laguna de Caracuel es de reducidas dimensiones y, como se ha comentado, está inmersa dentro de un contexto geológico-hidrogeológico singular relacionado con fenómenos volcánicos. Su zona inundable (figura 15.11) se ubica en el centro de la depresión creada por un antiguo cráter volcánico que, según la literatura

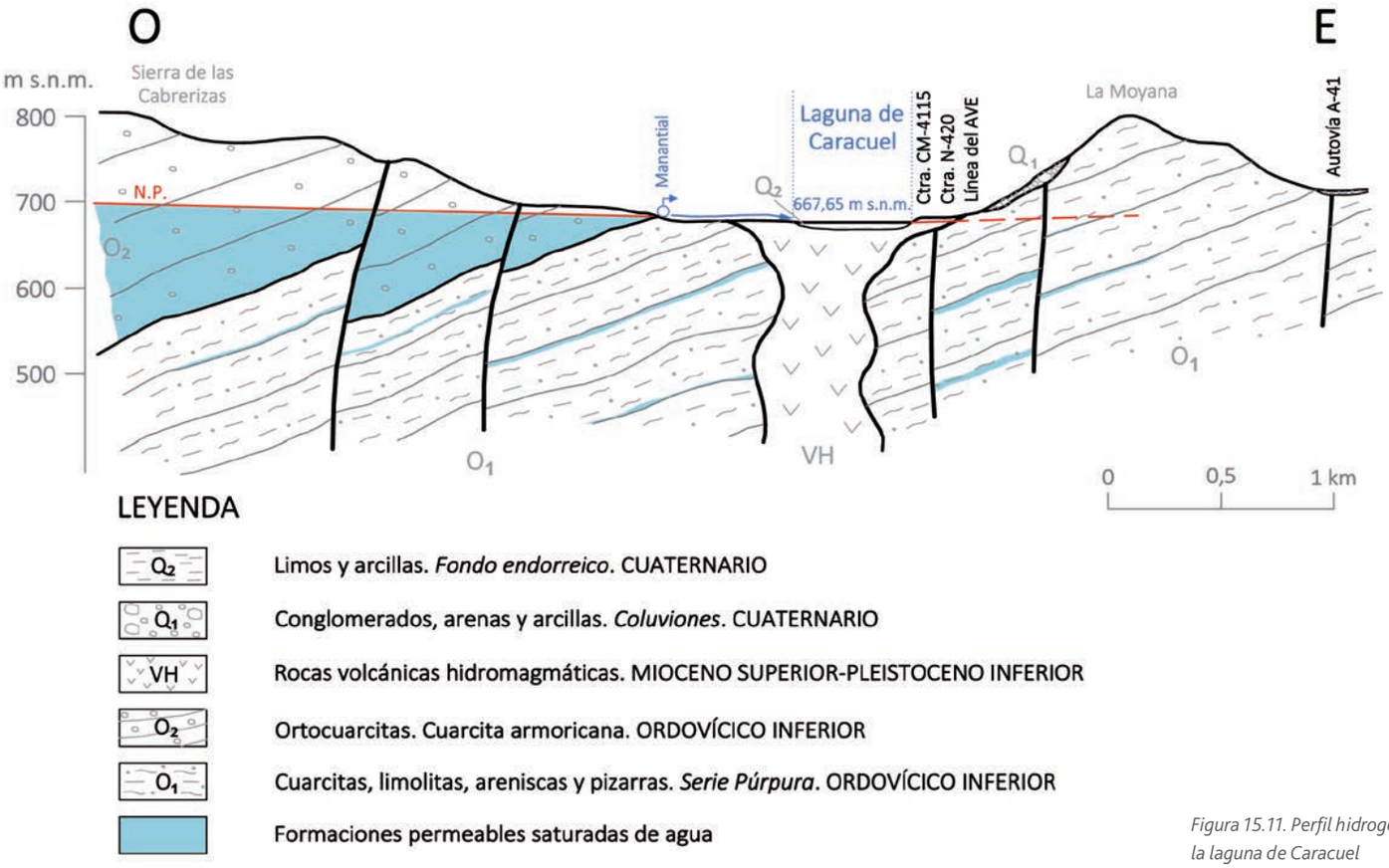


Figura 15.11. Perfil hidrogeológico de la laguna de Caracuel

científica, responde a una morfología de tipo *maar*. En el caso de Caracuel esta morfología se encuentra, además, encajonada entre crestas cuarcíticas.

La mayor parte de los afloramientos del territorio referido pertenecen al Ordovícico, representado por algunas litologías que permiten constituir acuíferos locales de cierto interés. Es este sentido, la formación con mejor comportamiento hidrodinámico corresponde a las cuarcitas armoricanas (O2), de edad Ordovícico inferior, que aflora a lo largo de toda la franja noroccidental de la cuenca donde adquiere un espesor superior a los 200 m.

La configuración geológica existente y la naturaleza detrítica de dicha formación, que le confiere una permeabilidad media por fisuración y porosidad, han permitido la existencia de un acuífero drenado por algunos manantiales que alimentan la laguna de forma natural. La base de dicha formación hidrogeológica viene dada por las alternancias de cuarcitas, limolitas, areniscas y pizarras (O1) del Ordovícico inferior que, con otros 200 m de espesor, tienen un comportamiento básicamente impermeable. Por su parte, el vaso lagunar se dispone sobre los depósitos hidrotermales recubiertos por sedimentos de limos y arcillas cuaternarios que, en conjunto, impiden o dificultan la infiltración del agua.

El resto de las formaciones, pertenecientes al Plioceno y al Cuaternario, aunque puntualmente pueden presentar litologías con cierta permeabilidad, son de escaso espesor y carecen de relevancia hidrogeológica.

El flujo subterráneo está condicionado por los afloramientos de las cuarcitas ordovícicas del sector noroccidental, cuya permeabilidad y disposición estructural ha permitido la existencia de un acuífero que es drenado por algunos manantiales en las inmediaciones de la zona inundada, el principal de los cuales está regulado por un pequeño embalsamiento. Adicionalmente, las formaciones que configuran el subsuelo del humedal, aunque en conjunto presentan un comportamiento de baja permeabilidad, pueden contener ciertos niveles de agua que son captados por algunos pozos con caudales muy reducidos. Por su parte, los materiales infrayacentes a las cuarcitas armoricanas también pueden dar lugar a surgencias de muy escasa entidad que se secan durante la temporada estival. El agua contenida en el conjunto de todos estos pequeños horizontes adquiere un flujo orientado hacia la laguna según una morfología concéntrica (figura 15.12).



Figura 15.12. Mapa piezométrico (m s.n.m.) y sentido del flujo subterráneo. Noviembre de 2014 (IGN)

La calidad de las aguas subterráneas es aceptable, comparada con las de los alrededores, ya que su CE oscila entre 640 y 1.700 µS/cm. Los valores más elevados corresponden al entorno de la cubeta, con un progresivo enriquecimiento en sólidos disueltos en los niveles más superficiales. Dichos valores son coherentes con los registrados en el agua del humedal (CE: 1.000 a 2.000 µS/c, max. 4.060 µS/cm), algo más elevados que los de los manantiales que lo alimentan (CE: 640 a 1.700 µS/cm), hecho atribuido a los procesos de evaporación y de concentración de sales a los que son sometidas sus aguas (figura 15.12).

Hidroquímica

La analítica de la muestra tomada en la laguna arroja un pH algo elevado, de 9,50, y una CE de 4.060 µS/cm, la más baja de todas las incluidas en esta publicación. Por su parte, las aguas del manantial y de los pozos muestreados adquieren valores máximos de 1.686 µS/cm, con un pH de 8,0 en los pozos y de 8,75 en la del manantial.

De igual manera, los aniones mayoritarios son más elevados en el agua del humedal que en las aguas subterráneas, con diferencias más notables en los cloruros y los sulfatos. En los pozos y manantiales los primeros arrojan valores entre 25 y 272 mg/L y los segundos entre 30 y 102 mg/L, mientras que en el agua acumulada en la cubeta son de 1.290 mg/L para los cloruros y de 149 mg/L para los sulfatos.

Los cationes sodio, magnesio y potasio se mantienen en proporciones similares a los aniones, esto es, en cantidades muy elevadas en el humedal frente a las registradas en las aguas subterráneas. Destaca el calcio, que aparece en proporciones bajas en las muestras de 2014 y más elevadas en las del 2016. En consecuencia, la facies hidroquímica en la laguna es clorurada sódico-magnésica (figura 15.13), mientras que en las aguas subterráneas es clorurada sódica en 2014, y clorurada sódica y bicarbonatada sódico-cálcica en 2016 (figura 15.14).

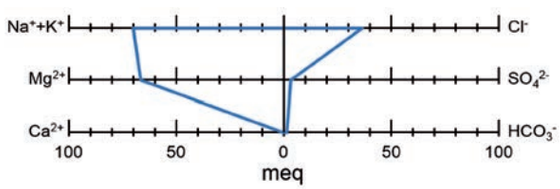


Figura 15.13. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna de Caracuel. Fecha de análisis 27/11/2014

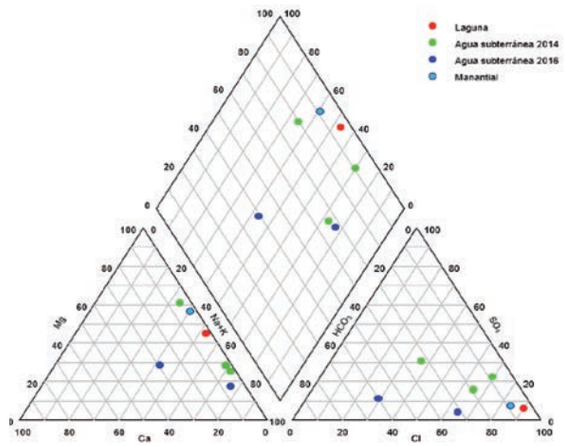


Figura 15.14. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de la muestra de la laguna y su entorno

La comparativa entre los principales parámetros del agua del humedal y los recogidos en el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, se expone en la tabla 15.12.

Durante el periodo de control (enero de 2013 a septiembre de 2014) la CE del agua acumulada en el vaso arroja un valor medio cercano a los 1.670 µS/cm. Los registros más bajos se dan en abril y mayo de 2013 con 990 y 950 µS/cm, respectivamente (figura 15.15), mientras que se observan dos picos de 2.620 y 3.650 µS/cm al inicio y al final de la serie.

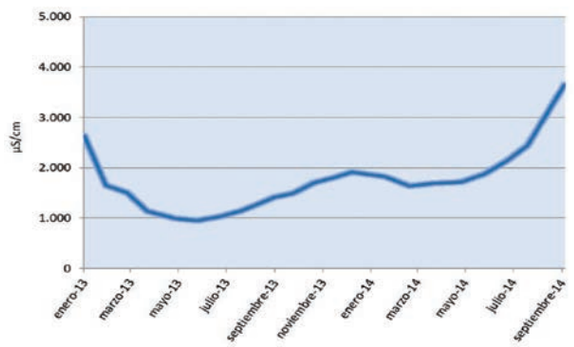


Figura 15.15. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna de Caracuel entre enero de 2013 y septiembre de 2014

	Fecha de análisis			27/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA	
				Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	19	10
	Boro	B	mg/L	1,433	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	1.290	250
	Conductividad	CE	µS/cm	4.060	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	120	50
	pH	-	Ud de pH	9,50	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	1.480	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	149	250

Tabla 15.12. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

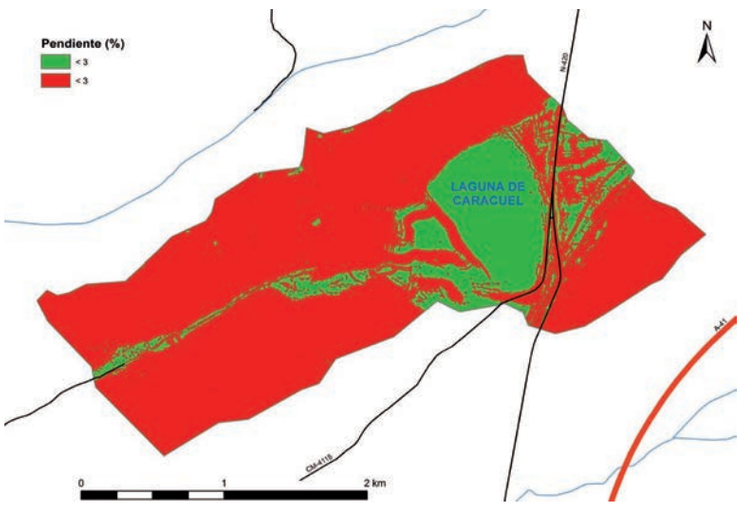
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

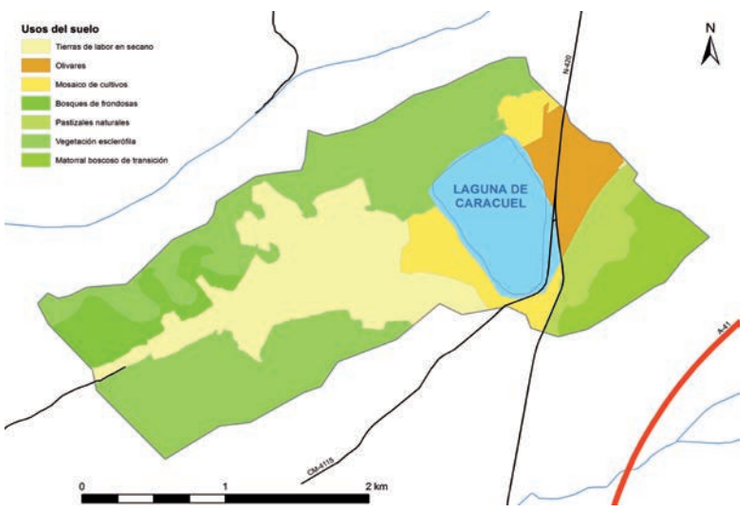
Modelo conceptual de funcionamiento

La laguna de Caracuel, como otras de la región, es una zona húmeda somera de carácter temporal en la que lámina de agua alcanza varias decenas de centímetros durante buena parte del año, con máximos de hasta 2 m, pero que normalmente desaparece durante la época estival.

Su funcionamiento hidrológico viene condicionado por la moderada extensión de su cuenca vertiente y, por tanto, por la escasa entidad de la escorrentía de origen superficial. En consecuencia, las aguas subterráneas tienen un papel relevante en su génesis y supervivencia, ya que en su entorno se encuentran algunos manantiales, frecuentemente de carácter efímero, que le aportan sus caudales y permiten la inundación de su vaso. Afortunadamente, unos 500 m al oeste de la laguna se encuentra una surgencia de carácter permanente, y con un caudal apreciable, que es la principal responsable de su existencia. Sin embargo, sus recursos hídricos están regulados de forma parcial por una represa para su aprovechamiento agrícola, por lo que la intervención humana sobre este ecosistema es importante.

Figura 15.16. Cuenca hidrológica de la laguna de Caracuel. Mapa de pendientes (arriba) y Mapa de usos del suelo (abajo) (Corine Land Cover 2012)





En consecuencia, la alimentación del humedal se debe esencialmente a los aportes de aguas subterráneas procedentes del acuífero instalado en las cuarcitas del Ordovícico, a la precipitación directa del agua de lluvia y, en mucha menor medida, a la escorrentía superficial. Por el lado contrario, el conjunto de estos aportes es drenado por la evaporación generada en la lámina de agua libre de la zona inundada. El esquema de funcionamiento descrito viene refrendado por la relativa baja salinidad observada en el agua acumulada en su vaso.

Balance hídrico

Como en los demás humedales incluidos en esta publicación, el balance hídrico de la laguna de Caracuel se ha obtenido mediante la aplicación de la metodología desarrollada en el proyecto Ecolake, basada en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua a su vaso. Las entradas, como se ha citado, corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento (máxima 64,78 ha), a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (622,1 ha) y a los aportes de aguas subterráneas por manantiales y por drenaje difuso. Por su parte, las salidas son debidas a la evapotranspiración producida sobre la lámina de agua libre limitada por el volumen de agua disponible.

El análisis geológico de la cuenca vertiente, según las distintas formaciones geológicas aflorantes, ha arrojado como resultado un suelo de tipo B (tabla 15.11). Por su parte, la pendiente media hallada ha sido del 13,1%, es decir, superior al 3% (figura 15.16), mientras que al uso del terreno se la ha asignado la tipología de labor de secano, con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 15.16). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

Los datos climáticos se han obtenido de los registros de la estación agroclimática CR04 Ciudad Real del SIAR para el periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo kc=1, escogido en este caso como más adecuado dada la escasa presencia de vegetación macrófita en la cubeta.

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC *(Antecedent Runoff Condition)* 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=55, que se corresponde con un valor de CN I=35 para condiciones de humedad baja y CN III=74 para condiciones de humedad alta. Esto supone unos valores umbral de escorrentía (P_0) medio de 41,56 mm, con un máximo de 95,60 mm y un mínimo de 17,67 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 15.13).

Para la estimación del aporte subterráneo se ha establecido la relación entre las aguas subterráneas y la precipitación acumulada. Para ello se ha aplicado un tiempo de respuesta o retardo entre ambos factores a causa del lento movimiento del agua a través de las formaciones geológicas.

En consecuencia, y para su cálculo, los aportes por este concepto se han considerado proporcionales a las precipitaciones ocurridas durante los 3 últimos meses, con el ajuste del coeficiente que define dicha relación a partir de la calibración entre los volúmenes obtenidos en la simulación del balance hídrico de la laguna y las medidas limnimétricas del proyecto Ecolake. El valor arrojado para dicho coeficiente es de 0,13, es decir, equivalente al 13% de la precipitación acumulada en la cuenca vertiente.

La detracción de agua para uso agrícola del principal manantial que alimenta la laguna se ha determinado a partir de la superficie regada (146.444 m^2) y del tipo de cultivo (olivar). La dotación de riego y su estacionalidad se ha calculado a través de la aplicación del SIAR, que ha proporcionado una dotación de 3.850 m^3/ha/año (promedio 1,1 mm/día), repartida entre los meses de marzo a octubre de cada año.

La batimetría de la cubeta se ha definido a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y, mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG, se ha establecido el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación con pasos de altura de 0,02 m. También se han obtenido y representado las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen (figuras 15.17).

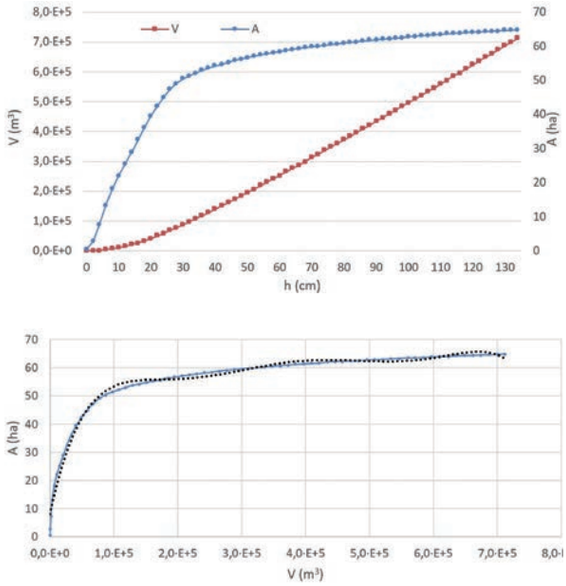


Figura 15.17. Laguna de Caracuel. Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A). Abajo: relación entre área inundada (A) y volumen almacenado (V)

Finalmente, los resultados de la simulación para al periodo 2012-2014 muestran una considerable superficie de encharcamiento, especialmente en el año hidrológico 2012/13, en el que se produjeron abundantes precipitaciones (610 mm), y en el verano de 2013.

En el año hidrológico 2013/14, de precipitaciones relativamente escasas (340 mm), el agua acumulada fue mucho menor y la laguna llegó a secarse en el verano de 2014.

El balance hídrico medio anual obtenido para el mencionado periodo indica que el volumen aportado por los manantiales del entorno fue de 417.764 m^3 (61%), con una contribución de la precipitación directa bastante menor, 259.641 m^3 (38%), y una escorrentía superficial casi irrelevante, 9.399 m^3 (1%).

Las salidas del sistema debidas a la evapotranspiración fueron de 633.921 m^3 (92%), con una detracción de aguas subterráneas para riego, considerada también como una salida de recursos, relativamente moderada y de 52.883 m^3, es decir del orden del 8% (tabla 15.14).

Con los parámetros validados para el periodo de calibración se ha procedido a la determinación del balance hídrico hiperanual del humedal para un periodo de 15 años (2001/02 a 2015/16).

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
> 3	> 50% Labor de secano	Media baja	B	95,60	41,56	17,67

Tabla 15.13. Cuenca de la laguna de Caracuel. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Tabla 15.14. Balance hídrico de la laguna de Caracuel. Periodo 2012-2014

Año hidrológico	ENTRADAS				SALIDAS			Variación de volumen (m^3)
	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aporte aguas subterráneas (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP (m^3/año)	Riego (m^3/año)	Totales (m^3/año)	
2012/13	335.056	15.833	525.818	876.708	670.905	50.643	721.549	155.159
2013/14	184.226	2.964	309.709	496.899	596.937	55.122	652.058	-155.159
Media periodo	259.641	9.399	417.764	686.804	633.921	52.883	686.804	0

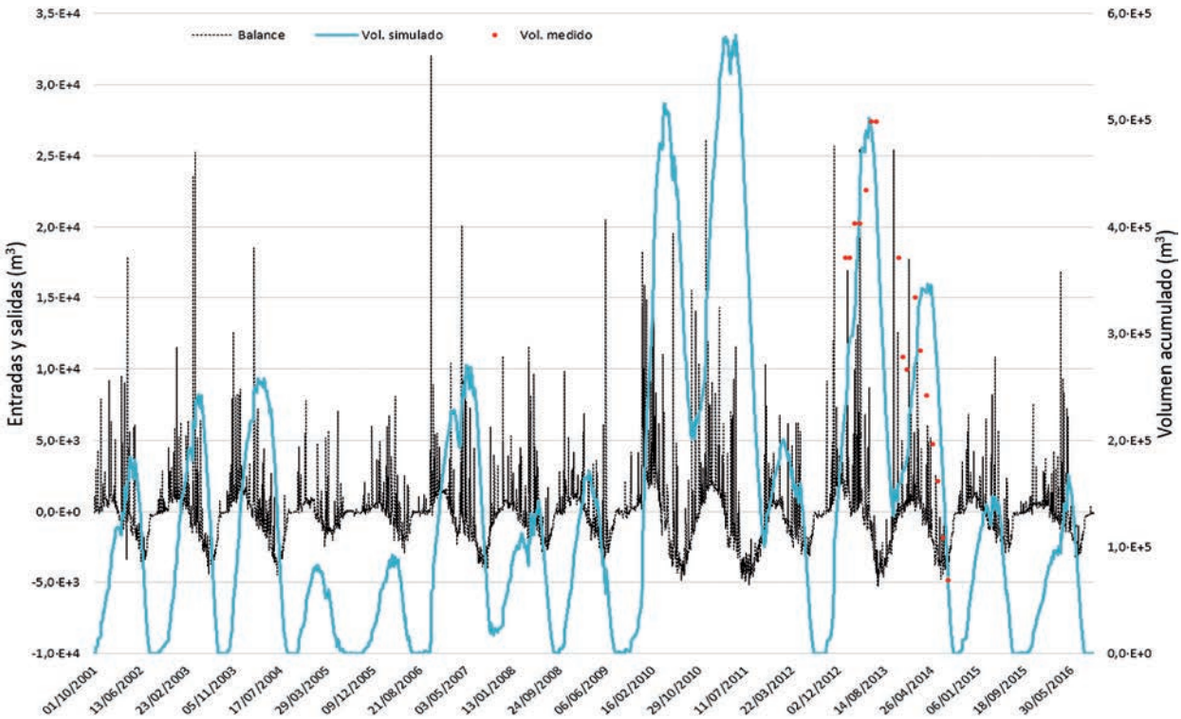


Figura 15.18. Simulación del balance hídrico para la laguna de Caracuel. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

En la simulación realizada se observan estiajes bastante marcados, en los que suele secarse, y sólo en años especialmente húmedos consigue mantener una cierta superficie inundada, como sucedió en los veranos de 2010, 2011 y 2013 (figura 15.18). El resto del año la laguna dispone de un cierto volumen de agua que depende en gran medida de las precipitaciones acumuladas en los últimos meses.

Aun así, los resultados de la simulación muestran que se mantiene una amplia superficie encharcada la mayor parte del año, y durante el 74% del tiempo el nivel de inundación supera el 50% de la superficie total. La superficie máxima de la lámina de agua se alcanzó en mayo de 2011 como resultado del periodo excepcionalmente húmedo iniciado en diciembre de 2009.

El balance hídrico hiperanual (15 años) en términos porcentuales es similar al obtenido para el periodo Ecolake, y muestra la dependencia del humedal de las aguas subterráneas, que le aportan un volumen de 336.717 m^3/año (62%). En menor medida, el sistema es mantenido por la precipitación directa, 197.909 m^3/año (37%), mientras que la escorrentía superficial, con 6.582 m^3/año (1%), apenas adquiere relevancia (tabla 15.15). Por su parte, las salidas debidas a la evapotranspiración se cifran en 491.211 m^3/año (91%), con unas detracciones de aguas subterráneas para riego moderadas, del orden de 49.997 m^3/año (9%).

Tabla 15.15. Balance hídrico hiperanual de la laguna de Caracuel. Periodo 2001-2016

DATOS			ENTRADAS				SALIDAS		
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km^2)	Área media inundada (m^2)	Precipitación directa laguna (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aporte aguas subterráneas (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP directa laguna (m^3/año)	Riego (m^3/año)	Totales (m^3/año)
414,51	6,22	425.858	197.909	6.582	336.717	541.208	491.211	49.997	541.208

Evolución visual del territorio

El perímetro lagunar y su entorno parcelario más inmediato no han sufrido modificaciones relevantes en los últimos 55 años.

Esto se puede apreciar en las dos imágenes de la figura 15.19, a pesar de la alteración del paisaje provocada por los nuevos trazados lineales de la autovía A-41, la carretera N-420 y la línea de AVE, así como de las instalaciones ferroviarias, todas ellas al sureste del humedal.

Las imágenes de las figuras 15.20 a 15.25 muestran, desde diferentes puntos geográficos, el marcado carácter endorreico y estacional de la laguna, rodeada en primera instancia por el vallado perimetral y, en segunda, por las elevaciones cuarcíticas que cobijan las diversas especies de la fauna y flora autóctonas.

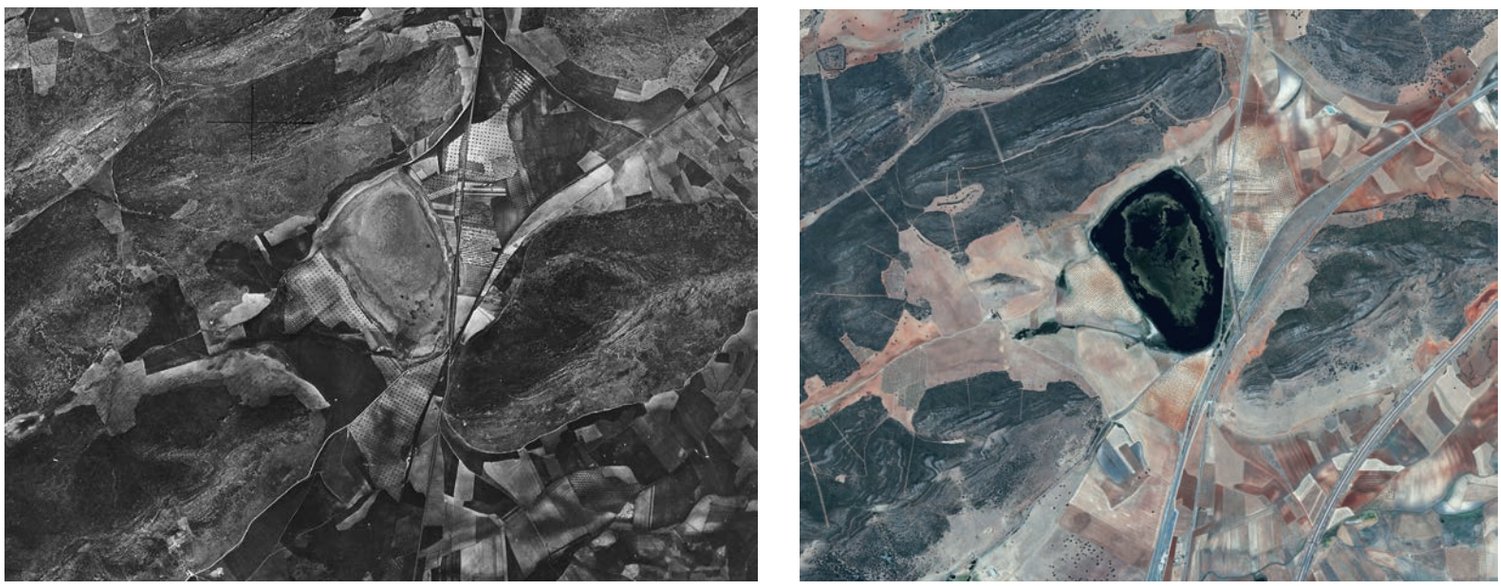


Figura 15.19. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 15.20. Panorámica de la laguna desde el extremo noroccidental (B.J. Ballesteros)

Figura 15.22. Extremo sur del humedal en agosto de 2016 (L.A. Carreño)





Figura 15.21. Laguna en época estival desde la carretera periférica (M. Mejías)

Figura 15.23. Vegetación en el vaso lagunar en periodo invernal. Abril de 2018 (C. Camuñas)





Figura 15.24. Avifauna en la laguna de Caracuel en noviembre de 2013 (B.J. Ballesteros)



Figura 15.25. Panorámica de la zona norte de la laguna con la sierra de Perabad al fondo (B.J. Ballesteros)

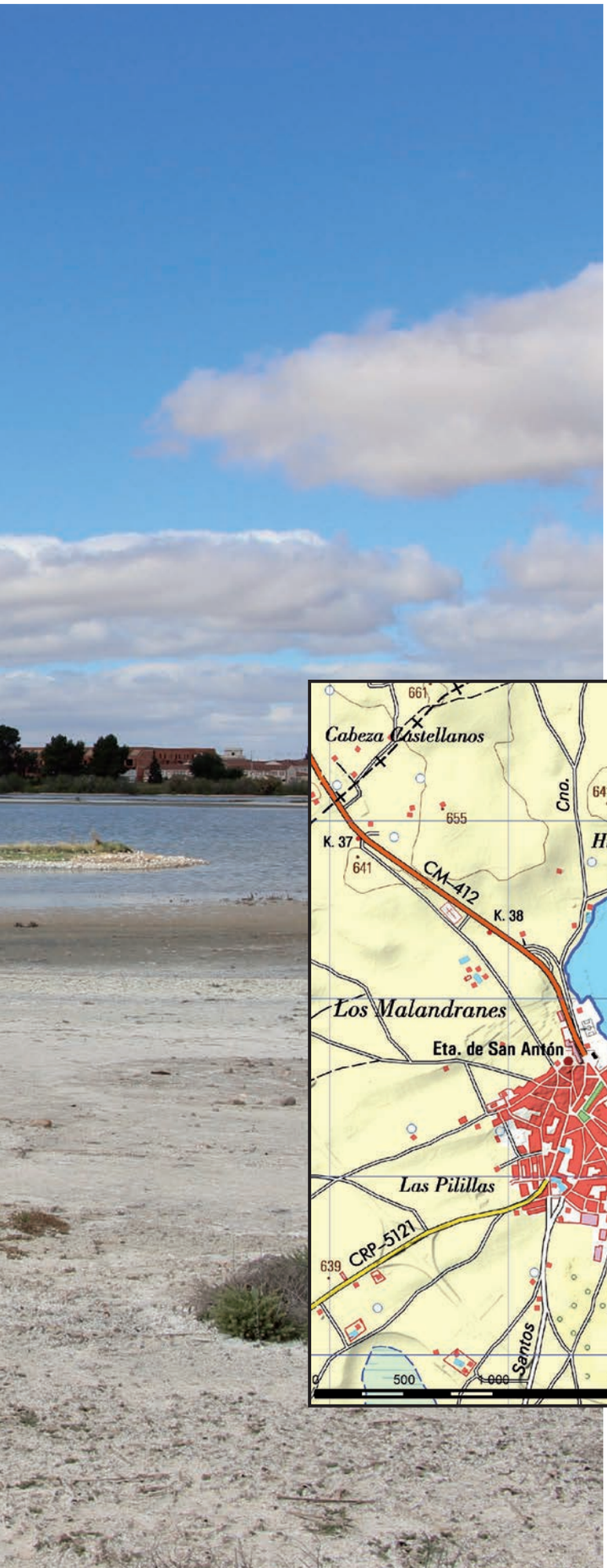
Capítulo 16



LAGUNA DEL PRADO

POZUELO DE CALATRAVA (CIUDAD REAL)





16. LAGUNA DEL PRADO

Situación geográfica, coordenadas y accesos

La laguna del Prado, también conocida como *La Inesperada* o *de Pozuelo*, pertenece al municipio ciudadrealeño de Pozuelo de Calatrava, situado a 11 km al sureste de la capital provincial.

La laguna se ubica al norte de la población (figura 16.1) con unas coordenadas de su punto central X: 427700, Y: 4308150 (UTM ETRS89 H30) y una cota de 620,1 m s.n.m., según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.



Figura 16.1. Situación geográfica de la laguna del Prado (hoja 785 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)



Figura 16.2. Vaso lagunar en el año 2015 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

Como ocurre con otros humedales, su acceso es libre y sencillo, ya que la carretera CM-412, que une Ciudad Real con Valdepeñas, discurre por el flanco oeste de la laguna, con salida directa a la misma en el p.k. 38,200. Otra vía de comunicación con la población, y en consecuencia con la laguna, es la autovía del IV Centenario (CM-45). Por el flanco este de la laguna discurre la carretera comarcal CRP-5112, que une Pozuelo de Calatrava con Torralba de Calatrava.

La existencia de las mencionadas carreteras y la cercanía de la laguna al propio casco urbano de Pozuelo de Calatrava, condicionan que sean varias las calzadas que conectan con la laguna: paseo del Prado, avenida de la Laguna y calle del Arroyo.

A este respecto, la red viaria en su entorno más inmediato está muy desarrollada, como el camino del Carrión que discurre paralelo por el flanco occidental de la laguna, o el camino viejo de Torralba que hace lo propio por el flanco oriental. Al norte del humedal discurren los caminos Viejo de Pozuelo, de Rubiales y de las Yeseras y por el sur, el de los Carros.

Características fisiográficas

Es un humedal salino, estacional y de origen volcánico. Tiene un perímetro de 3,2 km de longitud. A grandes rasgos se asemeja a un óvalo de dirección norte-sur con ejes menor y mayor de 0,6 y 1,0 km, respectivamente, que se ha visto reducido o achatado con el paso del tiempo por el crecimiento del núcleo urbano en su extremo sur-suroeste (figura 16.2), localización que ha provocado el vertido de basuras y escombros en sus orillas. La superficie máxima inundable es de 57,88 ha según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021 (BOE, 2016).

El vaso lagunar cuenta con numerosas islas de escaso diámetro, que se inundan cuando la laguna está llena, salvo la isla central, de mayores dimensiones, que se eleva de la zona inundable y está conectada con la orilla oeste por una especie de dique producto de la acción humana a lo largo de su historia, que llega también a inundarse.

El origen volcánico de este humedal propicia que la morfología del entorno se sitúe visiblemente a una cota topográfica superior, rodeada de cultivos herbáceos en su mayoría, con retazos de viñedos y olivares.

Normativa específica y figuras de protección

La laguna del Prado es propiedad de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (JCCM) y está incluida dentro de la Lista del Convenio de Ramsar de Humedales de Importancia Internacional desde marzo de 1993. También está protegida por las figuras jurídicas de ámbito europeo incluida en la Red Natura 2000, declarada Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava" (tabla 16.1), cuyo Plan de Gestión (2015) fue elaborado por la Dirección General de Montes y Espacios Naturales de la Consejería de Agricultura de la JCCM.

A nivel autonómico, Castilla-La Mancha la declaró Refugio de Caza por Decreto 65/1988, abordándose la recuperación de los sectores de la cubeta usados como escombrera, pasando a ser Refugio de Fauna en 1993 gracias a la aprobación regional de la Ley de Caza. Años más tarde, se aprobó su Plan de Ordenación de Recursos Naturales por Decreto 238/2004, declarándola Reserva Natural.

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA DEL PRADO
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava", código ES4220005
REFUGIO DE FAUNA
Decreto 65/1988, de 17 de mayo, por el que se declaran como refugios de caza las lagunas de los Patos, de Alcahozo, de la Vega o del Pueblo, del Prado, de El Tobar y de Uña, ubicadas en el ámbito territorial de Castilla-La Mancha (DOCM nº 21, de 24-05-1988). Con la aprobación de la Ley de Caza por las Cortes Regionales de Castilla-La Mancha en 1993, se reclasificaron todos los Refugios de Caza como "Refugios de Fauna"
CONVENIO RAMSAR
Incluida en la Lista de Humedales de Importancia Internacional (Humedal Ramsar) desde el 26 de marzo de 1993. Sitio Ramsar 596. Listado de Humedales Ramsar en España nº 22
RESERVA NATURAL
Decreto 238/2004, de 20 de julio, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la laguna del Prado en el término municipal de Pozuelo de Calatrava de la provincia de Ciudad Real, y se declara la Reserva Natural de la laguna del Prado (DOCM nº 143, de 09-08-2004)

Tabla 16.1. Figuras de protección de la laguna del Prado

Climatología

Las características climáticas han sido determinadas a partir de la estación meteorológica CR09, Daimiel, situada a unos 9 km al suroeste de esta localidad, perteneciente a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha (tabla 16.2).

La precipitación media anual de los últimos 15 años (2001/02-2015/16) es de 379,7 mm, con un máximo de 602,9 mm en el más húmedo (2012/13) y un mínimo de 180,2 mm en el más seco (2004/05). A escala diaria el hecho más destacable es un episodio de lluvia torrencial ocurrido el 8 de septiembre de 2008, en el que se acumularon 107 mm en un solo día.

Los registros mensuales reflejan que en todos los meses se superan los 30 mm de lluvia, salvo en los de verano (junio, julio y agosto), y el mes de enero con 29,8 mm, siendo el más húmedo el de abril y el más seco el de julio con valores de 51,9 mm y apenas 2,9 mm, respectivamente (tabla 16.3). En este periodo la precipitación máxima acumulada en un solo mes fue de 169,6 mm (diciembre de 2010).

Registros climáticos anteriores a los de la estación CR09 del SIAR, se han tomado de la estación meteorológica Ciudad Real - Escuela de Magisterio (nº 4121) de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), cuyos valores más representativos se resumen en la tabla 16.4, con un registro temporal de 40 años (1960/61 a 1999/2000). El análisis de sus datos permite concluir que la precipitación media anual en los últimos 15 años ha sufrido un descenso considerable, algo superior a 56 mm, respecto a los 40 años anteriores.

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
CR09	Daimiel	440016	4317940	622	01/10/2001	30/09/2016

Tabla 16.2. Datos de ubicación y periodo de registro temporal empleado (SIAR)

PRECIPITACIÓN (mm)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**379,7**	**1,0**	**29,8**	**32,3**	**39,8**	**51,9**	**30,4**	**15,0**	**2,9**	**7,8**	**37,3**	**45,6**	**38,5**	**44,3**
Máxima absoluta	602,9	107,0	88,0	77,8	133,4	123,8	85,8	41,0	17,2	45,2	153,8	118,2	134,1	169,6
Fecha	2012/13	08/09/2008	2010	2010	2013	2007	2004	2010	2008	2003	2008	2003	2012	2010
Mínima absoluta	180,2	0,0	1,6	2,2	7,9	12,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	5,4	6,9
Fecha	2004/05	-	2005	2002	2014	2014	2015	2012	Varios años	Varios años	2004	2011	2009	2015

Tabla 16.3. Registro de valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica CR09 Daimiel (SIAR)

Tabla 16.4. Datos de ubicación, registro temporal y valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica nº 4121 Ciudad Real - Escuela de Magisterio (AEMET)

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
4121	Ciudad Real Escuela de Magisterio	420344	4316080	627	1960/61	1999/2000

PRECIPITACIÓN (mm)		
	Precipitación anual	Fecha
Media	**431,7**	1960/61 - 1999/2000
Máxima absoluta	721,3	1968/69
Mínima absoluta	182,3	1998/99

Tabla 16.5. Registro de valores de temperatura más relevantes de la estación termo-pluviométrica CR09 Daimiel (SIAR)

TEMPERATURA (°C)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**14,4**	**-**	**4,8**	**6,1**	**9,2**	**12,5**	**17,0**	**22,9**	**26,1**	**25,3**	**20,3**	**14,9**	**8,5**	**5,0**
Máxima media	21,5	-	10,4	12,4	16,1	19,5	24,7	31,1	34,7	33,8	28,1	21,8	14,6	10,8
Mínima media	7,4	-	-0,1	0,3	2,7	5,6	9,0	13,9	16,5	16,3	12,7	8,7	3,2	0,2
Máxima absoluta	-	42,3	20,1	23,3	26,7	31,4	39,3	40,4	41,5	42,3	39,7	31,9	25,5	19,9
Fecha	-	10/08/12	27/01/03	16/02/07	31/03/15	29/04/05	17/05/06	29/06/15	06/07/15	10/08/12	07/09/16	02/10/04	01/11/09	05/12/15
Mínima absoluta	-	-13,7	-13,7	-9,4	-6,7	-2,4	0,0	0,0	8,5	8,7	0,0	-1,4	-9,1	-13,6
Fecha	-	27/01/05	27/01/05	12/02/12	08/03/05	02/04/16	06/05/13	27/06/11	08/07/04	21/08/04	18/09/02	27/10/10	17/11/07	24/12/14

Por su parte, la temperatura media anual es de 14,4 °C (tabla 16.5). Tomando el registro de las temperaturas máximas y mínimas diarias, el resultado es de 21,5 °C y 7,4 °C respectivamente.

Valores ambientales

Valoración global

Se trata de una laguna salina, somera y temporal, con unas figuras de protección que han favorecido la mejora de su estado de conservación con respecto a periodos anteriores, aunque aún se aprecian las consecuencias de las alteraciones sufridas.

Biodiversidad: flora y fauna

La vegetación asociada al lecho de la laguna ha sufrido significativos cambios en las últimas décadas debido a las presiones a las que ha estado sometida. Según Cirujano y Guerrero (2016), a mediados de la década de los 80 la laguna presentaba un lecho cubierto por una pradera de macrófitos compuesta principalmente de *Chara connivens* y *Ruppia drepanensis*. En la actualidad, debido a la eutrofización causada por los aportes sin depurar de la EDAR, hasta hace unos años, y de las aguas pluviales procedentes del núcleo urbano, únicamente persisten pequeñas áreas aisladas de *Ruppia drepanensis*, en su mayoría sustituidas por biofilms microbianos (figura 16.3), con una consistencia frágil debido también al estado de eutrofización. Por otra parte, Gosálvez (2011) menciona la existencia en sus márgenes de hierbas cosmopolitas comunes en saladares como *Althenia orientalis* o *Spergularia marina* que, como indican Cirujano y Guerrero (2016), también han sufrido un retroceso.

Por lo que respecta a determinados componentes de la avifauna, y atendiendo a las observaciones de Gosálvez (2011), esta laguna actuaría como un nodo de conexión entre distintos humedales de la región. En este sentido habla de una riqueza de especies entre moderada y alta, pero mayoritariamente sin estatus reproductor, de fenología migrante y/o invernante. Censos de aves mensuales llevados a cabo durante el bienio 2013-2014, en el contexto del proyecto Ecolake (Gil-Delgado *et al.*, 2016), muestran densidades de aves elevadas, con un promedio para todo el periodo en torno a 1.200 individuos, y valores máximos al inicio de la primavera próximos a 3.000 individuos. Buena parte de las poblaciones censadas

durante dicho periodo la constituye el flamenco común (*Phoenicopterus roseus*) junto con las gaviotas reidora (*Larus ridibundus*) y sombría (*Larus fuscus*), aunque son también importantes las colonias de focha común (*Fulica atra*) y de distintas especies de anátidas, particularmente de tarro blanco (*Tardona tardona*), ánade friso (*Anas strepera*), ánade real (*Anas platyrhynchos*) y porrón común (*Aythya ferina*). Estas observaciones, aunque en términos de abundancias y riqueza de especies son similares a las descritas para el año 2008 por Gosálvez (2011), contrastan en lo que respecta a la abundancia del flamenco común, el cual parece mostrar un aumento significativo. Otros estudios, en base a censos anteriores a 2008 (Velasco, 2016), mencionan una presencia más ocasional del flamenco en una situación que más bien representaría un refugio invernal de la especie. También cabe mencionar, bajo la perspectiva temporal de los distintos censos consultados, el aparente descenso que parecen haber sufrido algunas poblaciones de larolimícolas, como la avoceta europea (*Recurvirostra avosetta*), que representaba la principal colonia reproductora del Campo de Calatrava. Por el contrario, otras especies nidificantes, como por ejemplo la cigüeñuela (*Himantopus himantopus*), siguen manteniendo poblaciones estables en la laguna a tenor de los censos más recientes (Gil-Delgado *et al.*, 2016).

Biodiversidad microbiana y del plancton

En Rojo *et al.* (2016) se incluye un estudio taxonómico de la comunidad del plancton en base a un muestreo llevado a cabo durante la primavera de 2011, en el marco de un estudio plurianual subvencionado por la Confederación Hidrográfica del Guadiana, según el cual esta comunidad presenta una riqueza moderada (24 especies), dominada en términos de biomasa por clorofíceas, particularmente *Scenedesmus intermedius*, así como por distintas morfologías de diatomeas en las que destacan tanto especies coloniales del género *Synedra* sp., como otras no coloniales pertenecientes a los géneros *Achnantes* sp., *Amphora* sp. y *Nitzschia* sp. Entre los dinoflagelados, algo menos abundantes, predominan especies de los géneros *Gymnodinium* y *Peridinium*. Por otra parte, la abundancia de cianobacterias es bastante menor, aunque en términos de biomasa contribuyen en torno al 12%. Igualmente, se describe la presencia de pequeños nanoflagelados, cuya contribución a la biomasa total es también significativa.

Con respecto al zooplancton, en las observaciones hechas en el estudio limnológico realizado en los años 90 como base para la elaboración del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (Vicente *et al.*, 1998), se describe una comunidad del zooplancton poco diversa y típica de lagunas salinas, donde aparecen especies típicas de sistemas esteparios como el cladócero *Dunhevedia crassa* o los branquiópodos *Moina brachiata* y *Alona salina*, constituyendo este último un ejemplo de endemismo ibérico. Estudios más recientes confirman también la persistencia de estos microcrustáceos, así como la presencia del anostráceo *Branchinecta orientalis* (Fernández *et al.*, 2009). En relación al macrobentos propiamente dicho, se hace mención a una comunidad de dípteros en sus especies más sensibles, sin entrar en más detalle, debido a la existencia de vertidos antrópicos durante ese periodo. No obstante, en observaciones más recientes llevadas a cabo durante el año 2013 en el contexto del proyecto Ecolake, sí se constata la presencia de larvas de dípteros de las familias *Orthocladiinae* y *Chironominae*, siendo también abundantes las de hemípteros. Cabe destacar además lo que ha representado la reciente primera cita de la especie *Glyptotendipes barbipes* en esta laguna (Soriano y González, 2016), un quironómido con una amplia distribución, pero del que todavía no se había descrito su presencia en la Península Ibérica. Con respecto a los ostrácodos, un estudio actualizado describe una comunidad moderadamente diversa en especies, comparada con otras lagunas del entorno (Castillo-Escrivà *et al.*, 2015), siendo éstas en cualquier caso de naturaleza bastante cosmopolita. En el sentido aludido, Castillo-Escrivà y colaboradores hacen mención a la presencia durante la primavera de 2013 de *Ilyocypris gibba*, *Eucypris virens*, *Heterocypris incongruens*, *Heterocypris barbara* y *Heterocypris salina*.



Figura 16.3. Biofilms microbianos que cubren parte del lecho de la laguna en detrimento de las poblaciones de macrófitos (C. Rochera)

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos de mayor relevancia que ofrece esta laguna son:

- Servicios de abastecimiento: materias primas de origen mineral (agua minero-medicinal La Inesperada), acervo genético.
- Servicios de regulación: climática, hídrica y de ciclos biogeoquímicos.
- Servicios culturales: conocimiento científico, identidad cultural, disfrute estético, ecoturismo, educación ambiental.

Estado ecológico e impactos

Existen distintos estudios que hacen mención al mal estado de conservación de esta laguna en décadas pasadas (Casado y Montes, 1995; Vicente *et al.*, 1998), en los que se relata el hecho de que una parte de ella estaba ocupada por escombros y de la existencia de un vallado perimetral, que se mantiene en la actualidad. La alteración producida por el vertido de aguas residuales y pluviales provenientes de núcleo urbano de Pozuelo de Calatrava era puesta de manifiesto en la mención que el estudio limnológico para la elaboración del PORN (Vicente *et al.*, 1998) hace sobre las elevadas concentraciones de amonio y clorofila-a, estas últimas próximas a los 100 µg/l en determinados periodos. Observaciones más recientes y con mayor resolución temporal (2013-2014), reflejan mejor la acusada estacionalidad que muestran estas concentraciones de clorofila, registrándose también valores superiores a los 100 µg/l, pero únicamente en los periodos de estiaje y, en particular, si la laguna ve prolongado su hidroperiodo de forma artificial y dichos periodos coinciden con épocas de elevada temperatura. Por el contrario, estas concentraciones pueden ser notablemente más bajas durante los periodos invernales. También Álvarez *et al.* (2016) reportan concentraciones de nutrientes disueltos no excesivamente elevadas en la primavera de 2011, que sugieren que el estado trófico podría haber experimentado una mejoría al haberse reducido de forma considerable los aportes de aguas residuales.

Valores históricos y culturales

Historia

El entorno de la laguna del Prado ha jugado un papel importante en la historia, como atestigua la motilla de la dehesa del Acebuche situada entre el camino de Pozuelo de Calatrava y Almagro. Este enclave también estuvo poblado en la etapa prerromana, de la que existen dos castros o poblados fortificados celtas, ubicados en el extremo meridional del municipio: Los Baños y el Santuario de la Virgen de los Santos.

Asociada a la historia del municipio, se encuentran referencias documentales de la laguna (figura 16.4), de autores de la talla del Cardenal Lorenzana, Madoz o el Doctor Mariano Salvador Gamboa, que testimonian en diversos siglos las dimensiones del humedal y sus características.



Figura 16.4. Laguna del Prado en junio de 2016 (L.A. Carreño)

El Cardenal Lorenzana, 1784, describía la laguna y sus aguas: *"Inmediato a la iglesia de esta villa como sesenta pasos nace un arroyuelo mui corto de aguas, que solo las mana en tiempo de invierno, a el qual van todas las que por las lluvias vajan del pueblo y sus calles, quedando estas totalmente limpia de ellas por el mucho corriente que tienen, las que hacen su mansión en una laguna que esta contigua a dicho arroyo, entre norte y levante mirando desde el pueblo, distante de el como trescientos pasos; es redonda; su magnitud medio quarto de legua; sus aguas no proceden de minerales, pues son como dichos las que vajan del pueblo de las lluvias y hacogidas que son de ellas, se hacen saladas y por consiguiente son avortibas para todo genero de ganados, por cuyo motivo no es perjudicial para la salud de los habitantes de esta villa, y luego llega el tiempo de agosto, se consumen todas sus aguas; la circundan unos prados medianos, abundantes en yerbas para ganados"*.

Un paso más lo da Madoz (1846-1850) al referirse a las aguas de Pozuelo de Calatrava, que además de mencionar someramente las dos lagunas del municipio y sus ríos: *"Le baña el rio Jabalón y arroyo de Cantalejos y 2 lagunas de acogida que se secan en el estío, una al N. del pueblo, cerca de él, y la otra 4/4 legua al S. en la deh. de Argamasilla"*; también referencia los "hervideros" de Pozuelo de Calatrava: *"Pozuelo de Calatrava linda al SO con una gran alameda y por último los baños de la Fuen-Santa ó Hervideros"*.

En 1883, el Dr. Mariano Salvador Gamboa hace referencia a la naturaleza y dimensiones de este humedal: *"Al N.E. de dicha villa de Pozuelo de Calatrava, y en las inmediaciones de la población, muy próxima á las ultimas casas, da principio una gran laguna de forma oval de más de 28 hectáreas de superficie, que se produce en gran parte por la afluencia de las aguas pluviales de la población y terrenos adyacentes, por hallarse éste más bajo, constituyendo una planicie deprimida en una extensión de más de 1.500 metros a la redonda…"*.

En La Inesperada existía un manantial con aguas procedentes de circulación profunda cargadas de gas (dióxido de carbono), conocido como *hervidero*. Es este gas el que, al mezclarse con las aguas subterráneas, provoca un efecto similar a hervir. En el término municipal de Pozuelo de Calatrava se encuentran varios de estos hervideros: Fuente y Hervidero del Chorrillo, Baños de la Fuensanta, Baños de San Cristóbal, Baños de Tinajilla, Hervidero Piedra del Hierro, Baños de Villafranca y Baños de La Inesperada (figura 16.5), relacionados con la erupción freatomagmática que dio lugar a la laguna. De todos ellos, los Baños de la Fuensanta, situados al suroeste del municipio, fueron durante casi tres siglos un lugar de peregrinación de los castellanos en busca de curas para su salud. La primera noticia sobre el manantial de la Fuensanta lo facilita en 1575 Ambrosio Morales; posteriormente, a mitad del siglo XVIII, se mandó construir el balneario Baños de la Fuensanta por el Infante D. Gabriel que gozó de su máximo esplendor en el siglo XIX (Barrera, 2000).

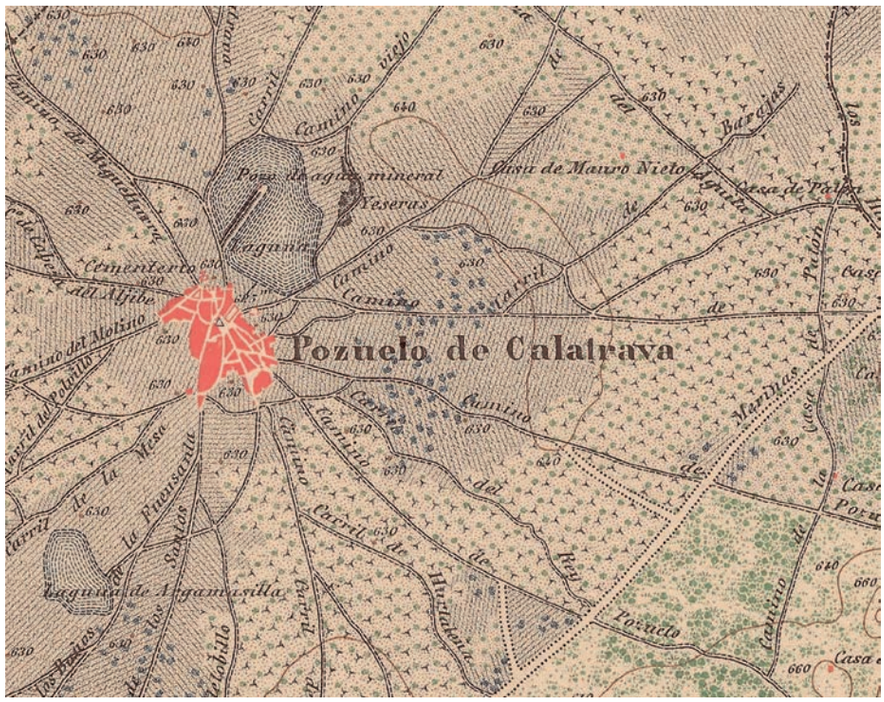


Figura 16.5. Detalle de la Hoja Topográfica 785 a escala 1:50.000, año 1888, con el pozo de aguas minerales que atraviesa la laguna del Prado (Instituto Geográfico y Estadístico. Cartoteca del IGN)

Trashumancia

La ganadería llegó a ser la principal actividad, más importante que la agricultura, en las proximidades del humedal. Así, durante siglos, los prados y los manantiales próximos a la laguna alimentaban a los numerosos rebaños (figura 16.6) que se desplazaban por el entramado



Figura 16.6. La trashumancia estuvo ligada a la economía de la zona en épocas pasadas (L.A. Carreño)

de cañadas del término municipal, al transitar la Cañada Real Soriana Oriental por el casco urbano. El camino, al cruzar el río Jabalón, se bifurca en paralelo a la sierra de Cordel, que discurre hacia el norte de la Dehesa del Acebuche y a la altura de Pozuelo de Calatrava vuelve a bifurcarse, bajando por la vaguada que alimenta la laguna del Prado. Hasta el siglo XII los rebaños eran pequeños, pero, tras la creación de la Mesta (siglos XIII a XIX) se generalizaron los rebaños de numerosas cabezas.

Estas valiosas rutas llevaron a organizar la ganadería en encomiendas. Una de las más importantes, que incluía Pozuelo de Calatrava, era la de Almagro, gestionada directamente por los Maestres de la Orden de Calatrava. Según el Consistorio, la Orden de Calatrava gestionaba 1.941 ha de dehesas en todo el término municipal, lo que suponía casi un 20% de su superficie total.

Agua minero-medicinal

Se reconocen como aguas minero-medicinales aquellas que son utilizables con fines terapéuticos, y esta cualidad hizo que en España y durante siglos existieran tratamientos asociados a su uso. En Pozuelo de Calatrava, las propiedades físico-químicas de las aguas de la laguna del Prado hicieron que en otros tiempos se emplearan como aguas medicinales, siendo embotelladas y vendidas como "*Aguas La Inesperada*", famosa a finales del siglo XIX. En su etiqueta figuran varios premios y las dosis para cada uno de los tratamientos que se recomendaba (figura 16.7).



Figura 16.7. Detalle de la etiqueta de la botella donde se recoge su composición, premios y la dosis según la dolencia (Fondo documental del ayuntamiento de Pozuelo de Calatrava)

La fuente y baños de La Inesperada fueron descubiertos a mediados del siglo XIX al hacer unas catas para la extracción de sales. Tal como recoge Salvador (1883) (figura 16.8) en su memoria, D. Cecilio Sánchez, vecino de Pozuelo de Calatrava, denunció este terreno con el objeto de explotarlo para la extracción de sales alcalinas aplicables a diferentes usos de la industria y el comercio, bajo

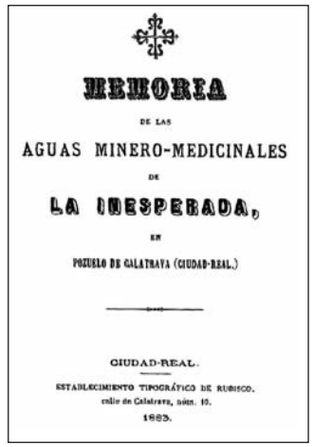

MEMORIA
DE LAS
AGUAS MINERO-MEDICINALES
DE
LA INESPERADA,
EN
POZUELO DE CALATRAVA (CIUDAD-REAL.)
CIUDAD-REAL.
ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO DE RUBIOSO.
calle de Calatrava, núm. 10.
1883.

Figura 16.8. Portada de la memoria de las aguas minero-medicinales de La Inesperada realizada por el Dr. Mariano Salvador Gamboa en 1883 (Fondo documental del ayuntamiento de Pozuelo de Calatrava)

la denominación de *"Suerte Inesperada y Abundancia"*. Consecuencia de lo cual hubo que hacer varias catas, de las que resultó hallar, aproximadamente a un metro de profundidad, gran cantidad de agua de sabor salado y amargo muy pronunciado. Su análisis facilitó gran cantidad de cloruro y sulfato sódico y magnésico.

Al extraer el agua, los químicos llegaron a la conclusión de que son aguas beneficiosas para la salud. Según indica la memoria de Salvador (1883): *"Las observaciones se han multiplicado extraordinariamente y son muchos los profesores que se valen de estas aguas en su clínica particular"*.

Estas observaciones de los Sres. Médicos de Pozuelo de Calatrava, Almagro, Manzanares, Daimiel, Torralba, Villarrubia y algún otro municipio más, confirman su eficacia en muchos casos de: saburras gástricas y biliosas, catarros gástricos, febriles y apiréticos, dispepsias ácidas, catarros gastro-intestinales, catarros intestinales, enteritis aguda, estreñimiento pertinaz, hepatitis subaguda, congestiones cerebrales, epilepsia, hipertrofia cardiaca, como purgante, (sirviendo de excipiente al bromuro de potasio en la epilepsia), úlceras atómicas, hespérides diversas, (algunas veces ulceradas), psoriasis, eczemas, ictiosis nacaradas pitiriasis versicolor, herpes circinadas, acné puntada, herpes furfuráceo, bléfano conjuntivitis y en algún caso reumatismo articular agudo. Observando en todos ellos un notable alivio, cuando no la curación.

Descubiertos los beneficios para la salud del agua de La Inesperada, los pozueleños empiezan a beberla y, finalmente, se crea una industria embotelladora: *Aguas minerales naturales La Inesperada* (figura 16.9).



Figura 16.9. Botella de agua mineral La Inesperada (L.A. Carreño)

Espacio de educación ambiental

Históricamente la laguna del Prado ha recibido aportes de aguas residuales sin depurar y otras de origen industrial, además de ser utilizada como vertedero de escombros. Esta situación cambia cuando, en 1987, la JCCM adquiere el humedal, acometiendo obras de limpieza y restauración de los márgenes más alterados. En la actualidad, su perímetro permanece cercado para intentar erradicar el vertido de escombros y basuras, y las aguas residuales urbanas ya no son evacuadas a la zona húmeda. En 2008 se inaugura la nueva EDAR de Pozuelo de Calatrava, que se encuentra en el flanco noroeste del humedal. Por otra parte, la proximidad del municipio, del centro deportivo y de la plaza de toros, así como la existencia de la red de caminos para dar paso a predios agrícolas que la bordean supone una degradación del hábitat y molestias para la avifauna de la zona.

Según información facilitada por el ayuntamiento, la riqueza de este recurso natural en el municipio llevó al Consistorio a poner en funcionamiento el Centro de Interpretación del agua volcánica La Inesperada (figura 16.10), inaugurado el 30 de marzo de 2016, enmarcado en la estrategia turística "Parque Cultural Campo de Calatrava". Es un centro dotado de diversos medios didácticos y museísticos de interpretación del paisaje, flora, fauna y geomorfología de la laguna del Prado, contando además con una zona de observación de aves.





Figura 16.10. Paneles informativos y mirador del Centro de Interpretación "La Inesperada" (L.A. Carreño)

CONTEXTO SOCIOECONÓMICO

El municipio de Pozuelo de Calatrava cuenta con una población de 3.349 habitantes (INE, 2014) y una extensión de 99,67 km^2, lo que supone una densidad de 33,6 hab/km^2 (figura 16.11).

En el nivel de estudios predomina el segundo grado entre los habitantes mayores de 16 años (38,2%), seguido de los que carecen de ellos (23,4%) y de los que tienen el primer grado (20,8%). El grupo minoritario, con el 6,5%, son los analfabetos, quedando el 11,1% restante para las personas con estudios de tercer grado (tabla 16.6).

Tabla 16.6. Nivel de estudios (Censo de Población y Vivienda 2011. INE)

NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	**%**
Analfabetos	138	*6,5*
Sin estudios	499	*23,4*
1er Grado	443	*20,8*
2º Grado	816	*38,2*
3er Grado	238	*11,1*
TOTAL	**2.134**	***100***

El sector servicios actúa como motor de la actividad económica (tabla 16.7) con un 55,3% de empresas. Le sigue la agricultura y la industria con un 19,4% y un 18,5%, respectivamente, mientras que el 6,8% restante corresponde a la construcción. En este sentido, los trabajadores afiliados al sector servicios son los más numerosos con un 43,2%, seguidos por los del sector industria, con un 26,6%, siendo los afiliados a la construcción y agricultura los minoritarios, con un 15,7% y 14,5% respectivamente.

Tabla 16.7. Empresas y afiliación en Pozuelo de Calatrava (Tesorería General de la Seguridad Social 2014)

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	**%**	**Nº de empresas**	**%**
Agricultura	90	*14,5*	20	*19,4*
Industria	165	*26,6*	19	*18,5*
Construcción	97	*15,7*	7	*6,8*
Servicios	268	*43,2*	57	*55,3*
TOTAL	**620**	***100***	**103**	***100***

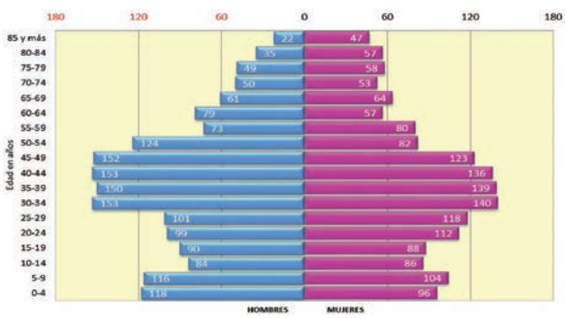


Figura 16.11. Pirámide (izquierda) y Grupos de población de Pozuelo de Calatrava (derecha) (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha 2014. Padrón Municipal de Habitantes a 1 de enero 2014. Instituto Nacional de Estadística, INE)

La evolución ocupacional entre 2009 y 2014 (tabla 16.8) se inicia con un ascenso progresivo y va aminorando al final de la serie, para apuntar un descenso en el año 2014.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº de parados	275	324	391	476	508	488

Tabla 16.8. Desempleados (Paro municipal registrado. SPEE)

Territorialmente (tabla 16.9), la mayor parte de su término municipal está ocupado por cultivos (77,6%), predominando los herbáceos (68,7%), junto con viñedos (15,3%) y olivares (14,3%), siendo minoritaria la presencia de los frutales (1,7%).

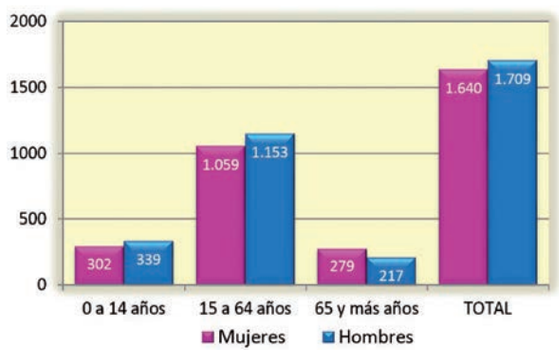
EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		**%**	
Labradas	Herbáceos	6.119	4.205	*77,6*	*68,7*
	Frutales		106		*1,7*
	Olivares		875		*14,3*
	Viñedos		933		*15,3*
Pastos		1.010		*12,8*	
Otras		755		*9,6*	
TOTAL		**7.884**		***100***	

Tabla 16.9. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2009, INE)

Respecto a la ganadería, se reparte casi en su totalidad entre las de tipo ovina y bovina, con un 69,3% y 26,2% respectivamente (tabla 16.10).

CABEZAS DE GANADO		
	Nº de cabezas	**%**
Bovinos	1.127	*26,2*
Ovinos	2.984	*69,3*
Caprinos	54	*1,3*
Porcinos	0	*0,0*
Aves	42	*1,0*
Equinos	102	*2,4*
TOTAL	**4.309**	***100***

Tabla 16.10. Cabezas de ganado (Censo Agrario 2009, INE)



Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna del Prado se sitúa unos 7,2 km al suroeste de la masa de agua superficial del río Jabalón, en la cuenca alta del río Guadiana, y se extiende sobre un territorio de 1.185,9 ha que ocupa parte de los términos municipales de Pozuelo de Calatrava, Miguelturra y Ciudad Real. Su morfología es alargada en dirección norte-sur, con un estrechamiento progresivo en su zona meridional y un ensanchamiento en su tercio septentrional (figura 16.12).

El relieve del ámbito territorial descrito es muy suave, por lo que no es fácil determinar sus límites, siendo el suroriental el que presenta mayor dificultad. La altitud media es 634,5 m s.n.m, con una diferencia de casi 40 m entre las cotas más elevadas (659,8 m s.n.m.), en la zona norte, y el fondo de la cubeta del humedal (620,1 m s.n.m.). Por su parte, la pendiente media está en torno al 2,8%.

No existe ningún curso superficial reseñable, más allá de pequeñas vaguadas algo más acentuadas en la zona occidental, área que aporta la mayor proporción de los caudales de la escorrentía superficial.

La laguna está claramente posicionada en la parte más oriental de la cuenca y junto al núcleo urbano de Pozuelo de Calatrava, del que lo separa la carretera CR-5122. Por otra parte, la superficie máxima inundable es de 57,88 ha, por lo que la superficie total del área vertiente representa 20 veces la de la propia laguna.

Geología

El conjunto de formaciones geológicas que afloran en el área vertiente a la laguna del Prado tienen un origen, una naturaleza y una composición variable que condiciona su comportamiento hidrogeológico. La edad de todos estos

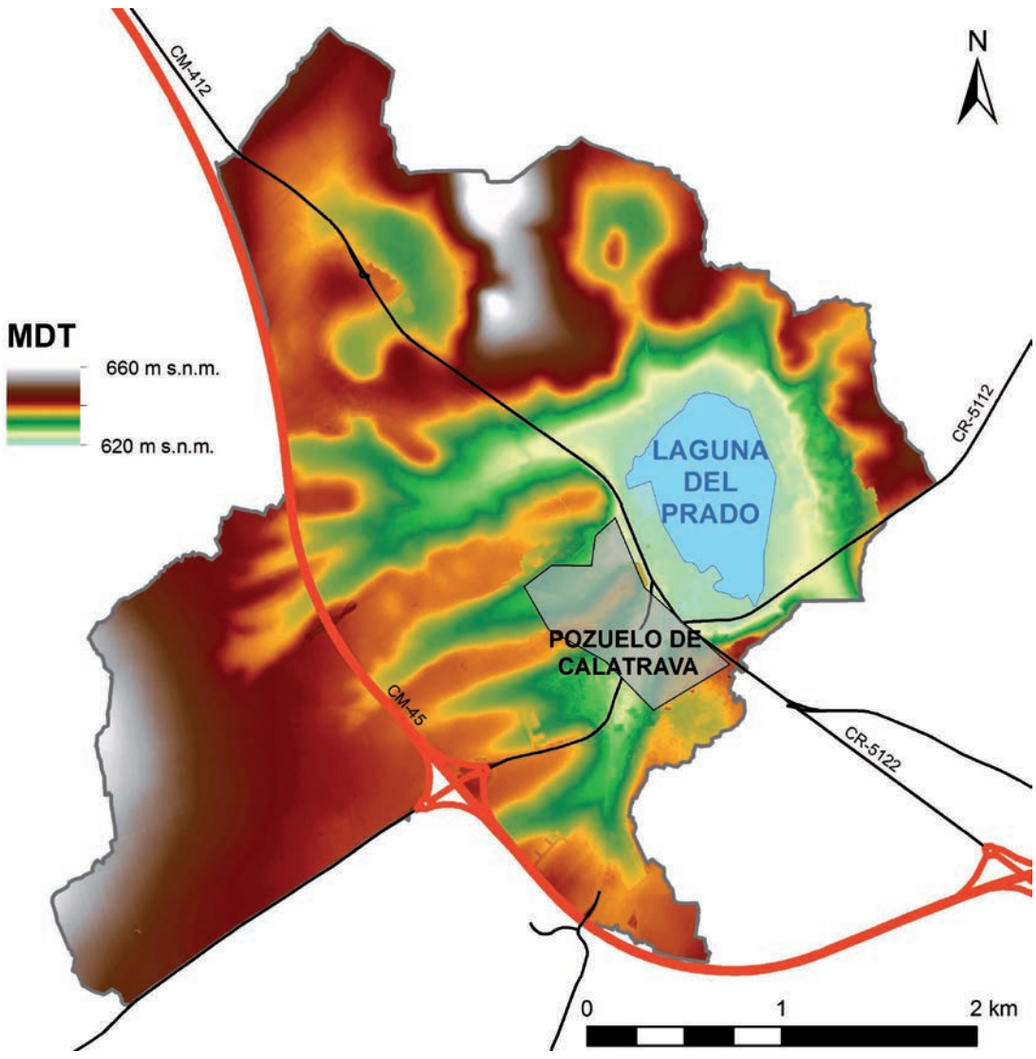


Figura 16.12. Cuenca hidrológica de la laguna del Prado

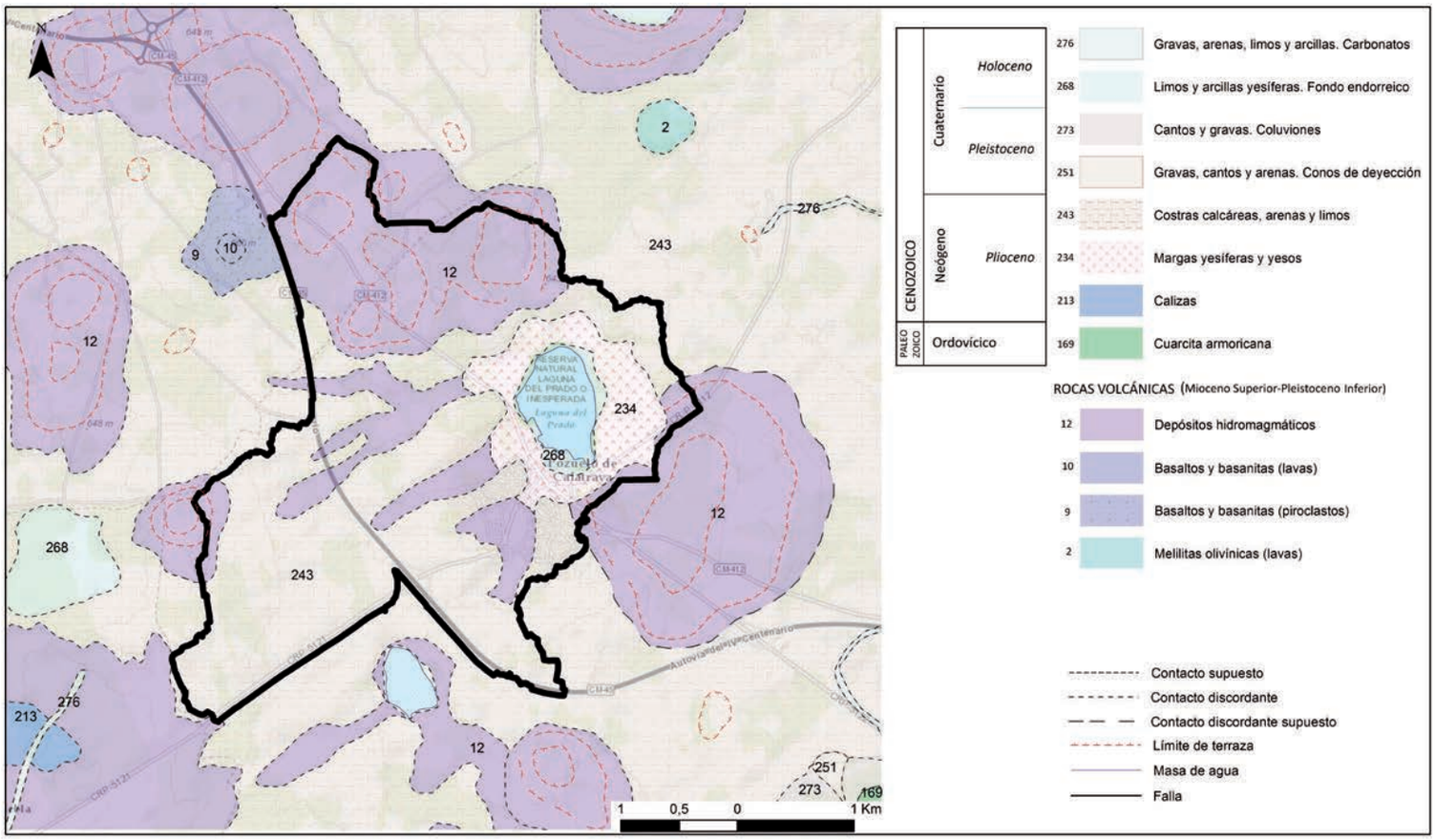


Figura 16.13. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna del Prado (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

materiales es bastante reciente, con respecto a la de otras lagunas de esta publicación, ya que pertenecen al Neógeno y al Cuaternario, con un lapso temporal que va desde el Mioceno superior, los más antiguos, hasta el Holoceno, edad de los más modernos (figura 16.13).

Respecto a su comportamiento hidrogeológico (tabla 16.11), el predominio, con casi el 85% de la extensión de toda la cuenca, corresponde a los materiales de permeabilidad baja (Tipología C) constituidos por los depósitos hidromagmáticos y por las costras calcáreas, arenas y limos pliocuaternarios. El 15% de los afloramientos restantes lo configuran las margas yesíferas y yesos del Plioceno y los limos y arcillas yesíferas del Cuaternario, considerados como materiales impermeables (Tipología D).

Desde el punto de vista geológico, el territorio está marcado por los fenómenos ligados a la actividad volcánica que tuvo lugar en el Campo de Calatrava entre el Mioceno superior y el Pleistoceno inferior, ampliamente representada por depósitos hidromagmáticos.

Estos sedimentos se generan por la interacción del magma con el agua subterránea, proceso que da lugar a explosiones causadas por su brusca vaporización y a la formación de columnas eruptivas que se expanden lateralmente a gran velocidad. El resultado más característico de estas manifestaciones volcánicas son los denominados *maares* que dan lugar a formas redondeadas o elípticas.

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS

FORMACIÓN GEOLÓGICA	Edad	Tipología	%
Depósitos hidromagmáticos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	85
Costras calcáreas, arenas y limos	Pliocuaternario	C	
Margas yesíferas y yesos	Plioceno	D	15
Limos y arcillas yesíferas	Cuaternario	D	

Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)

Tabla 16.11. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna del Prado

Como se ha comentado para otras lagunas donde aparecen estos mismos materiales, los depósitos hidromagmáticos tienen un espesor reducido, entre 8 y 10 m, y están formados por tobas poligénicas, heterométricas y con fragmentos volcánicos, fusionados por un cemento compuesto por ceniza muy fina.

Con una extensión importante, en la cuenca aparece también una superficie de erosión tapizada por costras calcáreas de escasos metros de espesor y edad Plioceno superior-Pleistoceno inferior. Se trata de rocas compactas de tonalidades beige, rojizas y parduzcas, compuestas por diverso porcentaje de arenas, limos y material volcánico, cuya formación obedece a secuencias rápidas y extremas de sequías y periodos húmedos que provocan el desarrollo de encostramientos y morfologías laminares.

En el entorno más inmediato a la laguna, y dispuestos a modo de aureola, aparecen margas yesíferas de color beige y yesos con un pequeño porcentaje de arenas finas, que constituyen uno de los escasos afloramientos de esta formación en la región al soler encontrarse recubiertas por las costras calcáreas. El espesor máximo de estos materiales, a los que se les atribuye una edad Plioceno superior, es de 25 m y responden a un medio sedimentario de zonas internas de áreas lagunares efímeras sometidas a un clima árido o semiárido.

Sin embargo, el substrato geológico de todo este territorio viene dado por arcillas arenosas y arenas, también de edad Plioceno superior, que con una potencia superior a los 150 m se disponen bajo las formaciones descritas.

La litología del vaso lagunar está integrada por los depósitos margo-yesíferos del Plioceno, parcialmente erosionados y meteorizados, y por la formación subyacente de igual edad compuesta por arcillas arenosas y arenas. Con una presencia casi testimonial, en el fondo de la cubeta se encuentran delgados depósitos contemporáneos holocenos de relleno de zonas deprimidas, constituidos por limos oscuros y arcillas yesíferas de color grisáceo.

El esquema tectosedimentario expuesto implica un origen pseudokárstico para la laguna, resultado de la disolución de los sedimentos yesíferos pliocenos subyacentes a las costras carbonatadas, arenas y limos pliocuaternarios. De forma subordinada, esta zona deprimida queda flanqueada al norte y sureste por dos cráteres de explosión rodeados por sendas orlas de materiales piroclásticos.

Hidrogeología

La laguna del Prado, a pesar de estar entre dos edificios volcánicos (figura 16.14), no responde exactamente a una morfología de tipo *maar*, si bien tiene en común la

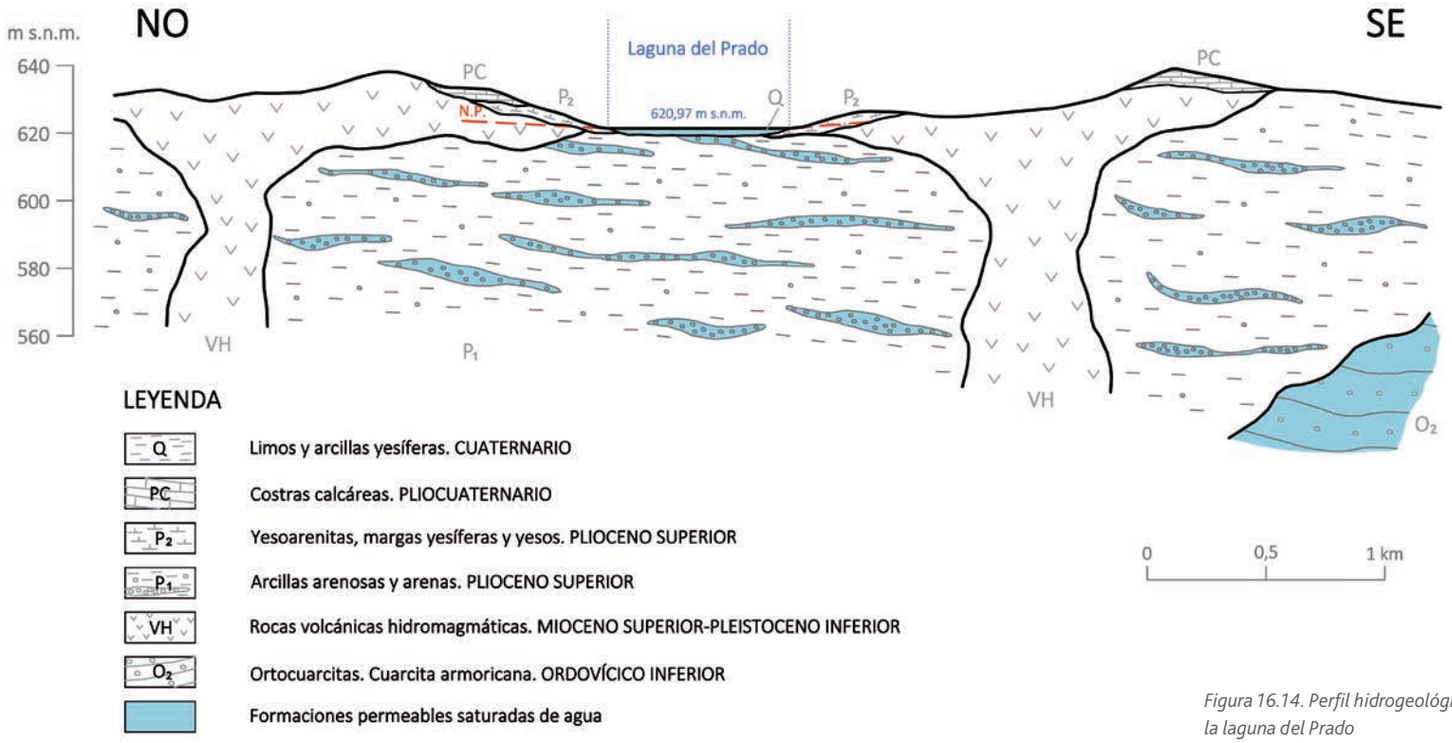


Figura 16.14. Perfil hidrogeológico de la laguna del Prado

presencia de los materiales volcánicos y la reducida extensión de su cuenca vertiente.

La mayor parte de las formaciones de su entorno son de baja permeabilidad. Entre ellas las únicas que presentan ciertas aptitudes hidrogeológicas son las integradas por las arcillas arenosas y arenas (P_1) del Plioceno superior que, como se ha comentado, subyacen al resto de sedimentos, así como las rocas hidromagmáticas (VH). Aunque en conjunto ambas formaciones presentan un comportamiento impermeable, sus tramos más detríticos pueden albergar pequeños niveles de agua que son aprovechados por algunos pozos y perforaciones de pequeño rendimiento existentes en los alrededores del humedal, especialmente en su flanco oriental. No obstante, es necesario comentar que a mayor profundidad se encuentran las cuarcitas armoricanas (O_2), formación que constituye parte del basamento paleozoico del sector y aflora a unos 3 km al sureste de la laguna, con características hidrodinámicas aceptables y la posibilidad de constituir acuíferos de interés.

Como se ha citado, la cubeta de la laguna se encuentra sobre las dos formaciones de edad Plioceno superior, margas con yesos (P_2) y arcillas arenosas y arenas (P_1), con la segunda de las cuales presenta una pequeña relación hídrica.

El resto de las formaciones de la cuenca, pertenecientes al Plioceno (PC) y al Cuaternario (Q), aunque puntualmente pueden presentar litologías con cierta permeabilidad, son de escaso espesor y carecen de relevancia hidrogeológica.

Coherente con lo expuesto en las líneas anteriores, el flujo subterráneo está condicionado por los sedimentos piroclásticos que permiten la existencia de una pequeña estructura acuífera de características muy pobres, pero capaz de aportar a la laguna ciertos caudales con los que mantener una delgada lámina de agua libre durante una buena parte del año (figura 16.15). Estos aportes podrían acceder al vaso de forma difusa o a través de la canalización de su extremo meridional, que drena los materiales acuíferos bajo el núcleo urbano de Pozuelo de Calatrava.

Como resulta habitual en estos ecosistemas, el nivel de las aguas subterráneas en su entorno se encuentra muy próximo a la superficie, con un flujo local aparentemente dirigido hacia el vaso. La calidad de estas aguas es deficiente, ya que presentan una salinidad moderada, con una conductividad eléctrica (CE) entre 1.800 y 2.100 µS/cm, valores muy inferiores a los registrados en la laguna. En esta última la CE se sitúa normalmente entre 13.000 y 20.000 µS/cm, con máximos en el periodo controlado de hasta 64.400 µS/cm, valor atribuido a los procesos de evaporación que favorecen la concentración de sales (figura 16.15).



Figura 16.15. Mapa piezométrico (m s.n.m.) y sentido del flujo subterráneo. Noviembre de 2014 (IGN)

Hidroquímica

La analítica de la muestra tomada en la laguna del Prado arroja un valor para la CE de 37.400 µS/cm y un pH de 9,70. Por su parte, las muestras de las aguas subterráneas y del canal de entrada adquieren valores máximos de 2.080 µS/cm con un pH también inferior.

En esta misma línea se encuentran los cloruros y los sulfatos. Los primeros presentan un valor de 7.469 mg/L en la laguna, con valores entre 162 y 215 mg/L en las aguas subterráneas y entre 123 y 166 mg/L en los aportes del canal. Por su parte, los valores mínimos y máximos de sulfatos varían entre 301 y 648 mg/L en estas últimas, siendo de 10.951 mg/L en la laguna. En consecuencia, la facies hidroquímica predominante tanto del agua de la laguna como del agua subterránea es sulfatada-clorurada magnésica (figuras 16.16 y 16.17).

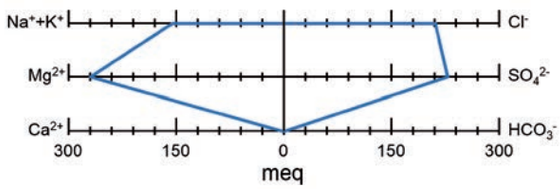


Figura 16.16. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna del Prado. Fecha de análisis 27/11/2014

En la tabla 16.12 se compara la calidad del agua de la laguna con los valores recogidos en la normativa que regula la calidad para aguas de consumo humano (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero), por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad de dicha agua.

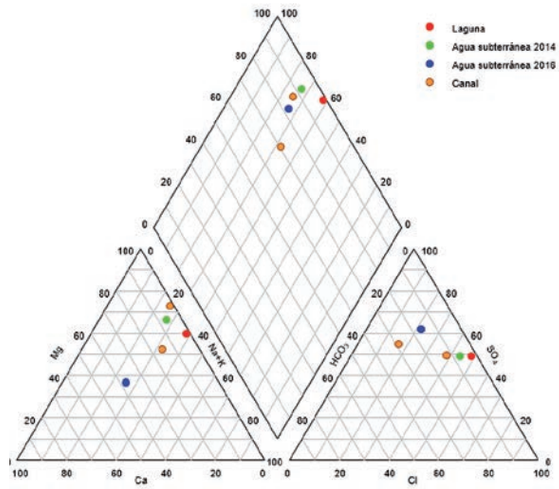


Figura 16.17. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de la muestra de la laguna y su entorno

La CE del agua de la laguna para el periodo enero de 2013 hasta julio de 2014 (figura 16.18) registra valores medios y más frecuentes entre 13.000 y 26.000 µS/cm. No obstante, presentan ciertas oscilaciones, de tal forma que en abril de 2013, se registra un mínimo de 10.020 µS/cm. El último dato de la serie, julio de 2014, arroja el valor máximo de la CE, con 64.400 µS/cm, precedido de otro valor elevado en el mes anterior.

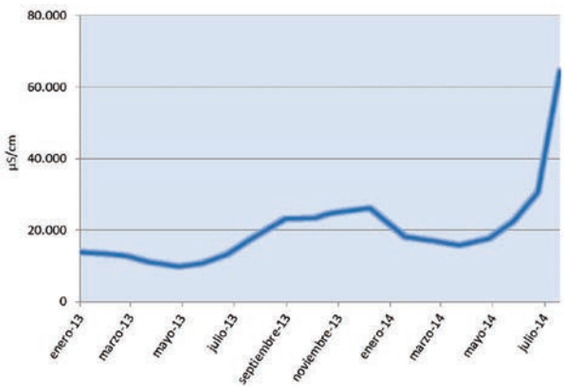


Figura 16.18. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna del Prado entre enero de 2013 y julio de 2014

	Fecha de análisis			27/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA	
				Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	7,3	10
	Boro	B	mg/L	4,201	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	7.469	250
	Conductividad	CE	µS/cm	37.400	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	9,9	50
	pH	-	Ud de pH	9,7	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	2.978	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	10.951	250

Tabla 16.12. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

La laguna del Prado presenta características similares a otras existentes en la región, con la particularidad de su pertenencia al Campo de Calatrava y de su relación con las rocas eruptivas. Se trata, en definitiva, de una zona húmeda somera temporal cuyo nivel de agua alcanza escasos centímetros durante los periodos húmedos y que, normalmente, permanece seca en la estación estival.

La moderada extensión de su cuenca vertiente, aunque no tan reducida como la de sus vecinas Almodóvar y Caracuel, condiciona su funcionamiento hidrológico, con una escasa contribución de la escorrentía de origen superficial. Tampoco las aguas subterráneas tienen un papel relevante debido a la poca permeabilidad y entidad de los materiales piroclásticos. A pesar de ello, el acuífero instalado en estos materiales aporta cierto caudal al humedal, bien de forma difusa a través de su lecho, bien por la canalización que lo drena en el entorno del núcleo urbano de Pozuelo.

En consecuencia, la precipitación directa adquiere especial importancia en su pervivencia, con unos aportes algo similares al de las escorrentías superficial y subterránea. Por el lado opuesto, el volumen generado por estos conceptos es drenado de forma exclusiva por la evaporación producida en la lámina de agua libre, lo que explica la elevada salinidad del agua del ecosistema.

Un aspecto a comentar es que laguna ha sido receptora de las aguas residuales de la localidad de Pozuelo de Calatrava durante un largo periodo de tiempo, lo que le permitía mantener niveles de agua incluso durante el verano. Esta situación perduró hasta principios de la presente década con la construcción de instalaciones que derivaron estas aguas hacia el norte de la población, por lo que el ecosistema pudo recuperar su estado natural.

Balance hídrico

Al igual que en el resto de las lagunas, el balance hídrico de la laguna del Prado se ha obtenido mediante la aplicación de la metodología desarrollada en el proyecto Ecolake, basada en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua a su vaso. Como se ha comentado en el apartado anterior, las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada existente en cada momento (superficie máxima 57,88 ha), a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (1.185,9 ha) y a los aportes de aguas subterráneas. Por su parte, las salidas son debidas únicamente a la evapotranspiración producida sobre la lámina de agua libre, limitada por el volumen de agua disponible.

El análisis geológico del área vertiente, según las distintas formaciones aflorantes, ha arrojado como resultado un suelo de tipo C (tabla 16.11). Por su parte, la pendiente media hallada ha sido del 2,8%, es decir, inferior al 3% (figura 16.19), mientras que al uso de la tierra se la ha asignado la tipología de labor de

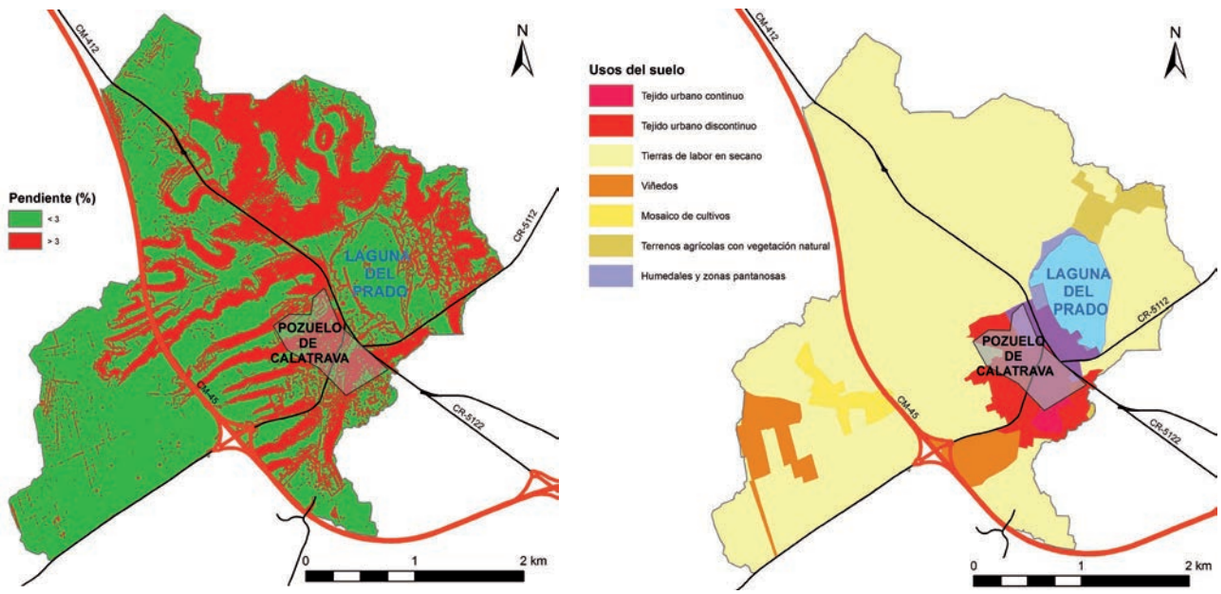


Figura 16.19. Cuenca hidrológica de la laguna del Prado. Mapa de pendientes (izquierda) y Mapa de usos del suelo (derecha) (Corine Land Cover 2012)

secano con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 16.19). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

Los datos climáticos se han obtenido de la estación agroclimática de Daimiel del SIAR, para el periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo kc=1, escogido en este caso como más adecuado considerando la escasa presencia de vegetación macrófita en la cubeta, y para la determinación de la evaporación se ha tenido en cuenta la extensión de la lámina de agua de la laguna en cada momento.

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC *(Antecedent Runoff Condition)* 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva considerado para condiciones medias ha sido CN II=66, que corresponde a un valor de CN I=46 para condiciones de humedad baja, y de CN III=82 para condiciones de humedad alta. Esto supone un valor umbral medio para la escorrentía (P_0) de 26,17 mm, con un máximo de 58,28 mm y un mínimo de 10,49 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 16.13).

Para la estimación de los aportes de aguas subterráneas se ha establecido una relación entre estos y la precipitación acumulada. En ella se ha tenido en cuenta la existencia de un tiempo de respuesta o retardo, debido al lento movimiento del agua a través de las formaciones geológicas. En consecuencia, y para su cálculo, los aportes de aguas subterráneas se han considerado proporcionales a las precipitaciones ocurridas durante los 3 últimos meses, en los que el coeficiente que define la mencionada relación se ha obtenido del ajuste entre los volúmenes simulados para el balance hídrico y las medidas limnimétricas del proyecto Ecolake (años 2012-2014). El valor arrojado para dicho coeficiente es de 0,02, es decir, el equivalente al 2% de la precipitación acumulada en la cuenca vertiente de la laguna.

La batimetría de la cubeta se ha definido a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG, se ha establecido el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación y con pasos de altura de 0,02 m. También se han obtenido y representado las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen (figuras 16.20).

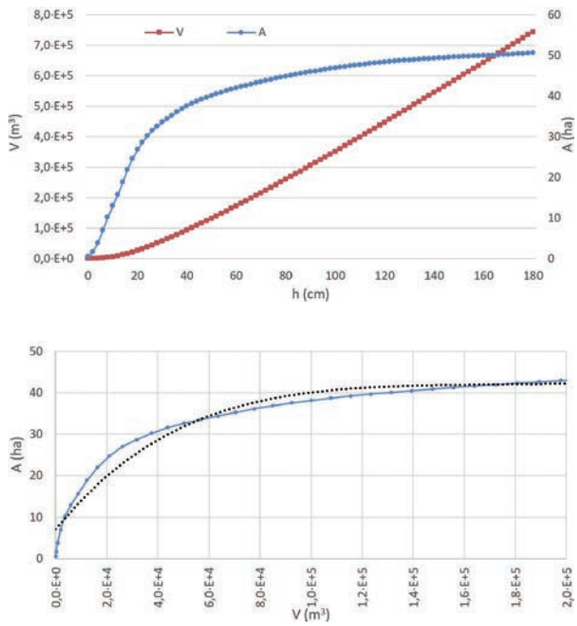


Figura 16.20. Laguna del Prado. Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A). Abajo: relación entre área inundada (A) y volumen almacenado (V)

Finalmente, los resultados de la simulación para al periodo 2012-2014 muestran unos niveles de agua altos, especialmente en el año hidrológico 2012/13, con precipitaciones abundantes (602 mm), lo que provocó que la laguna pudiese mantener agua durante el verano de 2013. En el año hidrológico 2013/14, clasificado climatológicamente como seco (268 mm), los volúmenes acumulados fueron inferiores y en el verano de 2014 la laguna quedó seca.

El balance hídrico medio anual obtenido para el mencionado periodo indica que la alimentación hídrica del sistema es de 414.277 m^3, de los que 173.887 m^3 (42%) corresponden a la precipitación directa caída sobre la zona inundada, 134.313 m^3 (32%) a la escorrentía superficial generada en su cuenca y 106.076 m^3 (26%) a los aportes de aguas subterráneas. En cuanto las salidas, debidas exclusivamente a la evapotranspiración, equivalen a los aportes totales, es decir, 414.277 m^3 (tabla 16.14).

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
< 3	> 50% Labor de secano	Media baja	C	58,28	26,17	10,49

Tabla 16.13. Cuenca de la laguna del Prado. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Tabla 16.14. Balance hídrico de la laguna del Prado. Periodo 2012-2014

Año hidrológico	ENTRADAS				SALIDAS	Variación de volumen (m^3)
	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aportes aguas subterráneas (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP directa (m^3/año)	
2012/13	250.420	229.428	140.049	619.897	509.260	110.637
2013/14	97.354	39.199	72.104	208.657	319.293	-110.636
Media periodo	173.887	134.313	106.076	414.277	414.277	0

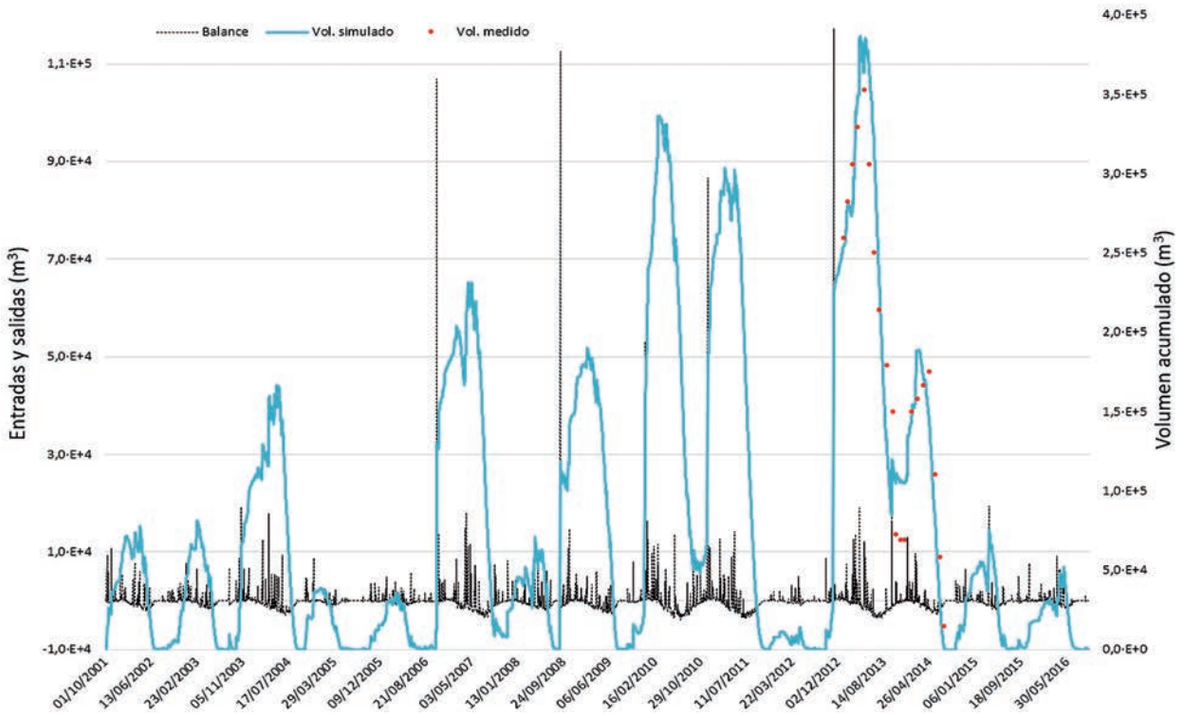


Figura 16.21. Simulación del balance hídrico para la laguna del Prado. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

Con los parámetros validados para el periodo de calibración se ha determinado el balance hídrico hiperanual del humedal para los últimos 15 años disponibles (2001/02 a 2015/16). En esta simulación no se han tenido en cuenta los vertidos de la EDAR, ya que el balance se ha calibrado para el periodo 2012-2014, cuando ya habían cesado.

Los resultados muestran un estiaje bastante marcado, con la desecación de la laguna durante el verano excepto en años especialmente húmedos como los de 2010 y 2013 en los que mantuvo cierto volumen de agua (figura 16.21). Aun así, indican una amplia superficie inundada a lo largo del período analizado (el 55% del tiempo superior al 50% de la cubeta, 29 ha), con una inundación máxima en abril de 2013, exponente de la época húmeda iniciada en diciembre de 2009.

El balance hídrico hiperanual (15 años) cifra la alimentación del sistema en 302.763 m^3/año, con una contribución de la precipitación directa de 126.268 m^3/año (41% del total), unos aportes por aguas subterráneas de 89.976 m^3/año (30%) y una escorrentía superficial de 86.519 m^3/año (29%) (tabla 16.15). Por su parte, la evapotranspiración, que constituye el total de las salidas del sistema, equivale al volumen de la alimentación total, es decir, 302.763 m^3/año.

Tabla 16.15. Balance hídrico hiperanual de la laguna del Prado. Periodo 2001-2016

DATOS			ENTRADAS				SALIDAS
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km^2)	Área media inundada (m^2)	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aportes aguas subterráneas (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP directa laguna (m^3/año)
379,73	11,86	265.069	126.268	86.519	89.976	302.763	302.763

Evolución visual del territorio

Las imágenes aéreas de los años 1957 y 2012 (figura 16.22) ofrecen dos perspectivas del entorno inmediato de la laguna y permiten analizar la trasformación territorial sufrida a lo largo de estos 55 años. El aspecto más relevante a destacar es el urbano, que ha experimentado un crecimiento importante, hasta prácticamente duplicar su superficie en todas las direcciones, proporcional al desarrollo industrial, deportivo y cultural en el entorno del vaso lagunar.

Durante el lapso temporal referido se han creado nuevas infraestructuras lineales, como la Autovía del IV Centenario, también se han ejecutado mejoras del resto de vías circundantes. Los caminos vecinales de acceso a los terrenos agrarios no han sufrido modificaciones significativas, salvo las condicionadas por las vías asfaltadas y los nuevos pasos que éstas conllevan.

El mosaico de imágenes que se suceden a continuación (figuras 16.23 a 16.28) muestra, desde diferentes perspectivas, el encuadre geográfico y paisajístico de la laguna del Prado, la lámina de agua, la fauna que alberga, la vegetación ribereña que bordea casi todo su perímetro y las numerosas islas que emergen del humedal.



Figura 16.22. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 16.23. Panorámica de la laguna del Prado en junio de 2016 (B.J. Ballesteros)

Figura 16.24. Vegetación arbórea y arbustos ribereños de la laguna del Prado (M. Mejías)



Figura 16.25. Avifauna en abril de 2018 (C. Camuñas)



Figura 16.26. Registro de medidas altimétricas en la laguna (M. Mejías)



Figura 16.27. Torre de observación al oeste de la laguna. Noviembre de 2013 (B.J. Ballesteros)



Figura 16.28. Viñedos, humedal y población en perfecta sintonía (M. Mejías)

Capítulo 17



LAGUNA DE ALMODÓVAR

ALMODÓVAR DEL CAMPO (CIUDAD REAL)





17. LAGUNA DE ALMODÓVAR

Situación geográfica, coordenadas y accesos

La laguna de Almodóvar se sitúa junto al núcleo urbano de Almodóvar del Campo, municipio de la provincia de Ciudad Real de cuya capital dista 43 km. Su punto central tiene las coordenadas X: 398650, Y: 4284850 (UTM ETRS89 H30) y una cota de 669,8 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional (figura 17.1).

El humedal se encuentra al pie del denominado Cerro de los Molinos, donde reposan las ruinas de un molino de viento del siglo XVIII y el antiguo castillo. Su acceso es totalmente libre, para llegar a él se debe tomar la salida del p.k. 53,300 de la carretera CM-4110 que une

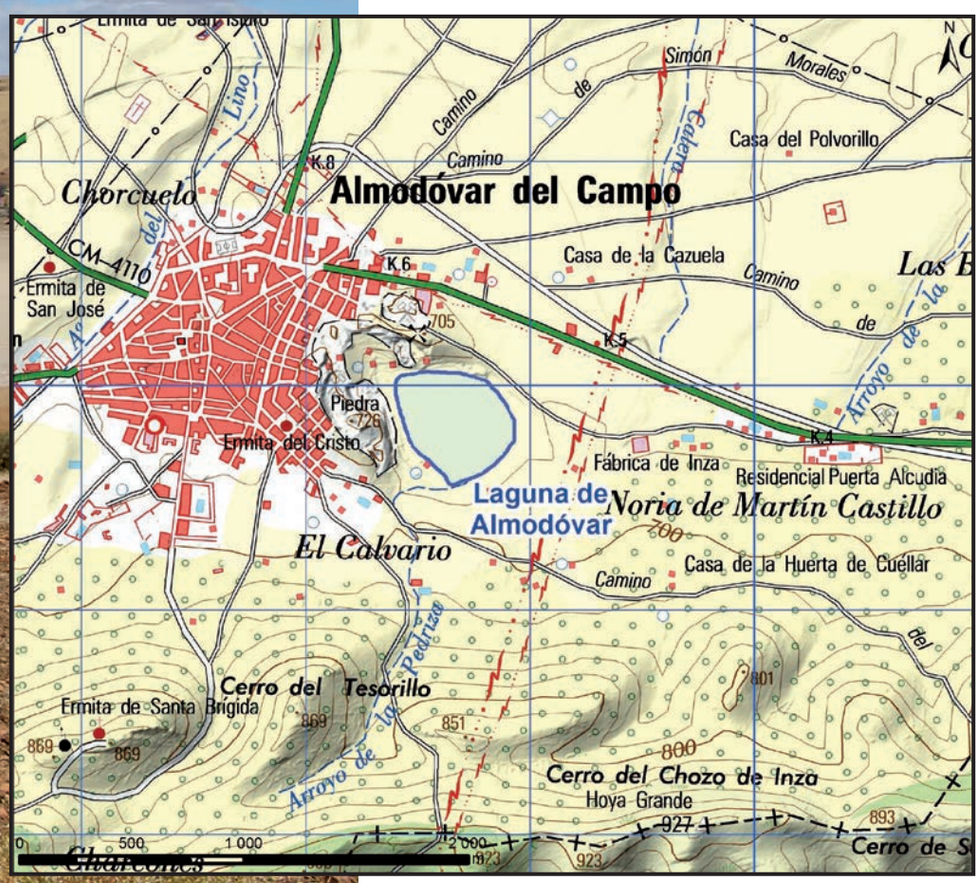


Figura 17.1. Situación geográfica de la laguna de Almodóvar (hoja 810 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

Almodóvar del Campo con Puertollano y, tras recorrer 500 m por la antigua carretera, dirigirse hacia el sur por un camino de tierra que se intersecta con ella por su margen izquierdo. Después de transitar unos 200 m por esta vía se alcanza el área inundable.

Su proximidad al casco urbano hace que sean varias las maneras de llegar al vaso de la laguna. Además de la mencionada carretera de acceso, también se puede acceder de forma más directa por la concurrida calle Laguna, que da origen a un camino que lo bordea por sus flancos norte y oeste, así como por el conocido como camino de la fábrica, también por este mismo flanco. El recorrido por el borde meridional se puede iniciar en la calle Calvario, al sur del núcleo urbano, que se convierte en camino y se prolonga hasta la vecina localidad de Puertollano, donde pasa a denominarse camino del Atajo o vereda de los Mineros.

Características fisiográficas

La laguna de Almodóvar es un humedal de carácter salino, régimen estacional y origen volcánico, cuyo perímetro, de 1,8 km de longitud, dibuja una forma ovalada de orientación noroeste-sureste con ejes de 0,4 km por 0,6 km (figura 17.2). La superficie máxima inundable así definida es de 20,10 ha, según el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, segundo ciclo 2015-2021 (BOE, 2016).

A lo largo de su flanco occidental, en la falda del cerro de los Molinos y adherido al perímetro lagunar, aparecen numerosas huertas de reducidas dimensiones con plantaciones de árboles frutales, algunas de ellas con pozo propio. A mayor distancia del vaso, y a cotas más elevadas, el paisaje viene definido por parcelas de mayor tamaño en las que se practica el cultivo de secano de diversas especies herbáceas.

Figura 17.2. Vaso lagunar en el año 2015 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



En dirección sur se alza la sierra Decarada de la Santa, en la que destacan los cerros del Tesorillo, de San Patricio, de la Huerta de Cuéllar y de San Sebastián, este último en el término de Puertollano. Sus laderas están cubiertas de olivares, mientras que en sus cumbres crece una vegetación rala y escasa.

Normativa específica y figuras de protección

Este humedal manchego, propiedad del ayuntamiento de Almodóvar del Campo, constituye un ecosistema de elevado valor biológico y geomorfológico. No obstante, y a pesar a su importancia ecológica carece actualmente de normativa específica y de figuras de protección.

La primera persona que elevó su voz en defensa de la laguna fue el sacerdote D. Cándelo López Serrano. Fue en el año 1978, cuando redactó un informe sobre los valores geológicos del volcán de Almodóvar del Campo y solicitó su protección, como belleza natural topográfica, a la Sección de Arqueología y Geografía de la Dirección General de Bellas Artes de Madrid, reclamando la adopción de las medidas oportunas.

Durante años existió cierta contradicción en las Normas Subsidiarias del municipio al establecer, por un lado, un Plan Especial para la mejora del humedal y, por otro, calificar a su entorno como suelo urbano para uso industrial. Esta disparidad de criterios se subsana a principios de 2016, cuando se aprueba el Plan de Ordenación Municipal en el que se contemplan disposiciones para la mejora de la laguna y su promoción como espacio natural dedicado al ocio, con actividades culturales y deportivas.

Climatología

Las características climáticas del territorio se han determinado a partir de los datos obtenidos de la estación meteorológica CR04 Ciudad Real, perteneciente a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR) de Castilla-La Mancha (tabla 17.1).

La precipitación media anual de los últimos 15 años (2001/02-2015/16) es de 414,5 mm, con un valor máximo

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
CR04	Ciudad Real	414362	4321940	662	01/10/2001	30/09/2016

Tabla 17.1. Datos de ubicación y periodo de registro temporal empleado (SIAR)

PRECIPITACIÓN (mm)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**414,5**	**1,0**	**35,5**	**42,9**	**44,1**	**60,4**	**32,1**	**16,4**	**2,9**	**4,7**	**28,7**	**57,7**	**45,2**	**45,9**
Máxima absoluta	690,8	68,5	99,6	126,6	168,9	134,0	75,2	66,4	11,8	15,8	91,7	123,4	128,5	168,4
Fecha	2009/10	28/09/2012	2010	2010	2013	2007	2008	2000	2010	2003	2012	2003	2012	2009
Mínima absoluta	259,6	0,0	1,8	1,8	10,8	22,4	5,9	0,2	0,0	0,0	0,0	27,0	8,8	7,8
Fecha	2004/05	-	2005	2012	2008	2009	2015	2002	Varios años	Varios años	2011	2015	2009	2015

Tabla 17.2. Registro de valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica CR04 Ciudad Real (SIAR)

de 690,8 mm (2009/10) y un mínimo de 259,6 mm (2004/05). A escala diaria el hecho más destacable es el episodio de lluvia ocurrido el 28 de septiembre de 2012 en el que se acumularon 68,5 mm. El registro mensual refleja que en todos los meses se superan los 30 mm de lluvia, salvo en los de verano (junio, julio, agosto y septiembre), siendo el más húmedo el de abril y el más seco el de julio con valores de 60,4 mm y apenas 2,9 mm, respectivamente (tabla 17.2). En este periodo la precipitación máxima acumulada en un solo mes fue de algo más de 168 mm (diciembre de 2009 y marzo de 2013).

Registros climáticos anteriores al año 2001, y para un periodo de 40 años (1960/61 a 1999/2000), se han obtenido de la estación meteorológica Valdepeñas (nº 4147C), perteneciente a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), cuyos valores más representativos se resumen en la tabla 17.3. El análisis de sus datos permite concluir que la precipitación media anual en los últimos 15 años no ha sufrido cambios significativos. En cuanto a las temperaturas máximas y mínimas diarias, sus valores medios son 21,4 °C y 6,5 °C, respectivamente, mientras que la media anual es de 14,0 °C (tabla 17.4).

DATOS DE LA ESTACIÓN		COORDENADAS UTM (ETRS89 H30)		ALTITUD	REGISTRO	
Identificación	Nombre	X	Y	(m s.n.m.)	Inicio	Fin
4147C	Valdepeñas	465879	4291831	695	1960/61	1999/2000

Tabla 17.3. Datos de ubicación, registro temporal y valores de precipitación más relevantes de la estación termo-pluviométrica nº 4147C Valdepeñas (AEMET)

PRECIPITACIÓN (mm)		
	Precipitación anual	Fecha
Media	**413,8**	1960/61 - 1999/2000
Máxima absoluta	633,9	1961/62
Mínima absoluta	189,2	1993/94

TEMPERATURA (°C)														
	ANUAL	DIARIA	MENSUAL											
	Dato	Dato	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	**14,0**	**-**	**4,7**	**5,9**	**9,0**	**12,0**	**16,3**	**22,3**	**25,5**	**24,7**	**19,9**	**14,6**	**8,4**	**5,0**
Máxima media	21,4	-	10,6	12,4	16,1	19,2	24,2	30,8	34,4	33,7	28,1	21,9	14,8	11,1
Mínima media	6,5	-	-0,4	0,0	2,2	4,7	7,8	12,6	15,0	14,7	11,5	7,9	2,7	-0,1
Máxima absoluta	-	43,0	19,6	22,8	43,0	30,4	38,2	41,1	42,1	42,0	39,7	31,9	25,4	19,9
Fecha	-	27/03/02	27/01/03	27/02/10	27/03/02	29/04/05	17/05/06	29/06/15	06/07/15	10/08/12	06/09/16	01/10/04	16/11/09	15/12/15
Mínima absoluta	-	-11,9	-11,9	-10,5	-8,1	-3,1	-1,8	2,4	7,0	0,0	0,0	-2,7	-9,9	-8,7
Fecha	-	28/01/05	28/01/05	12/02/12	09/03/05	02/04/16	04/05/02	09/06/02	09/07/04	16/08/12	27/09/12	26/10/10	17/11/07	17/12/10

Tabla 17.4. Registro de valores de temperatura más relevantes de la estación termo-pluviométrica CR04 Ciudad Real (SIAR)

Valores ambientales

Valoración global

De carácter endorreico, ubicada en un piedemonte y alojada en un fondo de antiguo cráter volcánico, la laguna de Almodóvar posee un alto valor paisajístico, aunque debido a las explotaciones mineras que aprovechan sus rocas soporta un fuerte deterioro ambiental que afecta tanto a su entorno como a la propia cubeta. Otro aspecto a destacar es que carece de vegetación acuática, pero presenta una cierta riqueza de especies de invertebrados dentro del contexto regional, en particular de ostrácodos.

Biodiversidad: flora y fauna

La laguna carece, en la práctica, de macrófitos sumergidos (Angeler *et al.*, 2008), característica que la hace singular. También cabe destacar la inestabilidad de su lecho, posiblemente debida a una elevada turbidez que impide, pese a la escasa profundidad, que la luz alcance la zona próxima al sedimento con suficiente intensidad. No obstante, estudios anteriores achacan esta circunstancia a la elevada contaminación (Velayos *et al.*, 1989).

Por lo que respecta a la vegetación higrófila, las formaciones perilagunares de junco churrero *(Scirpoides holoschoenus)*, acompañadas de junco merino *(Juncus acutus)*, representan un buen ejemplo de este tipo de vegetación (Gosálvez, 2011). Estas formaciones se ven favorecidas por la concurrencia de suelos ricos en bases y una elevada humedad causada por la proximidad del nivel freático, pero su distribución se ve limitada por la presión ejercida por la agricultura y la actividad minera (figura 17.3).

La presencia de aves depende del grado de encharcamiento, como demuestran los censos de los últimos años del proyecto Ecolake (Gil-Delgado *et al.*, 2016), con densidades generalmente inferiores a 200 individuos y una riqueza de especies moderada (en torno a 5), entre las que destacan el ánade real *(Anas platyrhynchos)*, el cuchara común *(Anas clypeata)* y la focha común *(Fulica atra)*, esta última menos abundante.

Biodiversidad microbiana y del plancton

Hasta el proyecto Ecolake se carecía de cualquier estudio sobre la composición de la comunidad de fitoplancton. La investigación realizada en dicho proyecto, mediante una monitorización continua de los



pigmentos fotosintéticos biomarcadores, ha puesto de manifiesto cómo los episodios de mayor desarrollo algal están asociados a la presencia de algas clorofíceas.

En cuanto a la comunidad de invertebrados, en un análisis del banco de huevos de resistencia de sedimentos de distintas lagunas del Campo de Calatrava, en los de este humedal se describe la eclosión de distintos microcrustáceos, como los branquiópodos *Pleuroxus denticulatus, Ceriodaphnia reticulata, Daphnia cucullata, Diaphanosoma brachyurum, Diaphanosoma mongolianum y Latona setifera* (Fernández *et al.*, 2009). No se observó, por el contrario, la eclosión de copépodos, anostráceos u ostrácodos, aunque en un estudio sobre la metacomunidad actual de ostrácodos en lagunas de la región, Castillo-Escrivà *et al.* (2015) detectaron en la de Almodóvar la presencia de *Ilyocypris gibba, Sarscypridopsis* sp. y *Limnocythere inopinata*, esta última sólo encontrada en ella. También Castillo-Escrivà *et al.* (2017) determinan una moderada riqueza en ostrácodos, con un total de 10 especies durante el ciclo hidrológico, dato peculiar frente a otros humedales.



Figura 17.3. Laguna de Almodóvar a inicios del periodo estival, antes de secarse completamente (C. Rochera)

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos más destacables que presenta esta laguna son:

- Servicios de abastecimiento: materias primas de origen mineral, acervo genético.
- Servicios de regulación: climática, hídrica y de ciclos biogeoquímicos.
- Servicios culturales: conocimiento científico, identidad cultural, disfrute estético, ecoturismo, educación ambiental.

Estado ecológico e impactos

Casado y Montes (1995) mencionan el estado de degradación lagunar por la presencia de huertas y basureros, así como por la explotación de rocas volcánicas. En este sentido, es obligado tener en cuenta que el humedal se encuentra en una zona de elevada intensidad extractiva (González, 1991), circunstancia también resaltada en informes de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

En cuanto a la hidroquímica de nutrientes, distintos trabajos (Gosálvez, 2011; Corrales, 2014) y publicaciones científicas (Angeler *et al.*, 2008; Fernández *et al.*, 2009) describen la elevada concentración de fósforo disuelto en agua, con niveles generalmente en el rango de hipereutrofía (sensu OCDE, 1982), diferenciándola de otras lagunas volcánicas. Los continuos muestreos del proyecto Ecolake constatan este hecho y muestran su influencia sobre la proliferación de la biomasa algal. Al no existir un aporte externo de fósforo, como en otros ecosistemas con vertidos de aguas residuales, es posible que la hidroquímica promueva la liberación de fósforo existente en el propio sedimento (Corrales, 2014), lo que explicaría la modificación del equilibrio entre las fracciones disueltas y las químicamente precipitadas de este nutriente.

En la actualidad, el entorno alcanza un gran valor natural y paisajístico en el que confluyen, por un lado, la laguna volcánica como elemento geomorfológico y sus valores bióticos asociados y, por otro, los cultivos hortícolas y la acumulación de edificaciones de carácter industrial vinculadas a la cantera, así como la propia actividad extractiva, extraordinariamente agresiva, que utiliza los márgenes de la zona inundable como escombrera impidiendo el desarrollo de la vegetación.



Figura 17.4. La laguna de Almodóvar da nombre y forma parte de la historia de su municipio (J. de la Fuente)

Valores históricos y culturales

Historia

La laguna es una de las señas de identidad del municipio (figura 17.4) y está en el origen de su denominación. El término almodóvar procede de vocablos árabes, tal y como se detalla en las Relaciones Topográficas de Felipe II del año 1575: *"El nombre del pueblo que aqui se describe y de quien esta relacion se hace se llama Almodovar del Campo… y segun fuemos informados de la lengua arabiga se dice Almodovar de Alni o Alnie, que quiere decir del agua y dovar que significa sitio o lugar redondo, porque muy cerca de la dicha villa al pie del castillo y fortaleza della esta una laguna de agua muy redonda de cuyo principio no se tiene memoria y es cierto ser mucho mas antigua que la fundacion del pueblo…*". En este sentido, el Diccionario de Madoz (1846-1850) hace referencia al origen del nombre propio del lugar: *"Esta villa cuyo nombre árabe Almodóvar equivale á esférico ó redondo, al que posteriormente se unió el distintivo del Campo por haber otros pueblos con la misma denominación"*.



Figura 17.5. Escudo heráldico de Almodóvar del Campo (Fondo documental del armorial municipal de la provincia de Ciudad Real)

El paraje lagunar también va unido a la historia de su desaparecido castillo, representado en el escudo heráldico del municipio que, con una configuración acuartelada, constituye el símbolo gráfico y la expresión de su identidad (figura 17.5).

Según Melero (2003), la población estratégica se origina en el siglo VIII al disponerse un castillo islámico junto al camino Real de Toledo a Córdoba, consolidado durante esta época como un bastión defensivo y de aprovisionamiento. Conquistado varias veces por musulmanes y cristianos, la fortaleza fue tomada definitivamente por estos últimos en 1212, a raíz de la batalla de las Navas de Tolosa, bajo el mando de Alfonso VIII de Castilla, quien lo entregó a la Orden de Calatrava.

En los mapas topográficos del siglo XIX el castillo ya no aparece representado (figura 17.6) y hacia 1970 únicamente quedaba la entrada al aljibe y la parte de la cimentación de la muralla, que resistió hasta casi 1990. En la actualidad no quedan vestigios de la fortificación y en su lugar se encuentran las ruinas de un antiguo molino de viento del siglo XVIII.

Usos tradicionales de la laguna

Durante siglos, el agua de la laguna ha sido empleada por los almodoveños para diferentes usos: terapéutico, aséptico, riego y consumo doméstico. Así, se disponen de referencias del siglo XVI en las Relaciones Topográficas de Felipe II: *"Este pueblo tiene agua suficiente y abundosa para beber y el hay pozos e aguas dulces, en el sitio más alto que dicen de la Cuesta y hay allí más agua y más dulce que en lo llano de la villa y en medio de ella hay una fuente de piedra labrada muy antigua que llaman la Fuente de la Villa, común a todos, la cual emana y procede de la Laguna, la cual está a la falda y caída del dicho castillo y suele estar llena de agua salobre la mayor parte del año"*.

En su Diccionario, Pascual Madoz (1846-1850) cita el riego: *"…a la espalda del castillo una laguna que se destina con otra infinidad de pozos y norias para el riego de huertas"*.

Josefina Martínez Martín, de 88 años y vecina del municipio, también recuerda el carácter terapéutico y antiséptico del agua de la laguna: *"…después de la Guerra Civil había muchas necesidades y muy poca higiene y en el pueblo hubo una epidemia de picores y de sarna. Para remediar esta situación, la gente iba a la laguna porque decían que con su agua se curaban esos picores y las heridas de la piel"*. Josefina también rememora su cualidad aséptica: *"en la laguna se lavaba la ropa de los muertos y de los enfermos porque allí se desinfectaba todo"*.

Espacio de recreo

Durante años, el agua almacenada en el vaso lagunar también posibilitó su uso como zona de baño y espacio de recreo, ya que dispuso de embarcadero y facilitó el paseo en pequeños botes (García-Miguillán *et al.*, 1995) (figura 17.7).



Figura 17.7. La laguna de Almodóvar fue un lugar de recreo que contaba con pequeñas barcas. Año 1925 (J. Pérez-Serrano)

Cuevas y galerías en la roca

El informe del sacerdote Cándelo López Serrano (1978) describe cómo en el flanco oeste del extinguido cráter se encontraban «Las Cavas» o cuevas excavadas en el edificio volcánico: *"son salas-habitaciones, que sirvieron de vivienda a gente pobre o gitana, que se quedaba a vivir en Almodóvar. Y en las laderas del cono Norte, también se hicieron estas perforaciones, donde se llegaron a excavar grandes galerías, de tal manera que sirvieron de polvorín de la Aviación durante la Guerra Civil de 1936…"*.

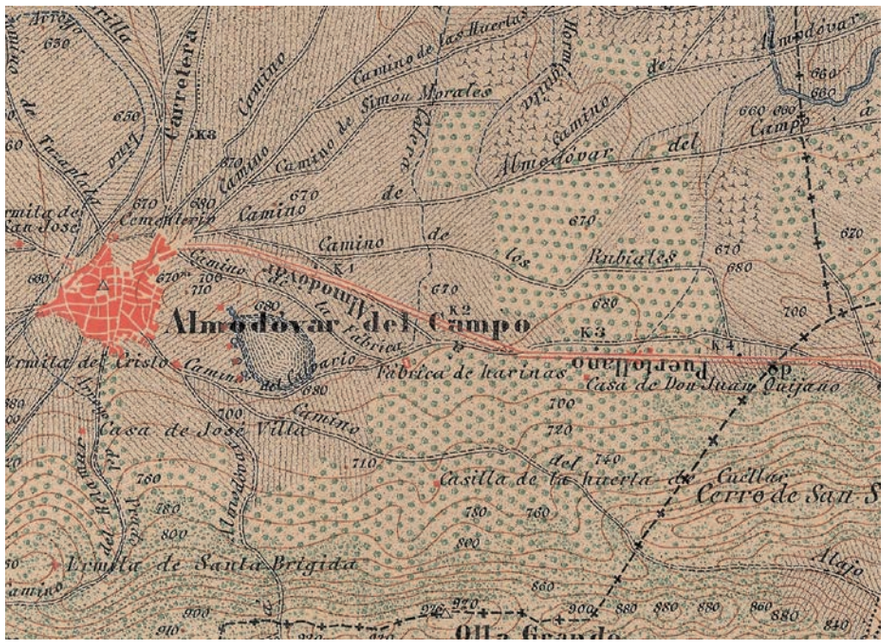
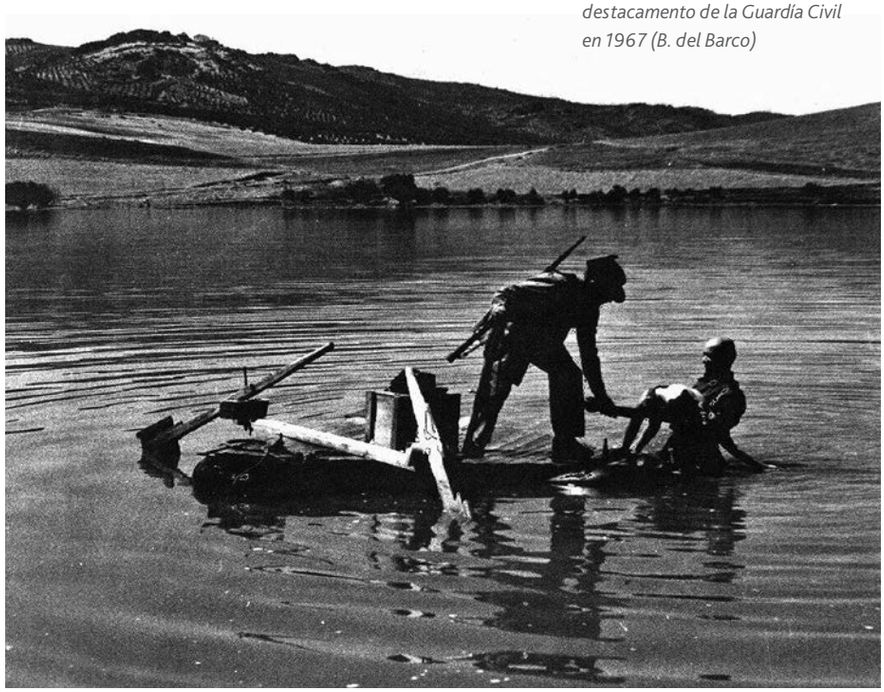


Figura 17.6. Detalle de la Hoja Topográfica 810 a escala 1:50.000, año 1888, con asentamientos alrededor de la laguna, sin constancia del castillo (Instituto Geográfico y Estadístico. Cartoteca del IGN)

Sobre este asunto, Josefina Martínez menciona: *"en las cuevas próximas a la laguna se encontraba El Polvorín, donde vivía la familia Criado, que se hizo durante la guerra y, creo, era del ejército del aire. Además, en esta zona también se construyeron, antes del destacamento* (figura 17.8) *las casas que llamaban baratas"*.

Figura 17.8. Curso de socorrismo en la laguna de Almodóvar dirigido por el destacamento de la Guardia Civil en 1967 (B. del Barco)



CONTEXTO SOCIOECONÓMICO

El término municipal de Almodóvar del Campo se extiende sobre una superficie de 1.208,27 km^2 y cuenta con una población de 6.582 habitantes (INE, 2014), lo que supone una densidad de 5,45 hab/km^2 (figura 17.9).

En cuanto al nivel de estudios entre los habitantes mayores de 16 años (tabla 17.5), predomina el segundo grado (45,4%), seguido a distancia por el grupo de las personas que carecen de ellos, así como de las que lograron alcanzar el primer grado y de las que tienen el tercer grado (18,2%, 16,0% y 13,4% respectivamente). El grupo minoritario, 7% restante, lo constituyen los analfabetos.

Tabla 17.5. Nivel de estudios (Censo de Población y Vivienda 2011. INE)

NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	**%**
Analfabetos	381	*7,0*
Sin estudios	996	*18,2*
1er Grado	876	*16,0*
2º Grado	2.485	*45,4*
3er Grado	734	*13,4*
TOTAL	**5.472**	***100***

La actividad económica se sostiene en dos pilares (tabla 17.6), el sector servicios y la agricultura, el primero con el 53,7% de empresas y segundo con el 36,5%. El 9,8% corresponde a la industria (5,1%) y la construcción (4,7%). En consecuencia, los trabajadores más numerosos son los afiliados al sector servicios, con un 48,1%, seguidos por la construcción, con un 27,5%, mientras que los afiliados a la agricultura y al sector industrial son minoritarios con un 15,1% y 9,3%, respectivamente.

Tabla 17.6. Empresas y afiliación en Almodóvar del Campo (Tesorería General de la Seguridad Social 2014)

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	**%**	**Nº de empresas**	**%**
Agricultura	201	*15,1*	78	*36,5*
Industria	124	*9,3*	11	*5,1*
Construcción	365	*27,5*	10	*4,7*
Servicios	639	*48,1*	115	*53,7*
TOTAL	**1.329**	***100***	**214**	***100***

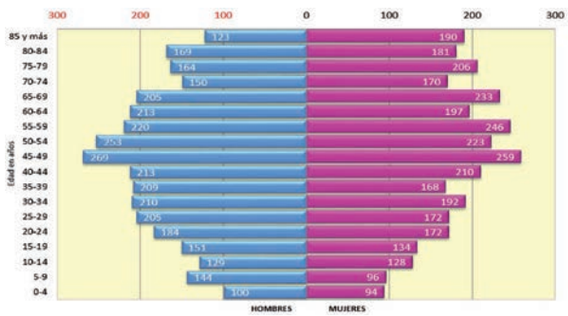


Figura 17.9. Pirámide (izquierda) y Grupos de población de Almodóvar del Campo (derecha) (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha 2014. Padrón Municipal de Habitantes a 1 de enero 2014. Instituto Nacional de Estadística, INE)

La evolución ocupacional entre 2009 y 2014 (tabla 17.7) registra un ascenso progresivo, algo atenuado en 2011 y con una ligera mejora en el último año de la serie.

AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nº de parados	423	517	524	631	768	735

Tabla 17.7. Desempleados (Paro municipal registrado. SPEE)

En cuanto a la explotación agraria (tabla 17.8), resulta bastante variada, con un 46,0% de forestal y otras tierras, un 28,4% de pastos y un 25,6% de parcelas de labor en las que predominan los cultivos herbáceos y el olivar.

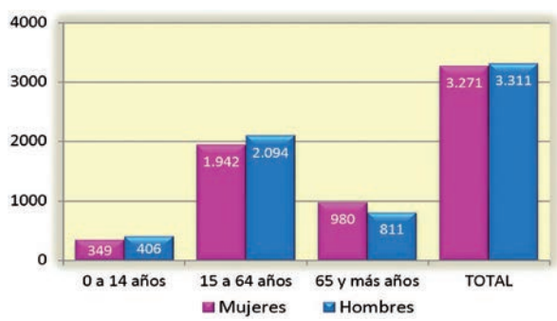
EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		**%**	
Labradas	Herbáceos	22.734	18.621	*25,6*	*81,9*
	Frutales		33		*0,1*
	Olivares		3.795		*16,7*
	Viñedos		285		*1,3*
Pastos		25.235		*28,4*	
Otras		40.907		*46,0*	
TOTAL		**88.876**		***100***	

Tabla 17.8. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2009, INE)

La cabaña ganadera se reparte casi en su totalidad, y en este orden, entre la ovina, la porcina y la bovina, con un 62,7%, 19,8% y 13,8%, respectivamente (tabla 17.9).

CABEZAS DE GANADO		
	Nº de cabezas	**%**
Bovinos	16.410	*13,8*
Ovinos	74.695	*62,7*
Caprinos	3.835	*3,2*
Porcinos	23.584	*19,8*
Aves	432	*0,3*
Equinos	222	*0,2*
TOTAL	**119.178**	***100***

Tabla 17.9. Cabezas de ganado (Censo Agrario 2009, INE)



Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna de Almodóvar constituye una zona endorreica muy próxima al límite sur de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, del que dista tan sólo 2 km. Al norte queda flanqueada por la cuenca del arroyo de Tirteafuera y al este por la del Lino, cuyo curso, después de atravesar el núcleo urbano de Almodóvar del Campo, se une al arroyo de Almodóvar por su margen derecha.

La extensión de este sistema hidrológico es muy reducida, con apenas 165,8 ha localizadas casi en su totalidad en el término municipal de Almodóvar del Campo. Sólo su extremo meridional pertenece al vecino municipio de Puertollano.

En la propia laguna desemboca el arroyo de La Pedriza, de carácter estacional. Se trata de un curso de agua con una longitud de 1,8 km que discurre de sur a norte, desde el pie del cerro tesorillo en las estribaciones de la sierra Decarada de la Santa, y aporta sus aguas directamente al humedal.

La cuenca es relativamente abrupta y su morfología se asemeja a la de un reloj de arena, con un pronunciado estrechamiento en su parte central y con un eje inclinado en dirección noreste-suroeste. Los relieves más escarpados y elevados se localizan en la mitad meridional, con una altitud máxima de 936,2 m s.n.m., y los más bajos en la septentrional donde se ubica el vaso de la laguna, cuyo fondo se encuentra a 669,8 m s.n.m. Por tanto, la diferencia entre las cotas máxima y mínima es de 266,4 m y la altitud media de 765,1 m s.n.m.

Coherente con el modelo topográfico descrito, las pendientes son mayores en el sur y tienden a suavizarse hacia el norte en dirección a la zona inundable, siendo la pendiente media para el conjunto del área vertiente de 17,9%. La morfología del vaso lagunar es redondeada y la superficie de máximo encharcamiento es de 20,1 ha, por lo que la cuenca hidrológica es unas 8 veces mayor que la de la propia laguna (figura 17.10).

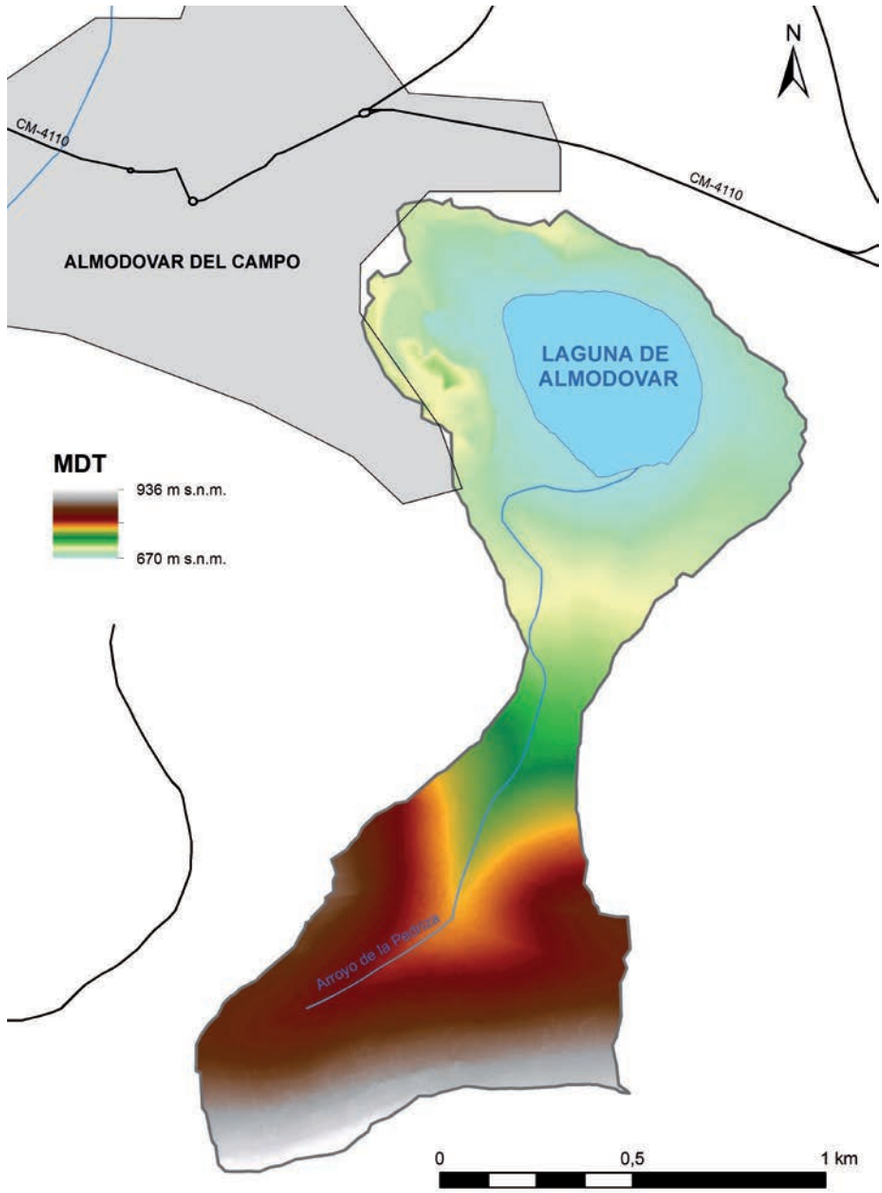


Figura 17.10. Cuenca hidrológica de la laguna de Almodóvar

Geología

Los materiales aflorantes en la cuenca hidrológica de la laguna de Almodóvar tienen un comportamiento geológico/hidrogeológico característico y diferente entre sí por su composición, origen y desarrollo espacial. También existe una acusada diferencia de edad entre las formaciones que integran dichos materiales, con sedimentos que van desde el Precámbrico hasta la actualidad (figura 17.11), pero en los que están ausentes las formaciones mesozoicas.

En cuanto a las características hidrogeológicas de los materiales aflorantes, el predominio se lo anotan los considerados de permeabilidad media (Tipología B: 89%), entre los que se encuentran los conglomerados, areniscas, pizarras y grauvacas del Precámbrico-Cámbrico, las cuarcitas armoricanas, conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras del Ordovícico, las rocas volcánicas, piroclastos, cenizas y bloques del Mioceno superior-Pleistoceno inferior y los conglomerados, arenas, arcillas y gravas del Pliocuaternario. El 11% restante corresponden a los actuales sedimentos de limos y

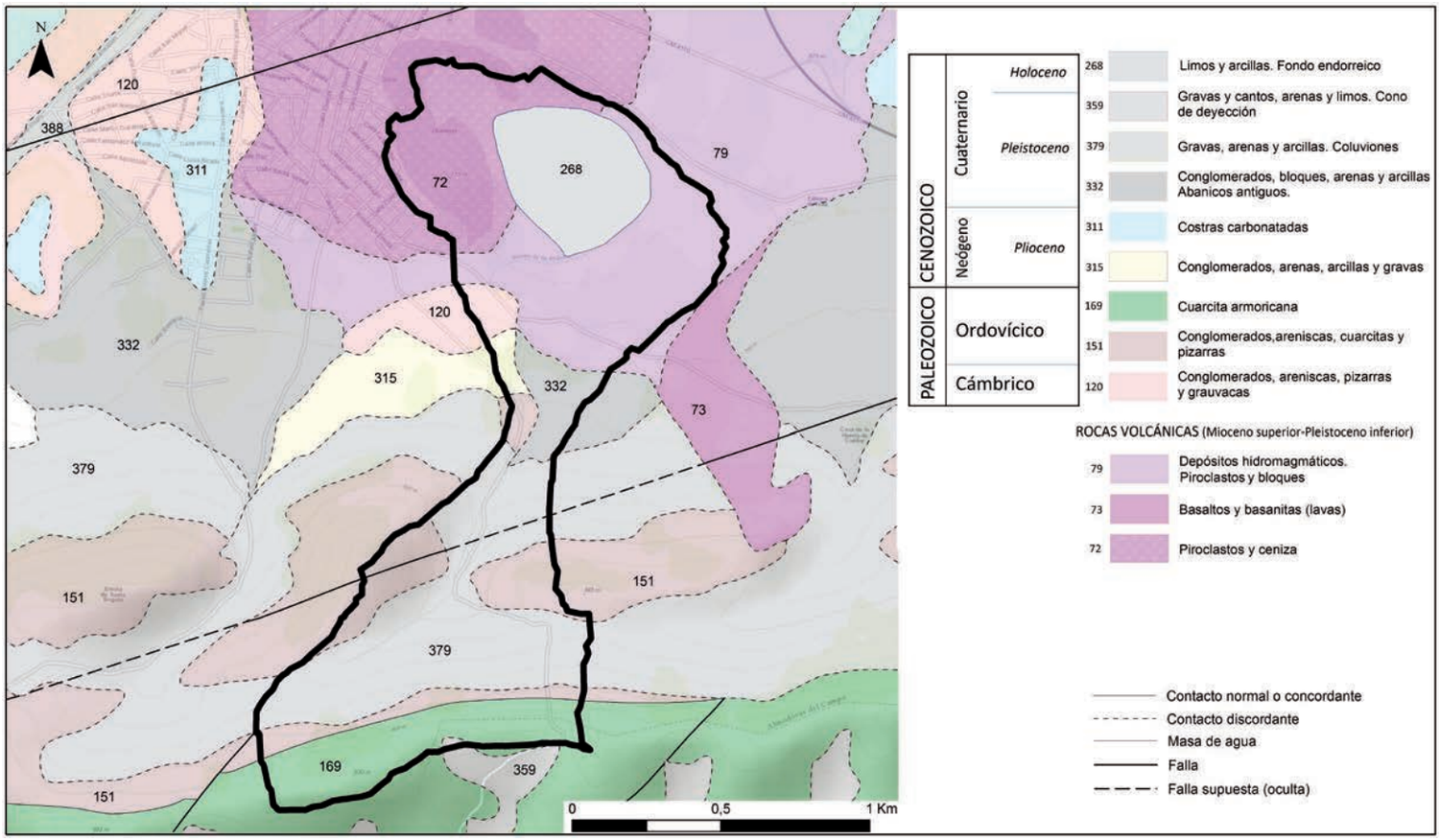


Figura 17.11. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de Almodóvar (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Camuñas y N. García Bravo)

arcillas del fondo endorreico (tabla 17.10), a los que se les atribuye una baja permeabilidad (Tipología C).

Desde un punto de vista geológico, el área queda enmarcada en la zona volcánica del Campo de Calatrava. Como se ha comentado, los materiales más antiguos son de edad precámbrica-cámbrica y afloran al noroeste de la cuenca. Consiste en un potente paquete pelítico-grauváquico y detrítico-carbonático cuya litología está compuesta por pizarras masivas de color verde azulado con intercalaciones de grauvacas, así como por bancos de cuarcitas y niveles conglomeráticos poligénicos con cantos angulosos y heterométricos de material pizarroso.

En orden cronológico le siguen los materiales del Ordovícico, dispuestos de forma discordante sobre los anteriores. Se trata de la denominada serie púrpura, compuesta por varias secuencias de carácter detrítico integradas por conglomerados de base erosiva y cantos redondeados sobre los que se dispone una alternancia de pizarras, areniscas y cuarcitas. Este conjunto configura las faldas de las sierras, aunque tiene cierta dificultad para aflorar al estar en gran parte recubierto por derrubios de edad reciente.

En las zonas más elevadas afloran las cuarcitas armoricanas, de tonos blanquecinos y en estratos de orden

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS

FORMACIÓN GEOLÓGICA	Edad	Tipología	%
Conglomerados, areniscas, pizarras y grauvacas	Precámbrico-Cámbrico	B	
Conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras	Ordovícico	B	
Cuarcita armoricana	Ordovícico	B	89
Piroclastos, cenizas y bloques	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	B	
Conglomerados, arenas, arcillas y gravas	Pliocuaternario	B	
Limos y arcillas	Cuaternario	C	11

Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)

Tabla 17.10. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de Almodóvar

métrico, sedimentadas en un medio de barras submareales. La erosión de esta formación es la responsable de los coluviones que recubren las laderas de las sierras y dificultan la observación de las formaciones subyacentes. Estos últimos depósitos son de edad pliocuaternaria y están compuestos por cantos y gravas angulosas de cuarcitas y pizarras.

No obstante, los materiales más característicos y de mayor relevancia para explicar la formación de la laguna responden a un origen volcánico. El vulcanismo del Campo de Calatrava, acaecido entre el Mioceno superior y el Pleistoceno inferior, dio lugar a la aparición de fenómenos eruptivos estrombolianos e hidromagmáticos, o a una mezcla de ambos. Estos procesos formaron conos de piroclastos, cenizas y coladas, así como *maares* de formas redondeadas.

La laguna de Almodóvar y su zona endorreica está asociada al edificio volcánico constituido por un cráter explosivo que ha dado lugar a una estructura tipo *maar*. Dicha estructura queda rodeada, salvo en su extremo noroeste, por depósitos hidromagmáticos, piroclastos y bloques del llamado volcán del Cerro de los Molinos, sobre el que se asienta gran parte del núcleo urbano de Almodóvar del Campo. Como ya se ha referido en otros apartados, la morfología cónica de piroclastos y cenizas ha sido fuertemente modificada por la actividad minera que los explota para áridos y puzolanas.

Por último, el fondo de la cubeta lagunar está recubierto por depósitos del Holoceno integrados por limos y arcillas de tonos grisáceos, con algún canto disperso procedente de la denudación y erosión de los relieves circundantes.

Hidrogeología

Como se ha comentado en los apartados anteriores, la laguna de Almodóvar responde a la tipología de humedales generados por la actividad volcánica, y, por tanto, relacionados con estructuras de tipo maar, ocupando el fondo del cráter creado por la acumulación de rocas extrusivas. En consecuencia, sus cuencas vertientes son de escasas dimensiones y suelen tener relación, aunque reducida, con las aguas subterráneas debido a la media-baja permeabilidad de la que disponen este tipo de depósitos (figura 17.12).

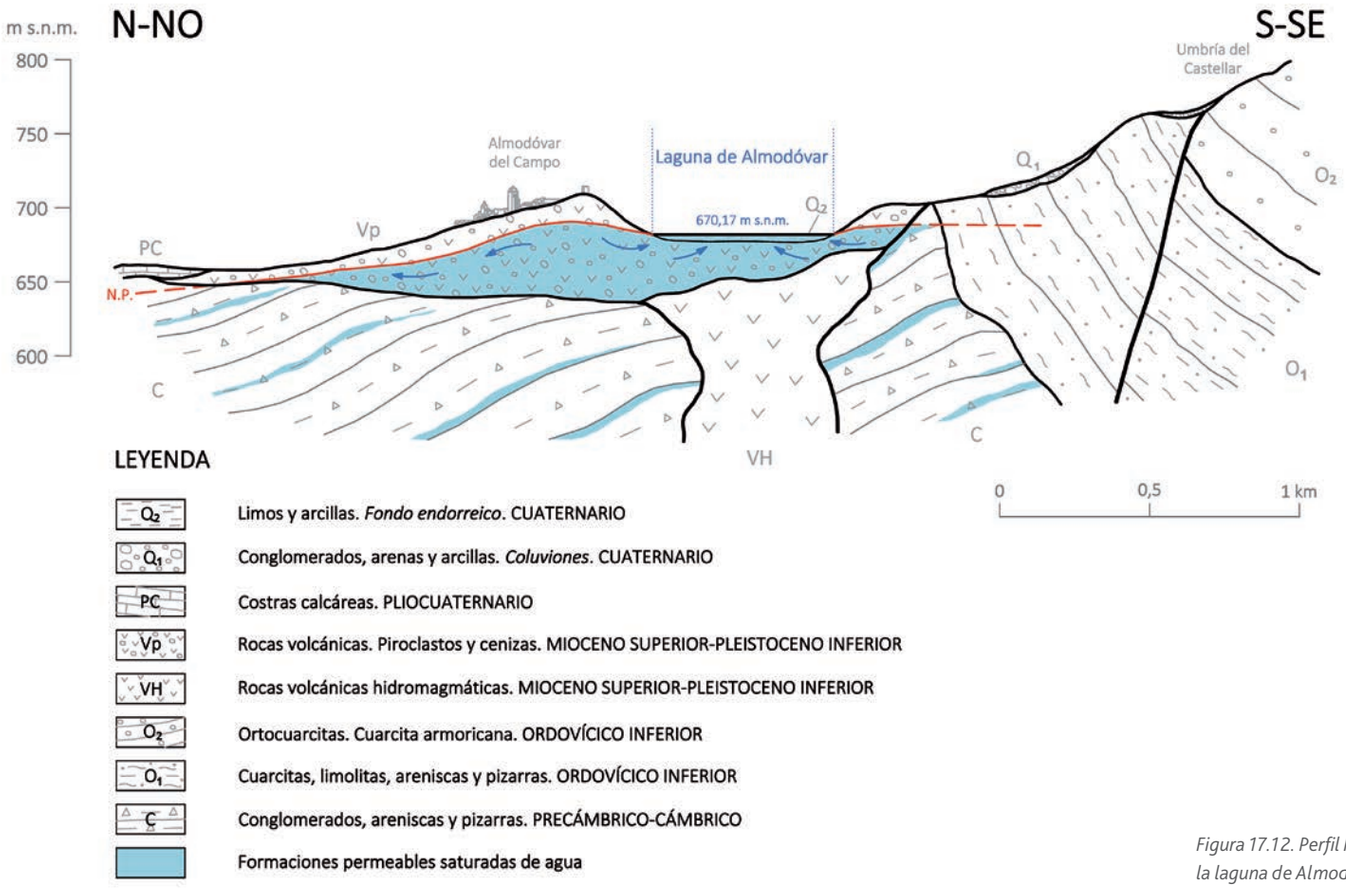


Figura 17.12. Perfil hidrogeológico de la laguna de Almodóvar

La formación con un mejor comportamiento hidrodinámico corresponde a las cuarcitas armoricanas (O2) que adquieren una permeabilidad media por fisuración y porosidad, y aparecen en el extremo meridional de la cuenca según una franja de dirección este-oeste, donde alcanzan un espesor superior a los 300 m. Sin embargo, la disposición geológica de esta formación, con buzamiento hacia sur y yacente sobre la secuencia púrpura integrada por una alternancia de tramos permeables e impermeables (O1), impiden la relación hídrica con el humedal.

Por su parte, la cubeta de la laguna se encuentra sobre depósitos piroclásticos y de cenizas volcánicas (Vp) que disponen de una permeabilidad media-baja y constituyen una pequeña estructura acuífera captada por algunos pozos y sondeos del entorno. Dicha estructura drena en parte hacia el humedal y le aporta un volumen de agua suficiente con el que mantener, junto con otro tipo de aportes, una delgada lámina de agua durante una buena parte del año.

Es de resaltar que bajo una parte de los materiales volcánicos se encuentra la secuencia sedimentaria de conglomerados, areniscas y pizarras de edad Precámbrico-Cámbrico (C). Esta formación alberga tramos con permeabilidad media, pero su disposición en bandas alternantes dificulta la relación hídrica con los depósitos volcánicos suprayacentes.

El resto de las formaciones de la cuenca, pertenecientes al Plioceno (Pc) y al Cuaternario (Q1), aunque puntualmente pueden presentar litologías con alguna permeabilidad, son de escaso espesor y carecen de relevancia hidrogeológica. Al igual sucede con las rocas hidromagmáticas (VH) que componen la chimenea del aparato volcánico cuya permeabilidad es baja a muy baja.

Coherente con lo expuesto en las líneas anteriores, el funcionamiento hidrogeológico en la zona viene determinado por la estructura acuífera instalada en los sedimentos de piroclastos y cenizas volcánicas, materiales que permiten la existencia de un pequeño flujo subterráneo en las inmediaciones de la laguna y en dirección hacia ella (figura 17.13).

La calidad de las aguas subterráneas es buena, con una conductividad eléctrica (CE) entre 680 y 990 µS/cm. Estos valores contrastan con los registrados en la laguna, mucho más elevados (CE: 5.000 a 20.000 µS/cm, máximo: 116.000 µS/cm), atribuidos a los procesos de evaporación y de concentración de sales.



Figura 17.13. Mapa piezométrico (m s.n.m.) y sentido del flujo subterráneo. Noviembre de 2014 (IGN)

Hidroquímica

El análisis de la muestra de agua tomada en la zona inundada (noviembre 2014), en el marco del proyecto Ecolake, arroja una CE cercana a los 49.300 µS/cm, extremadamente elevada respecto a las aguas subterráneas (680 a 990 µS/cm), y un pH de 10,15, también muy superior al de los pozos cercanos, que es de 8,15.

De igual manera, los aniones mayoritarios son mucho más altos en la laguna que en las aguas subterráneas, con las diferencias más notables en cloruros y sulfatos. Para la primera se obtienen 12.816 mg/L en cloruros y 4.639 mg/L en sulfatos, mientras que para las segundas los cloruros oscilan entre 102 y 144 mg/L y los sulfatos entre 45 y 89 mg/L. El catión sodio se mantiene en proporciones similares a los aniones, esto es, en cantidades muy elevadas en la laguna frente a las registradas en las aguas subterráneas.

En cuanto a la facies hidroquímica, el agua almacenada en la cubeta es predominantemente clorurada sódica (figura 17.14), mientras en las aguas subterráneas existe mayor diversidad, con diferencias en las muestras de 2014 frente a las de 2016. Los cambios, concretados en un aumento del anión bicarbonato en detrimento de cloruros y sulfatos, así como de los cationes sodio y calcio, dan lugar a que la facies hidroquímica pase de clorurada magnésica en 2014 a bicarbonatada sódico-cálcica en 2016 (figura 17.15).

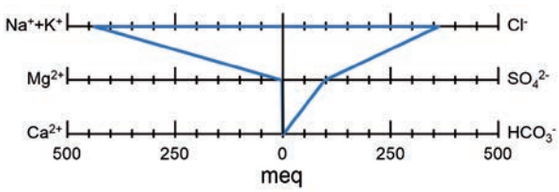


Figura 17.14. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna de Almodóvar. Fecha de análisis 27/11/2014

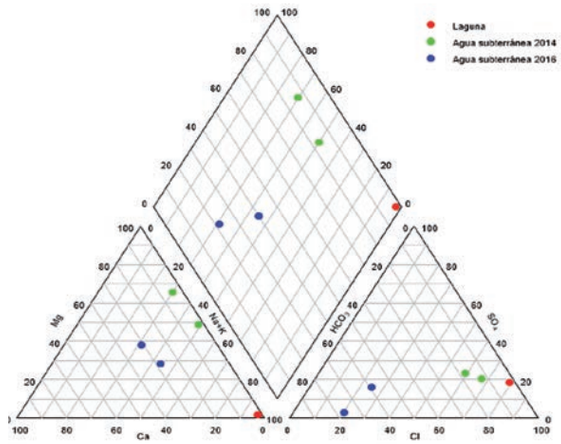


Figura 17.15. Diagrama de Piper-Hill-Langelier de la muestra de la laguna y su entorno

La comparativa entre los principales parámetros del agua del humedal y los recogidos en el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, se expone en la tabla 17.11.

La CE en el agua de la laguna para el periodo de control (enero de 2013 a septiembre de 2014) arroja valores medios del orden de 12.500 µS/cm, con valores más bajos desde el inicio de la serie hasta abril de 2014 en los que oscila entre 5.990 y 14.700 µS/cm. A partir de mayo de 2014 sufre un aumento importante (19.000 µS/cm) que se prolonga en los meses siguientes hasta alcanzar los 116.000 µS/cm, valor máximo, en septiembre de 2014 (figura 17.16).

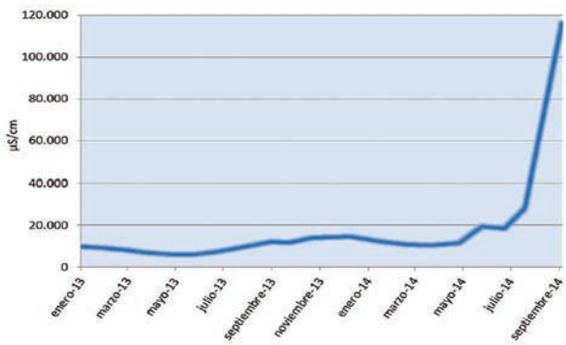


Figura 17.16. Evolución de la conductividad eléctrica en la laguna de Almodóvar entre enero de 2013 y septiembre de 2014

	Fecha de análisis			27/11/2014	Valores paramétricos fijados en el R.D. 140/2003
	Parámetro	Símbolo	Unidad	VALOR DE LA ANALÍTICA	
				Laguna	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	144,0	10
	Boro	B	mg/L	4,331	1
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	12.816	250
	Conductividad	CE	µS/cm	49.300	2.500
	Manganeso	Mn	µg/L	15,9	50
	pH	-	Ud de pH	10,15	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	10.018	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	4.639	250

Tabla 17.11. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

La laguna de Almodóvar, como es frecuente en este tipo de ecosistemas mesetarios, constituye una zona húmeda muy somera y de carácter temporal que alberga una delgada lámina de agua permanente durante los años con elevada pluviometría, pero que en años de precipitación media desaparece al llegar la temporada estival.

Su funcionamiento hidrológico está condicionado por las manifestaciones volcánicas que tuvieron lugar a lo largo de la última parte del Terciario en el Campo de Calatrava, con la formación de cráteres volcánicos y zonas endorreicas que permitieron la creación de pequeñas lagunas. Debido a su origen, el área vertiente de estos elementos geomorfológicos es de reducidas dimensiones, por lo que las lagunas necesitan de la contribución de las aguas subterráneas para su supervivencia. Esta circunstancia también viene propiciada por la moderada permeabilidad de la que disponen las rocas piroclásticas y las cenizas volcánicas.

Lo referido en las líneas anteriores se cumple en el caso de la laguna de Almodóvar, con una cuenca hidrológica de pequeña extensión que implica un escaso aporte de aguas procedentes de la escorrentía superficial. En consecuencia, su alimentación se debe esencialmente a los aportes de aguas subterráneas procedentes del acuífero constituido por materiales volcánicos, a la precipitación directa del agua de lluvia y, en menor medida, a la escorrentía superficial. El conjunto de todos estos aportes es drenado por la evaporación generada en la lámina de agua libre del ecosistema.

Balance hídrico

Al igual que en el resto de las lagunas, el balance hídrico de la de Almodóvar se ha obtenido mediante la aplicación de la metodología desarrollada en el proyecto Ecolake basada en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua a su vaso. Como se ha indicado en el apartado anterior, las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada existente en cada momento (máxima 20,1 ha), a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (165,8 ha) y a los aportes difusos de aguas subterráneas. Por su parte, las salidas son debidas únicamente a la evapotranspiración, limitada por el volumen de agua disponible.

El análisis geológico de la cuenca vertiente, según las distintas formaciones aflorantes, ha arrojado como resultado un suelo de tipo B (tabla 17.10). Por su parte, la pendiente media hallada ha sido del 17,9% (figura 17.17), es decir,

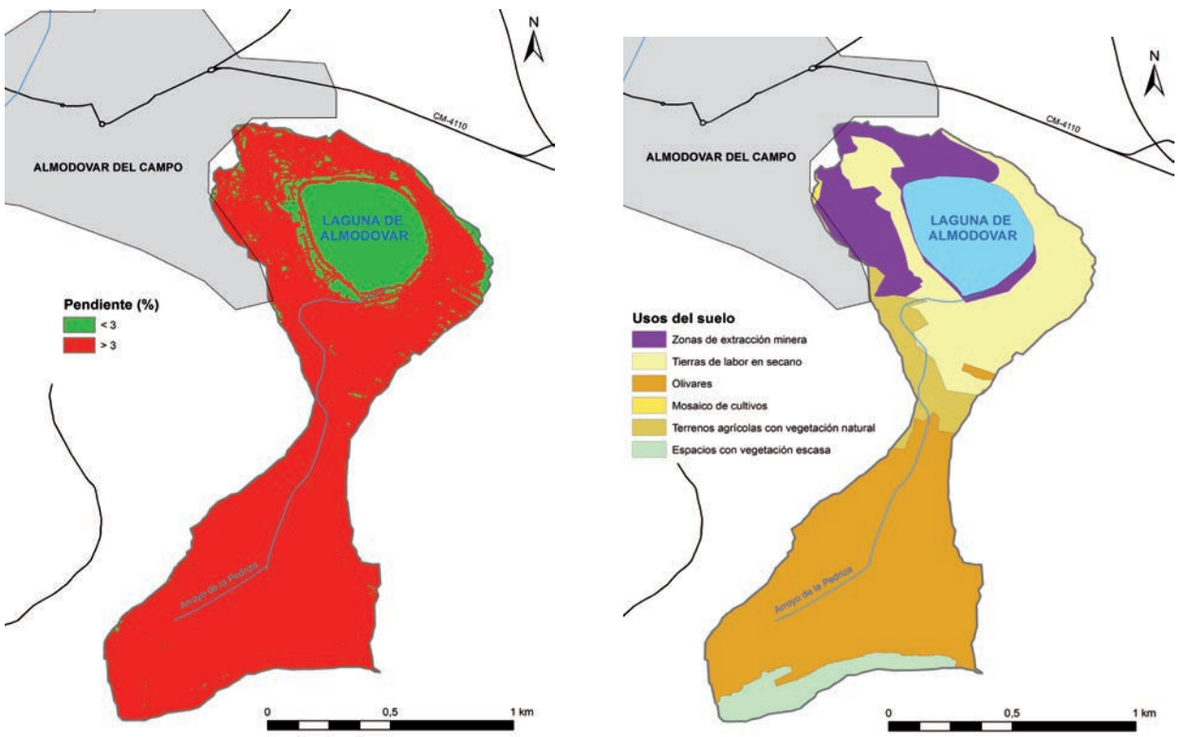


Figura 17.17. Cuenca hidrológica de la laguna de Almodóvar. Mapa de pendientes (izquierda) y Mapa de usos del suelo (derecha) (Corine Land Cover 2012)

superior al 3%, mientras que al uso de la tierra se la ha asignado la tipología de labor de secano con un porcentaje de ocupación superior al 50% (figura 17.17). Por último, la densidad de la vegetación se ha calificado como media-baja.

Los datos climáticos se han obtenido de la estación agroclimática CR04 Ciudad Real del SIAR, para el periodo del 1/10/2001 al 30/09/2016. El valor de evapotranspiración potencial disponible (ET_0) se ha multiplicado por un coeficiente de cultivo kc=1, escogido en este caso como más adecuado considerando la escasa presencia de vegetación macrófita en la cubeta, y para la determinación de la evaporación se ha tenido en cuenta la extensión de la lámina de agua de la laguna en cada momento.

Los umbrales usados para considerar una condición de humedad ARC *(Antecedent Runoff Condition)* 1, 2 o 3 han sido: 12,5 y 28 mm de lluvia acumulada en los últimos 5 días, para el periodo entre octubre y marzo, y 35,5 y 53 mm para el periodo entre abril y septiembre. El valor de número de curva elegido para condiciones medias ha sido CN II=35, que se corresponde con un valor de CN I=18 para condiciones de humedad baja y CN III=55 para condiciones de humedad alta. Esto supone unos valores umbral de escorrentía (P_0) medio de 94,34 mm, con un máximo de 235,64 mm y un mínimo de 43,05 mm para las condiciones ARC 2, 1 y 3, respectivamente (tabla 17.12).

Para la estimación de los aportes de aguas subterráneas se ha establecido una relación entre estos y la precipitación acumulada en la cuenca. Para ello se ha tenido en cuenta el retardo o tiempo de respuesta debida al lento movimiento del agua a través de las formaciones geológicas. En consecuencia, y para su cálculo, los aportes de aguas subterráneas se han considerado proporcionales a las precipitaciones ocurridas durante los 3 últimos meses. Esta relación se ha ajustado al coeficiente definido entre los volúmenes obtenidos en la simulación del balance hídrico y los estimados a partir de las lecturas limnimétricas del proyecto Ecolake (2012-2014). El valor arrojado para dicho coeficiente es de 0,12, es decir, el equivalente al 12% de la precipitación acumulada en la cuenca hidrológica.

La batimetría de la cubeta se ha obtenido del Modelo Digital del Terreno (MDT, tamaño de celda de 5 m) del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y, mediante su geoprocesamiento con herramientas SIG, se ha determinado el área de la laguna y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación con pasos de altura de 0,02 m. También se han obtenido y representado las relaciones altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen (figura 17.18).

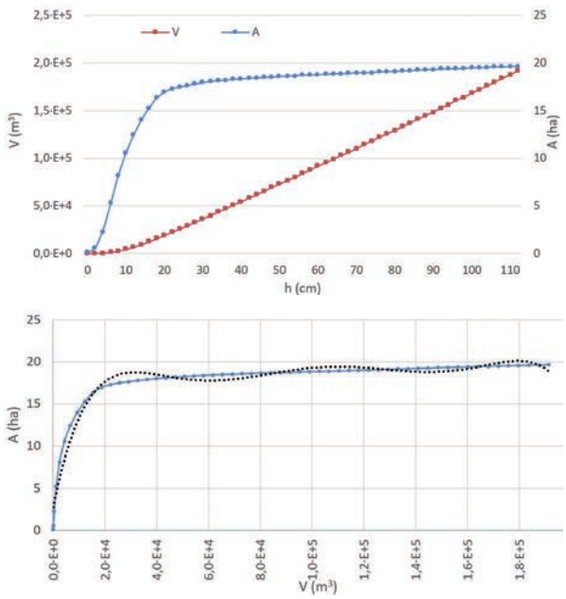


Figura 17.18. Laguna de Almodóvar. Arriba: relación entre altura de lámina de agua (h), volumen almacenado (V) y área inundada (A). Abajo: relación entre área inundada (A) y volumen almacenado (V)

Finalmente, los resultados de la simulación para al periodo Ecolake muestran unos niveles de agua bastante altos, especialmente en el año hidrológico 2012/13, con precipitaciones abundantes (578 mm), lo que permitió que la laguna mantuviese un pequeño nivel de inundación durante el verano de 2013. En el año hidrológico 2013/14, clasificado climatológicamente como seco (340 mm), los volúmenes acumulados fueron inferiores y el humedal llegó a secarse en el verano de 2014.

El balance hídrico medio anual obtenido para el mencionado periodo indica que las aguas subterráneas constituyen casi la mitad de los aportes, 98.070 m³ (48%), con una precipitación directa también muy relevante, 82.976 m³ (41%), mientras que la escorrentía superficial 21.310 m³ (11%) contribuye en mucha menor medida al mantenimiento del ecosistema. Por el lado opuesto, el volumen drenado por los procesos de evapotranspiración fue de 202.356 m³ (tabla 17.13).

Con los parámetros validados para el periodo de calibración se ha procedido a la determinación del

Parámetros NC						
Pendiente media (%)	Vegetación (Uso de la tierra)	Densidad vegetal de los cultivos	Tipo de suelo	P_0 (mm)		
				Seco	Medio	Saturado
> 3	> 50% Labor de secano	Media baja	B	235,64	94,34	43,05

Tabla 17.12. Cuenca de la laguna de Almodóvar. Parámetros utilizados para el cálculo de escorrentía superficial. Método del número de curva (USSCS)

Tabla 17.13. Balance hídrico de la laguna de Almodóvar. Periodo 2012-2014

Año hidrológico	ENTRADAS				SALIDAS	Variación de volumen (m^3)
	Precipitación directa (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aportes aguas subterráneas (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP directa (m^3/año)	
2012/13	104.464	28.810	129.353	262.626	215.799	46.827
2013/14	61.488	13.811	66.787	142.086	188.912	-46.827
Media periodo	82.976	21.310	98.070	202.356	202.356	0

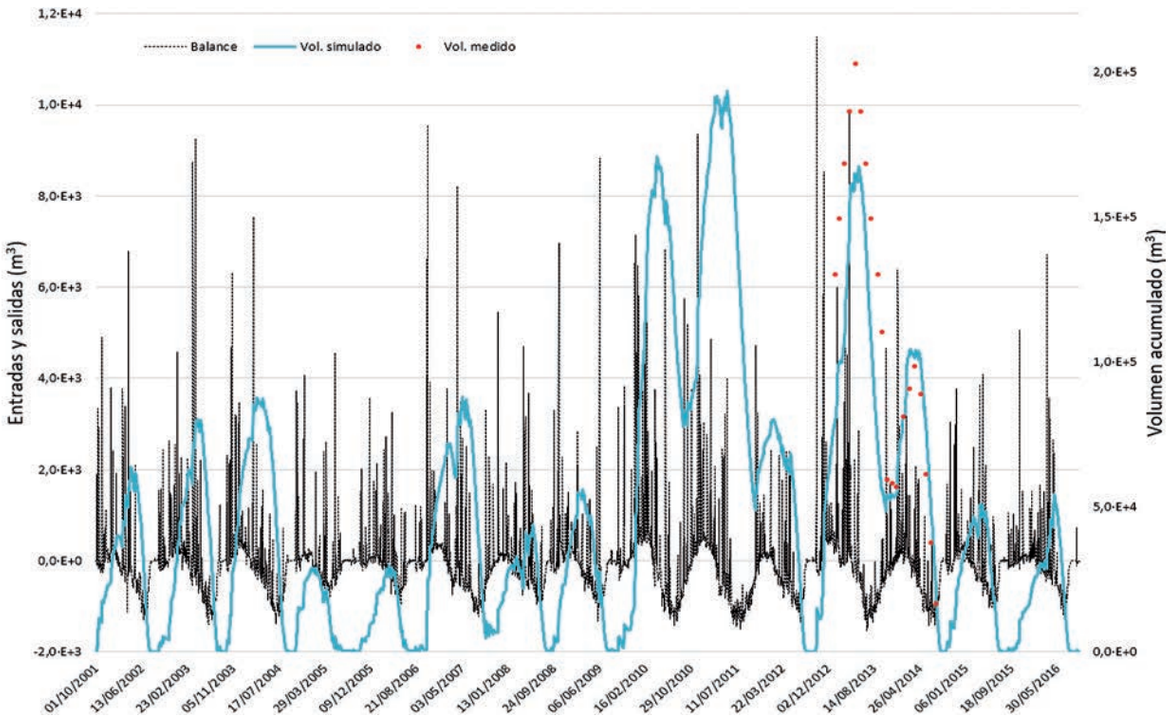


Figura 17.19. Simulación del balance hídrico para la laguna de Almodóvar. Periodo 1/10/2001 a 30/9/2016

balance hídrico hiperanual del humedal para un periodo de 15 años (2001/02 a 2015/16). En esta simulación se observa que el vaso lagunar suele secarse durante el verano, excepto en años especialmente húmedos en los que consigue mantener un nivel de llenado, como sucedió en los veranos de 2010, 2011 y 2013 (figura 17.19). El resto del año el volumen de agua depende en gran medida de las precipitaciones acumuladas en los últimos meses. Aun así, los resultados de la simulación muestran que la laguna mantiene una amplia lámina de agua durante la mayor parte del año, con un 84% del tiempo en el que la zona encharcada supera el 50% de su superficie total. La máxima inundación del periodo se alcanzó en el año hidrológico 2010/11 como resultado de la época excepcionalmente húmeda iniciada en diciembre de 2009.

El balance hídrico hiperanual (15 años) es similar al del periodo de calibración, con una contribución importante de las aguas subterráneas (82.220 m^3/año) y de la precipitación directa (72.772 m^3/año), que suponen el 48% y el 42%, respectivamente de la alimentación total, y una escorrentía superficial poco significativa, ya que apenas alcanza el 10%, con sólo 16.667 m^3/año (tabla 17.14). Por su parte, la evapotranspiración media es de 171.659 m^3/año.

Tabla 17.14. Balance hídrico hiperanual de la laguna de Almodóvar. Periodo 2001-2016

DATOS			ENTRADAS				SALIDAS
Precipitación media (mm)	Área de la cuenca (km^2)	Área media inundada (m^2)	Precipitación directa laguna (m^3/año)	Escorrentía (m^3/año)	Aportes aguas subterráneas (m^3/año)	Totales (m^3/año)	ETP directa laguna (m^3/año)
414,51	1,66	150.390	72.772	16.667	82.220	171.659	171.659

Evolución visual del territorio

En la mayoría de las poblaciones manchegas el desarrollo y crecimiento urbano evidencian su progreso económico y social. Este hecho se observa de una forma clara en el caso del municipio de Almodóvar del Campo, donde en los últimos 60 años (1957 a 2012) se constata una importante proliferación de edificaciones que de forma progresiva ocupan terrenos cada vez más próximos a la laguna (figura 17.20). Otro aspecto a destacar es la construcción de obras lineales que han mejorado sustancialmente las comunicaciones de la localidad.

Sin embargo, a nivel paisajístico lo más relevante es la huella dejada por la actividad extractiva del material volcánico que rodea el maar, especialmente intensa en su extremo noroccidental.

Las imágenes expuestas en las páginas que siguen (figuras 17.21 a 17.26) reflejan el origen volcánico de la laguna, con su característica forma semicircular y elíptica, y muestran el detalle de la explotación de rocas volcánicas existente en su sector norte. También pueden observarse los huertos con pozos de su flanco occidental y otras zonas marginales aprovechadas como vertederos improvisados.



Figura 17.20. Foto aérea comparativa de los años 1957 y 2012 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 17.21. Panorámica de la laguna de Almodóvar en noviembre de 2013 (B.J. Ballesteros)

Figura 17.22. Pozo cercano a la laguna (M. Mejías)



Figura 17.23. Periodo estival con acumulación de escombros en el perímetro (L.A. Carreño)









Figura 17.24. Humedal en abril de 2018 con el cerro del Tesorillo al fondo (C. Camuñas)

Figura 17.25. Fauna en época invernal (J. de la Fuente)





Figura 17.26. Panorámica desde el cerro de los Molinos con las extracciones volcánicas en primer plano (C. Camuñas)

Epílogo







EPÍLOGO

El análisis y estudio de las lagunas descritas ha puesto de manifiesto los importantes valores medio-ambientales, culturales y sociales que albergan, así como la gran proyección ambiental y turística que pueden tener en el futuro si las administraciones públicas con competencias para su conservación, y la sociedad en general, adoptan las medidas oportunas.

Con este libro se ha pretendido realzar dichos valores, de manera que constituyan una referencia a partir de la cual se pueda articular la adecuada gestión y mantenimiento de estos ecosistemas. Como se ha comentado, entre otros aspectos no menos relevantes, persigue que los trabajos científicos sean divulgados de manera que resulten accesibles a la población, especialmente a la más cercana que será, además, la más beneficiada.

Saber el porqué de la existencia de estos ecosistemas, comprender cómo fue su génesis y formación, de dónde procede el agua que contienen, cuál es su comportamiento estacional y su funcio-namiento hidrológico, conocer las características y relevancia de la flora y fauna que habita en ellos, descifrar su historia, los acontecimientos pasados y su repercusión sobre los asentamientos y pobladores del territorio, así como analizar la influencia que tuvieron en su desarrollo económico y social, es algo que ayudará a valorar estos espacios naturales como se merecen. Todo ello redundará en una mayor concienciación sobre su importancia e interés, y aportará argumentos sólidos y precisos con los que poder exigir su protección. Si lo conseguimos, las generaciones futuras nos lo agradecerán.

Estos han sido, y son, los últimos y verdaderos objetivos de esta publicación.

Referencias bibliográficas

AEMET e Instituto de Meteorología de Portugal. 2011. *Atlas Climático Ibérico*. Agencia Estatal de Meteorología (ed.), Madrid, 80 pp.

Aeroplano. 2004. *Revista de historia aeronáutica* (22). IHCA. Madrid, 16 pp.

AGS. 2016. Archivo General de Simancas. Secretaría y Superintendencia de Hacienda, legajos 100, 101, 2352, 2353, 2354.

Aguirre, D. 1973. *El Priorato de San Juan de Jerusalén en Consuegra, en 1769*. Patronato José María Cuadrado. CSIC, Toledo, 225 pp.

AHMASJ. 1933. Archivo Histórico Municipal de Alcázar de San Juan, Gobierno. Actas Municipales. Sesión de Pleno de julio de 1933.

AHMASJ. 1934. Archivo Histórico Municipal de Alcázar de San Juan, Gobierno. Actas Municipales. Sesión de Pleno de febrero de 1934.

AHMASJ. 1964. Archivo Histórico Municipal de Alcázar de San Juan, Gobierno. Actas Municipales. Sesión de Pleno de diciembre de 1964.

AHN. 1243. Archivo Histórico Nacional. Memoria Histórica. Uclés. Caja 365, Original nº 2.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper nº 56, Roma, 300 pp.

Alonso, M. 1998. Las lagunas de la España peninsular. *Limnetica*, 15, 1-176.

Álvarez, M., Rubio, A. y Ayala, J.L. 2016. Físico-química. En: Soriano, O. y Álvarez, M. (eds.), *Limnología de las lagunas de la Cuenca del Guadiana*. Grupo de Investigación del Agua. Serie Limnoiberia, nº 10, Madrid, 45-132.

Ancochea, E. 1983. *Evolución espacial y temporal del vulcanismo reciente de España Central*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 675 pp.

Angeler, D.G., Viedma, O., Cirujano, S., Álvarez, M. and Sánchez, S. 2008. Microinvertebrate and plant beta diversity in dry soils of a semiarid agricultural wetland complex. *Marine and Freshwater Research*, 59 (5), 418-428.

Anza, I., Vidal, D., Laguna, C., Díaz-Sánchez, S., Sánchez, S., Chicote, A., Florín, M. and Mateo, R. 2014. Eutrophication and bacterial pathogens as risk factors for avian botulism outbreaks in wetlands receiving effluents from urban wastewater treatment plants. *Applied and Environmental Microbiology*, 80 (14), 4251-4259.

ARCHGR. 1554. Archivo de la Real Cancillería de Granada. Pleito. Caja 61300, Sentencia 01, folio 3.

Armengol, J., Estrada, M., Guiset, A., Margalef, R., Planas, D., Toja, J. y Vallespinós, F. 1975. Observaciones limnológicas en las lagunas de La Mancha. *Boletín de la Estación Central de Ecología*, 8, 11-27.

Armorial municipal de la provincia de Ciudad Real, Anexo, wikipedia.org., 11/11/2016, https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:ArmorialmunicipalprovinciadeCiudadReal

Armorial municipal de la provincia de Toledo, Anexo, wikipedia.org., 11/12/2016, https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:ArmorialmunicipaldelaprovinciadeToledo

Ayarzagüena, M., Ramos, F., López, J.F. y Valiente, S. 2012. Explotaciones de sal en las lagunas salobres de La Mancha toledana: Lagunas de Tírez y Peña Hueca en Villacañas. *VII Congreso Internacional sobre minería y metalurgia históricas en el sudoeste europeo*, Utrillas, 141-152.

Ayuntamiento de Villafranca de los Caballeros. 2010. *Pasado, presente y futuro. Lagunas de Villafranca de los Caballeros*. Diputación de Toledo, Toledo, 35 pp.

Balneario las Palmeras de Villafranca de los Caballeros, 8/01/2017, http://www.balneariolaspalmeras.es

Barrera, J.L. 2000. Los hervideros de Fuensanta. Historia de sus orígenes y desarrollo en el siglo XIX. *Cuadernos de Estudios Manchegos*, 23-24, 91-119.

Becerra, R., Cañizares, M.C., Escobar, E., González, E., Gosálvez, R.U., Martínez, H.S. y Rodríguez, M.A. 2008. El Campo de Calatrava y el Corredor Ciudad Real-Puertollano. En: *Itinerarios geográficos y paisajes por la provincia de Ciudad Real.* Guía de salidas de campo del XXI Congreso de Geógrafos Españoles. Universidad Castilla-La Mancha, 89-169.

Blázquez, A. y Sánchez, C. 1917. *Vías romanas del valle del Duero y Castilla la Nueva. Memoria de los resultados obtenidos en las exploraciones y excavaciones practicadas en el año 1916*. Junta Superior de Excavaciones y Antigüedades, Madrid, 58 pp.

BOE. 2003. Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano (BOE nº 45, de 21 de febrero de 2003).

BOE. 2014. Resolución de 30 de julio de 2014, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente, sobre la evaluación de impacto ambiental del proyecto Protección ambiental de las aguas superficiales y freáticas de la laguna Grande de Villafranca de los Caballeros, Toledo (BOE nº 204, 22 de agosto de 2014).

BOE. 2016. Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión del Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Anexo VI. (BOE nº 16, de 19 de enero de 2016).

Bórnez, K., Mejías, M., Camuñas, C., del Pozo, J. y del Moral, A. 2017. Inventario, clasificación y génesis de los colapsos del terreno en la Masa de Agua Subterránea Mancha Occidental I. *Boletín Geológico y Minero*, 128 (1), 43-68.

Boronat, L., Miracle, M.R. and Armengol, X. 2001. Cladoceran assemblages in a mineralization gradient. *Hydrobiologia*, 442 (1-3), 75-88.

Cabestrero, Ó., García, M.A. y Sanz, M.E. 2013. Precipitación de sales en una laguna sulfatada magnésico-sódica (Lillo, Toledo): controles ambientales. *Macla*, 17, 27-28.

Camacho, A., Borja, C., Valero-Garcés, B., Sahuquillo, M., Cirujano, S., Soria, J.M., Rico, E., de la Hera, A., Santamans, A.C., García, A., Chicote, A. y Gosálvez, R.U. 2009. 31 Aguas continentales retenidas. Ecosistemas leníticos de interior. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, 412 pp.

Camacho, A., Rochera, C., Picazo, A. y Belenguer, M. 2014. Biogeographic patterns of prokaryotic microorganisms inhabiting shallow lakes from Central Spain. En: Cámara, R., Rodríguez, B. y Muriel, J.L. (eds.), *Biogeografía de Sistemas Litorales: Dinámica y Conservación*. Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Sevilla, Sevilla, 283-285.

Camacho, A., Picazo, A., Rochera, C., Santamans, A.C., Morant, D., Miralles-Lorenzo, J. and Castillo-Escrivà, A. 2017. Methane emissions in Spanish saline lakes: Current rates, temperature and salinity responses, and evolution under different climate change scenarios. *Water*, 9 (9), 659.

Camarero, C. 2002. Geografía de la sal a mediados del siglo XVIII. *Boletín de la Real Sociedad Geográfica* (137-138), 129-160.

Campillo, S., García-Roger, E.M., Martínez-Torres, D. and Serra, M. 2005. Morphological stasis of two species belonging to the L-morphotype in the *Brachionus plicatilis* species complex. *Hydrobiologia*, 546 (1), 181-187.

Carrobles, J. y Ruiz, A. 2001. La Mancha Occidental y la Mesa de Ocaña. *II Congreso de Arqueología de la Provincia de Toledo*. Volumen II, 115-120.

Casado, S. y Montes, C. 1995. *Guía de lagos y humedales de España*. J.M. Reyero (ed.), Madrid, 255 pp.

Castillo-Escrivà, A., Gil-Delgado, J.A., Gosálvez, R.U., Valls, L., Velasco, Á. and Mesquita-Joanes, F. 2013. Ostracods from shallow lakes in Central Spain. *Il Naturalista Siciliano*, S. IV, XXXVII (1), 75-76.

Castillo-Escrivà, A., Valls, L., Rochera, C., Camacho, A. and Mesquita-Joanes, F. 2015. Spatial and environmental analysis of an ostracod metacommunity from endorheic lakes. *Aquatic Sciences*, 78 (4), 707-716.

Castillo-Escrivà, A., Valls, L., Rochera, C., Camacho, A. and Mesquita-Joanes, F. 2016. Disentangling environmental, spatial, and historical effects on ostracod communities in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 787 (1), 61-72.

Castillo-Escrivà, A., Valls, L., Rochera, C., Camacho, A. and Mesquita-Joanes, F. 2017. Metacommunity dynamics of Ostracoda in temporary lakes: Overall strong niche effects except at the onset of the flooding period. *Limnologica,* 62, 104-110.

Chaves, B. 1975. *Apuntamiento legal sobre el dominio solar de la Orden de Santiago en todos sus pueblos*. Ediciones El Aalbir, Barcelona, 213 pp.

CHG, 2016. Revisión del Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Memoria, 377 pp.

Cirujano, S. 1980a. *Las lagunas salobres toledanas*. Instituto Provincial de Investigaciones y Estudios Toledanos, Toledo, 48 pp.

Cirujano, S. 1980b. Las lagunas manchegas y su vegetación I. *Anales del Jardín Botánico*, 37 (1), 155-192.

Cirujano, S. y Medina, L. 2002. *Plantas acuáticas de las lagunas y humedales de Castilla-La Mancha*. JCCM y Real Jardín Botánico/CSIC, Toledo, 340 pp.

Cirujano, S. y Guerrero, N. 2016. Flora y vegetación. En: Soriano, O. y Álvarez, M. (eds.), *Limnología de las lagunas de la Cuenca del Guadiana*. Grupo de Investigación del Agua. Serie Limnoiberia, nº 10, Madrid, 197-258.

Coello de Portugal, F. 1866. *Bosquejo de la provincia de Toledo*. Mapa a escala 1/200.000.

Corrales, M. 2014. Dinámica de los nutrientes mayoritarios en lagunas someras mesetarias sometidas a distintos grados de salinidad e impacto antrópico. Trabajo Fin de Master. Universidad de Valencia.

De Castro, M. 2009. Clima y cambio climático en Castilla-La Mancha. En: Fundación General de Medio Ambiente (ed.), *Impactos del Cambio Climático en Castilla-La Mancha*. Oficina de Cambio Climático, Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente, JCCM, 20-47.

De la Cruz, M., 2009. 1510 Estepas salinas mediterráneas (*Limonietalia*). En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, 78 pp.

Del Campo, F. 1997. *Malagón, un señorío en el Campo de Calatrava (origen y evolución, siglos XVI-XVIII)*. Diputación Provincial de Ciudad Real, Ciudad Real, 809 pp.

DOCM. 1988. Decreto 65/1988, de 17 de mayo, por el que se declaran como refugios de caza las lagunas de los Patos, de Alcahozo, de la Vega o del Pueblo, del Prado, de El Tobar y de Uña, ubicadas en el ámbito territorial de Castilla-La Mancha (DOCM nº 21, de 24 de mayo de 1988).

DOCM. 1988. Decreto 128/1988, de 10 de octubre, por el que se declara refugio de caza las lagunas del Camino de Villafranca y de las Yeguas, ubicadas en Alcázar de San Juan de la Provincia de Ciudad Real (DOCM nº 42, de 18 de octubre de 1988).

DOCM. 1989. Decreto 120/1989, de 3 de octubre, por el que se declara como refugio de caza la laguna de Manjavacas en el término municipal de Mota del Cuervo de la provincia de Cuenca (DOCM nº 44, de 17 de octubre de 1989).

DOCM. 1994. Decreto 39/1994, de 17 de mayo, por el que se declaran refugio de fauna las lagunas de El Longar, Altillo y Albardinosa en el término municipal de Lillo, en la provincia de Toledo. Grande y Chica de Villafranca de los Caballeros situadas en el término municipal del mismo nombre de la provincia de Toledo (DOCM nº 27, de 20 de mayo de 1994).

DOCM. 1999. Decreto 214/1999, de 19 de octubre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las lagunas del Camino de Villafranca, Las Yeguas y La Veguilla, y se declara la Reserva Natural del Complejo Lagunar de Alcázar de San Juan (DOCM nº 66, de 22 de octubre de 1999).

DOCM. 2001. Decreto 183/2000, de 19 de diciembre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de La laguna de Salicor, en Campo de Criptana (Ciudad Real), y se declara la Reserva Natural de la laguna de Salicor (DOCM nº 6, de 16 de enero de 2001).

DOCM. 2001. Decreto 185/2001, de 2 de octubre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los recursos naturales del Complejo Lagunar de Manjavacas, Sánchez Gómez y La Dehesilla en Mota del Cuervo (Cuenca) y Laguna de Alcahozo en Pedro Muñoz (Ciudad Real), y se declara la Reserva Natural del Complejo Lagunar de Manjavacas (DOCM nº 114, de 26 de octubre de 2001).

DOCM. 2002. Acuerdo de 14/05/2002, del Consejo de Gobierno, por el que se inicia el procedimiento para la elaboración y aprobación del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las Navas de Malagón en el término municipal de Malagón de la provincia de Ciudad Real (DOCM nº 68, de 3 de junio de 2002).

DOCM. 2003. Decreto 75/2003, de 13 de mayo, por el que se declara la Microrreserva Laguna de Caracuel en los términos municipales de Caracuel de Calatrava y Corral de Calatrava de la provincia de Ciudad Real (DOCM nº 82, de 6 de junio de 2003).

DOCM. 2004. Decreto 238/2004, de 20 de julio, por el

que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la laguna del Prado en el término municipal de Pozuelo de Calatrava de la provincia de Ciudad Real, y se declara la Reserva Natural de la Laguna del Prado (DOCM nº 143, de 9 de agosto de 2004).

DOCM. 2005. Decreto 103/2005, de 13 de septiembre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Las Navas de Malagón en el término municipal de Malagón de la provincia de Ciudad Real y se declara la Reserva Natural de Las Navas de Malagón (DOCM nº 186, de 16 de septiembre de 2005).

DOCM. 2005. Decreto 134/2005, de 4 de octubre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la laguna de Peña Hueca, en el término municipal de Villacañas, de la provincia de Toledo, y se declara la Reserva Natural de la laguna de Peña Hueca (DOCM nº 201, de 07 de octubre de 2005).

DOCM. 2005. Resolución de 31/10/2005, de la Dirección General de Medio Natural, por la que se da trámite de audiencia a los interesados en el procedimiento de aprobación del Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Laguna Grande de Quero situada en el término municipal del mismo nombre de la provincia de Toledo (DOCM nº 229, de 14 de noviembre de 2005).

DOCM. 2006. Decreto 35/2006, de 28 de marzo, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la laguna de Tírez en el término municipal de Villacañas de la provincia de Toledo, y se declara la Reserva Natural de Laguna de Tírez (DOCM nº 68, de 31 de marzo de 2006).

DOCM. 2006. Decreto 83/2006, de 20 de junio, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las lagunas Grande y Chica de Villafranca de los Caballeros situadas en el término municipal del mismo nombre de la provincia de Toledo y se declara la Reserva Natural de las lagunas Grande y Chica de Villafranca de los Caballeros (DOCM nº 129, de 23 de junio de 2006).

DOCM. 2006. Decreto 85/2006, de 20 de junio, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las lagunas de El Longar, Altillo Grande y Altillo Chica o del Cerrillo situadas en el término municipal de Lillo de la provincia de Toledo y se declara la Reserva Natural de las lagunas de El Longar, Altillo Grade y Altillo Chica (DOCM nº 129, de 23 de junio de 2006).

DOCM. 2010. Resolución de 18/03/2010, de la Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural, de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha, por la que se aprueba la declaración de utilidad pública e inclusión en el Catálogo de Montes de Utilidad Pública de Ciudad Real del monte Laguna de Alcahozo, perteneciente a la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y sito en el término municipal de Pedro Muñoz, provincia de Ciudad Real (DOCM nº 76, de 22 de abril de 2010).

DOCM. 2017. Orden 4/2017, de 24 de enero, de la Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural, de Vedas de Pesca de 2017 (DOCM nº 20, de 30 de enero de 2017).

Domingo, L.A., Magariños, J.M. y Aldecoa, M.A. 2007. Nuevos datos sobre el poblamiento en la Carpetania Meridional: El Valle medio del Cigüela. En: *Zona Arqueológica. Estudios sobre la Edad del Hierro en la Carpetania*. Vol. 1. Museo Arqueológico Regional, Alcalá de Henares, 219-237.

Durán, J.J. 1995. Las aguas subterráneas y el medio ambiente. *Jornadas sobre el libro Blanco de las Aguas Subterráneas*, Club del Agua Subterránea, Madrid, 97-114.

El Castillo de Almodóvar del Campo, Aperos, Ruiz, J., Ruiz, P. y Ruiz, J. 2/11/2016, http://www.aperos.es/2016/04/el-castillo-de-almodovar-del-campo

Escudero, F.J. 2012. De Manjavacas y el Cuervo a Mota del Cuervo. *Asociación Cultural Peña Fiestalegre*. Mota del Cuervo, 11-52.

Esteban, S. 2008. *Química y Cultura Científica*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, 218 pp.

Fanés, I., Sánchez, P.M. y Comas, A. 2010. Nuevas citas de algas verdes Cocales en la Península Ibérica. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Biológica*, 104, 5-24.

Fernández, C. 2016. *Prehistoria, Protohistoria e Historia Antigua de los Estados del Duque*. X Premio de Investigación en Ciencias Sociales, Geografía e Historia. IES Estados del Duque. Malagón.

Fernández, A., Viedma, O. and Angeler, D.G. 2009. False

correlates of nested patterns: A case study using temporary pond microcrustaceans. *International Review of Hydrobiology*, 94 (5), 513-527.

Fernández, P. y Torres, V. 2008. *Legados de la Tierra*. Ayuntamiento de Quero. JCCM, 63 pp.

Fidalgo, C. y González, J.A. 2015. La evolución del paisaje natural a través de la toponimia: Lillo (La Mancha, Toledo). *Cuadernos Geográficos*, 54 (2), 220-244.

Florín, M. 1994. *Funcionamiento de lagunas salinas temporales manchegas. Relación entre fluctuaciones hídricas, hidroquímicas y dinámica trófica*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, 198 pp.

Florín, M. 2001. La Mancha Húmeda: Valores ecológicos y problemática conservacionista. En: García, E. (ed.), *Ecología y Conservación de la Mancha Húmeda*. Instituto Provincial de Investigaciones y Estudios Toledanos, Toledo, 65-92.

Florín, M. and Montes, C. 1998. Which are the relevant scales to assess primary production of mediterranean semi-arid salt lakes? *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 24, 161-177.

Florín, M. and Montes, C. 1999. Functional analysis and restoration of Mediterranean lagunas in the Mancha Húmeda Biosphere Reserve (Central Spain). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 9 (1), 97-109.

Fontaneto, D., Kaya, M., Herniou, E.A. and Barraclough, T.G. 2009. Extreme levels of hidden diversity in microscopic animals (Rotifera) revealed by DNA taxonomy. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 53 (1), 182-189.

García, F. 2001. El hombre y las lagunas. En: García, E. (ed.), *Ecología y Conservación de la Mancha Húmeda*. Instituto Provincial de Investigaciones y Estudios Toledanos, Toledo, 11-64.

García, R. y Morales, F.J. 2004. Un yacimiento de fondos de Cabaña: Las Saladillas (Alcázar de San Juan, Ciudad Real). En: *La Península Ibérica en el II milenio a.C.: Poblados y fortificaciones*. Universidad de Castilla-La Mancha, 233-273.

García-Miguillán, M., Ibáñez, M.D. y Moreno, F. 1995. *Imágenes vividas: historia fotográfica de Almodóvar del Campo (1867-1967)*. Ayuntamiento de Almodóvar del Campo, Área de Cultura, 141 pp.

García, M.P., Pérez, M.E. y Sanz, J.J. 2006. Variabilidad hídrica y edáfica de humedales peninsulares interiores a partir de imágenes Landsat (TM y ETM). *Estudios Geográficos*, 67 (260), 57-78.

Gil-Delgado, J.A., Gosálvez, R.U., López-Iborra, G.M. y Velasco, A. 2016. Base de Datos del Censo de Avifauna de lagunas manchegas del proyecto Ecolake. Universidad de Valencia.

Gil-Delgado, J.A., Guijarro, D., Gosálvez, R.U., López-Iborra, G.M., Ponz, A. and Velasco, A. 2017. Presence of plastic particles in waterbirds faeces collected in Spanish lakes. *Environmental Pollution*, 220, 732-736.

Gonçalves M.S.S., Gil-Delgado, J.A., Gosálvez, R.U., López-Iborra, G.M., Ponz, A. and Velasco, A. 2016. Spatial synchrony of wader populations in inland lakes of the Iberian Peninsula. *Ecological Research*, 31 (6), 947-956.

González, A. 1996. Que versa sobre parabienes para todos. *Periódico de Malagón*, 30, 16-26.

González, E. 1991. El deterioro del paisaje volcánico del Campo de Calatrava. Sociedad y Territorio. *XII Congreso Nacional de Geografía*, Valencia, 33-40.

Gosálvez, R.U. 2011. Análisis biogeográfico de las lagunas volcánicas de la Península Ibérica. Bases científicas para su gestión. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha, 1037 pp.

Gosálvez, R.U., 2014. Una propuesta metodológica para la representación gráfica de la vegetación asociada a humedales. Aplicación a las lagunas volcánicas ibéricas. En: Cámara, R., Rodríguez, B. y Muriel, J.L. (eds.), *Biogeografía de Sistemas Litorales: Dinámica y Conservación*. Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Sevilla, Sevilla, 335-341.

Gosálvez, R.U., Gil-Delgado, J.A., Vives, C., Sánchez, G. y Florín, M. 2012. Seguimiento de aves acuáticas amenazadas en lagunas de la Reserva de la Biosfera de La Mancha Húmeda (España Central). *Polígonos: Revista de Geografía*, 22, 89-122.

Gosálvez, R.U., Gil-Delgado, J.A., Velasco, A. y Vives, C. 2016. Manjavacas shallow lake: a new breeding site for Greater Flamingos *Phoenicopterus roseus* in the La Mancha Húmeda Biosphere Reserve (Central Spain). En: Gómez, J., Arias, J., Olmedo, J.A. y Serrano, J.L. (eds.),

Avances en biogeografía. Áreas de distribución: entre puentes y barreras. Tundra Ediciones, Granada, 521-526.

Guerrero, M.C. and de Wit, R. 1992. Microbial mats in the inland saline lakes of Spain. *Limnetica*, 8, 197-204.

Ibáñez, C., 1886. Hoja Topográfica 688 a escala 1:50.000. Instituto Geográfico Nacional.

IPCC. 2001a. Climate Change 2001: *The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.G., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K. and Johnson, C.A. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos, 881 pp.

IPCC. 2001b. Climate Change 2001: *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J., and White, K.S. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos, 1031 pp.

IPCC. 2001c. Climate Change 2001: *Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Metz, B., Davidson, O.R., Swart, R. and Pan, J. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos, 752 pp.

Jerez, O. 2010. *La Reserva de la Biosfera de La Mancha Húmeda y la Cuenca Alta del Guadiana. Guía didáctica del medio físico y de la evolución de los paisajes*. Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real, 367 pp.

Jiménez, F. 1962. *Diccionario de los pueblos de la provincia de Toledo hasta la finalización del siglo XVIII*, Tomo I, Toledo, 490 pp.

Köppen, W. 1936. Das geographische System der Klimate. En: Köppen, W. y Geiger, R. (eds.) *Handbuch der Klimatologie*, Vol.1. C. Gebr, Borntraeger, 1-44.

Ladero, M.A. 2011. *Fiscalidad y poder real en Castilla (1252-1369)*. Real Academia de la Historia (ed.), Madrid, 472 pp.

Lagarto, A. y Bernal, I. 2002. Utilización terapéutica de las aguas y fangos mineromedicinales. *Revista Cubana de Farmacia*, 36 (1), 62-68.

Laguna, C., López, A.I., Chicote, A. y Florín, M. 2015. De los microbios al territorio a través del tiempo. Identificación de impactos y alternativas de restauración en un humedal de la Mancha Húmeda. *Congreso Nacional de Conservación y Restauración de Humedales*, Jerez de la Frontera, 10-17.

LIFE99 NAT/E/006339. 1999-2002. Restauración de tres humedales en Villacañas. Toledo.

LIFE10 NAT/E/000563. 2011-2016. Restauración de albardiales y estepas salinas en 27 lagunas endorreicas en La Mancha.

López, T. 1768. *Mapa de la provincia de Toledo que comprende los partidos de Toledo, Alcalá, Ocaña, Talavera y Alcázar de San Juan*. Madrid.

López, T. 1784. *Mapa Geográfico del Partido de Ocaña que comprende el gobierno, la misma villa, Campo de Criptana y Corral de Almaguer*. Madrid.

López-Barrajón, Z. 2001. Situación actual del mapa arqueológico de la zona septentrional de la Mancha toledana. *II Congreso de Arqueología de la provincia de Toledo. La Mancha Occidental y La Mesa de Ocaña*. Diputación Provincial de Toledo, Toledo, 397-411.

Madoz, P. 1846-1850. *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar*. Establecimiento tipográfico literario de Madoz, P. y Sagasti, L. Madrid. Volumen I, 436-440. Volumen II, 159-163. Volumen V, 132 y 371-372. Volumen X, 283-285. Volumen XII, 745. Volumen XIII, 196. Volumen XVI, 449.

Mejías, M., López, J. y Martínez, L., 2012. Características hidrogeológicas y evolución piezométrica de la Mancha Occidental. Influencia del periodo húmedo 2009-2011. *Boletín Geológico y Minero*, 123 (2), 91-108.

Melero, D. 2003. *Ciudad Real: Tierra de Castillos*, Ciudad Real, 186 pp.

Molero, J.M. 1993. Sistemas de defensa y control en el Campo de San Juan: del dominio musulmán al cristiano (siglos X-XIII). *IV Congreso de Arqueología Medieval Española*, Alicante, 399-406.

Montoya, L., Lozada-Chávez, I., Amils, R., Rodríguez, N. and Marín, I. 2011. The sulfate-rich and extreme saline sediment of the ephemeral Tírez Lagoon: A biotope for acetoclastic sulfate-reducing Bacteria and hydrogenotrophic methanogenic Archaea. *International Journal of Microbiology*, 753-758.

Montoya, L., Vizioli, C., Rodríguez, N., Rastoll, M.J., Amils, R. and Marín, I. 2013. Microbial community composition of Tírez lagoon (Spain), a highly sulfated athalassohaline environment. *Aquatic Biosystems*, 9, 19.

Múnity Municipios Online, ayuntamiento de Almodóvar del Campo, 1/11/2016, http://www.almodovardelcampo.es

Múnity Municipios Online, ayuntamiento de Caracuel de Calatrava, 2/12/2016, http://www.caracueldecalatrava.com

Múnity Municipios Online, ayuntamiento de Mota del Cuervo, 10/10/16, http://motadelcuervo.es

Múnity Municipios Online, ayuntamiento de Pedro Muñoz, 06/10/16, http://pedro-munoz.es

Múnity Municipios Online, ayuntamiento de Quero, 12/11/16, http://www.quero.es

National Research Council. 1995. *Wetlands: Characteristics and Boundaries*. The National Academies Press. Washington, D.C., 328 pp.

OCDE. 1982. *The OECD List of Social Indicators*. Organisation for Economic Co-operation and Development, Washington, 124 pp.

Peinado, M. 1994. *Funcionamiento y variabilidad de los geosistemas de los humedales manchegos*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 296 pp.

Pérez, E.M. y García, M.P. 2004. Análisis de la contaminación hídrica en humedales de ambiente semiárido aplicando teledetección (La Mancha, 1992-2001). *Estudios Geográficos*, 65 (254), 101-119.

PGH-CLM. 2015. *Plan de Gestión de Humedales de la Mancha ES4250010/ES0000091 (Ciudad Real, Cuenca y Toledo)*. Dirección General de Política Forestal y Espacios Naturales. Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural. JCCM, 91 pp.

Porres, J., Rodríguez, H. y Sánchez, R. 1986. *Descripciones del Cardenal Lorenzana*. Archivo Diocesano de Toledo. Instituto Provincial de Investigaciones y Estudios Toledanos, Toledo, 696 pp.

Portal de Archivos Españoles. Catastro del Marqués de Ensenada. 1749-1759. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 07/01/2017, http://pares.mcu.es/Catastro/servlets/ServletController

Prieta, J. y del Moral, J.C. 2008. *La grulla común invernante en España. Población en 2007 y método de censo*. SEO/BirdLife, Madrid, 70 pp.

Prieto, O., Rodríguez, N., Kargel, J.S., González, C., Amils, R. and Fernández, D. 2003. Tírez Lake as a terrestrial analog of Europa. *Astrobiology*, 3 (4), 863-877.

Ramos, F., Valiente, S., López, J.F. y Ayarzagüena, M. 2013. La Laguna salobre de Tírez: su explotación y ocupación merced a los vestigios de su entorno. *III Congreso Internacional sobre Geología y Minería Ambiental para el ordenamiento territorial y el desarrollo*, Cardona, 339-352.

Ramsar. 1971. Convención Ramsar Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas.

Roca, J.R., Mezquita, F., Rueda, J., Camacho, A. and Miracle, M.R. 2000. Endorheic versus karstic lakes: patterns of ostracod distributions and lake typology in a Mediterranean landscape (Castilla-La Mancha, Spain). *Marine and Freshwater Research*, 51 (4), 311-319.

Rodríguez, P.C., Gutiérrez, J., Aguirre, E.F. and García, M. 2016. Salt lakes of La Mancha (Central Spain): A hot spot for tiger beetle (Carabidae, Cicindelinae) species diversity. *ZooKeys*, 561, 63-103.

Rojo, C., Segura, M. y García, J. 2016. Fitoplancton y zooplancton. En: Soriano, O. y Álvarez, M. (eds.), *Limnología de las lagunas de la Cuenca del Guadiana*. Grupo de Investigación del Agua. Serie Limnoiberia, nº 10, Madrid, 133-168.

Ruíz, A., Carrobles, J. y Pereira, J. 2004. La necrópolis de Palomar de Pintado (Villafranca de los Caballeros, Toledo). En: *Investigaciones Arqueológicas en Castilla-La Mancha: 1996-2002*. JCCM, 117-134.

Ruiz, C., Martínez, G., Toro, M. and Camacho, A. 2011. Macrophytes in the assessment of Spanish lakes ecological status under the Water Framework Directive (WFD), *Ambientalia*, Sp1, 1-25.

Sala, J., Gascón, S. y Boix, D. 2005. Nueva localidad para Branchinectella media (Crustacea: Anostraca) en Los Monegros. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 137-164.

Salvador, M. 1883. *Memoria de las aguas minero-medicinales de la Inesperada en Pozuelo de Calatrava (Ciudad Real)*. Establecimiento Tipográfico de Rubisco. Ciudad Real, 14 pp.

Sánchez, I. 2015. Modelos de asentamiento prehistórico en el Camino de Toledo a Murcia: Manjavacas (Mota del Cuervo, Cuenca). *Estudios del Patrimonio Cultural*, 13, 20-31.

Sánchez, I. y Escudero, F.J. 2014. *Manjavacas, la Venta del Caballero*. AACHE Ediciones, Guadalajara, 192 pp.

Sanz, M.E., García, M.A., Rodríguez, J.P. y Calvo, J.P. 2012. Tapices microbianos y estructuras sedimentarias asociadas en sistemas deposicionales evaporíticos de La Mancha: Un enfoque actualista. *Geotemas*, 13, 167-170.

Sanz, M.E., Calvo, J.P., García, M.A., Ornosa, C., Outerelo, R. and Rodríguez, J.P. 2013. The rise of the diptera-microbial mat interactions during the Cenozoic: consequences for the sedimentary record of saline Lakes. *Terra Nova*, 25, 465-471.

Sanz, M.E., Rodríguez, J.P. y Cabestrero, Ó. 2015. Condiciones hidrodinámicas de lagunas saladas manchegas: efectos en las interacciones entre los organismos bentónicos y los sedimentos. *I Congreso Nacional de Conservación y Restauración de Humedales*, Jerez de la Frontera, 24.

Segura, M. y Rojo, C. 2016. Microasociaciones en el sedimento: cianobacterias, microalgas y algas filamentosas. En: Soriano, O. y Álvarez, M. (eds.), *Limnología de las lagunas de la Cuenca del Guadiana*. Grupo de Investigación del Agua. Serie Limnoiberia, nº 10, Madrid, 169-195.

SEHA, 2014. *Yacimiento arqueológico de Dancos, Lillo (Toledo). Elementos para su puesta en valor*. Sociedad Española de Historia de la Arqueología, Ciempozuelos, 1-47.

Serrano, L. 2015. Efectos del cambio global en la estructura trófica de los humedales a través del uso de isótopos estables. Tesis Doctoral. Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC, Universidad Autónoma de Madrid, 196 pp.

Settier, J. 1956. Caza Menor. Anécdotas y Recuerdos. Instituto Editorial Reus, S.A. Centro de Enseñanzas y Publicaciones, Madrid, 167-181.

Schmit, O., Adolfsson, S., Vandekerkhove, J., Rueda, J., Bode, S.N.S., Rossetti, G., Michalakis, Y., Jokela, J., Martens, K. and Mesquita-Joanes, F. 2013. The distribution of sexual reproduction of the geographic parthenogen Eucypris virens (Crustacea: Ostracoda) matches environmental gradients in a temporary lake. *Canadian Journal of Zoology,* 91 (9), 660-671.

Soriano, O. y González, A. 2016. Macroinvertebrados. En: Soriano, O. y Álvarez, M. (eds.), *Limnología de las lagunas de la Cuenca del Guadiana*. Grupo de Investigación del Agua. Serie Limnoiberia, nº 10, Madrid, 321-350.

Tapiador, J. 1996. *Recuperar las Navas*. Periódico de Malagón, nº 31, 14.

Turismo de Castilla-La Mancha. Castilla-La Mancha, 8/01/2017, http://www.turismocastillalamancha.es

Urbina, D. 2015. La Segunda Edad del Hierro en la Mesa de Ocaña. Un estudio regional de Arqueología del Paisaje. *5º Coloquio Internacional de Arqueología Espacial. Arqueología del paisaje. Arqueología Espacial 19-20*, Teruel, 135-152.

Velasco, T. 2016. Las aves acuáticas de los humedales de la cuenca del Guadiana: aspectos generales, algunos casos particulares y valoración de su importancia. En: Soriano, O. y Álvarez, M. (eds.), *Limnología de las lagunas de la Cuenca del Guadiana*. Grupo de Investigación del Agua. Serie Limnoiberia, nº 10, Madrid, 351-412.

Velayos, M., Carrasco, M.A. y Cirujano, S. 1989. Las lagunas del Campo de Calatrava (Ciudad Real). *Botanica Complutensis*, 14, 9-50.

Vicente, E., Miracle, M.R., Armengol, J., Camacho, A., Roca, J.R., Soria, J.M., Sendra, M.D., Gisbert, D., Boronat, M.D., Ortega, E. y Rueda, J. 1998. *Estudio limnológico de 28 humedales de Castilla-La Mancha como base para la elaboración del Plan de Ordenación de Recursos Naturales (PORN)*. Universidad de Valencia y JCCM, Toledo, 405 pp.

Villafranca de los Caballeros, eltiocazuela.com, 10/01/2017, http://www.eltiocazuela.com

Viñas, C. y Paz, R. 1951. *Relaciones histórico-geográfico-estadísticas de los pueblos de España hechas por iniciativa de Felipe II: Reino de Toledo*. CSIC, Madrid, 898 pp.

Yegros, S. 1852. Apuntes sobre salinas. *Revista Minera*, Madrid, 106-304.

Perfil profesional de los autores

Ballesteros Navarro, Bruno J.

Geólogo por la Universidad de Granada (1978), a lo largo de casi 40 años ha desarrollado su vida profesional en diversos países del entorno mediterráneo (España, Francia, Italia y Libia), tanto en la empresa privada como en organismos públicos, en los que ha adquirido amplia experiencia en diversos campos relacionados con las ciencias de la Tierra, especialmente en investigación geológica e hidrogeológica y en prospección petrolífera. Funcionario de carrera de la Administración General del Estado, desde el año 1989 desarrolla su actividad profesional en la Unidad Territorial de Valencia del Instituto Geológico y Minero de España, de la que es responsable, y como tal ha participado y dirigido un elevado número de proyectos relacionados con los recursos hídricos. Sus principales líneas de trabajo son: investigación hidrogeológica regional para la caracterización de acuíferos, intrusión marina en sistemas costeros, estudios sobre calidad, vulnerabilidad y contaminación de las aguas subterráneas, y estudios sobre hidrogeología medioambiental y de zonas húmedas. Autor y/o coautor de más de cien artículos y publicaciones científicas, ha participado en la elaboración de una veintena de libros. Miembro de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español y de la Asociación Española de Hidrogeólogos, es vocal en la Junta de Gobierno y en el Consejo del Agua de la Demarcación Hidrográfica del Júcar en representación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.
b.ballesteros@igme.es

Camuñas Palencia, Carlos

Licenciado en Ciencias Geológicas y Posgrado en Hidrogeología por la Universidad Complutense de Madrid. Durante 15 años ejerció su actividad profesional en la empresa privada, desarrollando labores de coordinación y supervisión en obras lineales y civiles, estudios hidrogeológicos, medioambientales, de investigación y proyectos geotécnicos a nivel nacional e internacional, así como su elaboración y redacción. Desde 2014 trabajó como Técnico Superior en el Área de Hidrogeología Aplicada del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Funcionario de carrera de la Administración General del Estado desde 2018, en la Escala de Técnicos Superiores Especializados de Organismos Públicos de Investigación, desarrolla su actividad en el área citada del IGME. Coautor de un libro y varios artículos técnicos y científicos.
c.camunas@igme.es

Mejías Moreno, Miguel

Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid. Master en Tecnología Hidrogeológica por la Universidad Politécnica de Madrid y Master en Hidrología General y Aplicada por el CEDEX. Funcionario de carrera de la Administración General del Estado desde el año 1986. Actualmente ocupa el puesto de Jefe de Área de Hidrogeología Aplicada del Instituto Geológico y Minero de España, en el que presta sus servicios desde 1991. Entre sus principales líneas de trabajo cabe destacar la caracterización hidrogeológica de formaciones de baja permeabilidad como posible almacén de residuos radiactivos; el estudio de las formaciones geológicas susceptibles de almacenar CO2; la aplicación de la hidrogeología al estudio de las características hidrológicas de yacimientos arqueológicos; la elaboración de estudios sobre hidrogeología de zonas húmedas y la mejora del conocimiento de la cuenca hidrográfica del río Guadiana, en la que lleva desarrollando estudios técnicos y de investigación desde 1994. Autor o coautor de doce libros y más de cien artículos y publicaciones científicas. Ha participado y dirigido un elevado número de proyectos técnicos y de

investigación. Ha desarrollado decenas de convenios con otras administraciones públicas, y elaborado más de 300 informes y estudios técnicos. Miembro de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo español. Es vocal, en representación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, de la Junta de Gobierno de la Confederación Hidrográfica del Guadiana y del Consejo del Agua de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Vocal del IGME en el Patronato del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel. Vocal del Comité Científico de Parques Nacionales y miembro del Consejo Científico del Programa MaB (Hombre y Biosfera).
m.mejias@igme.es

Camacho González, Antonio

Doctor en Ciencias Biológicas, director del grupo de Limnología del Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva y Catedrático de Ecología de la Universidad de Valencia. Su investigación se enmarca en el ámbito de la Ecología de las aguas continentales, el cambio global y la Limnología, tanto en aspectos estructurales como funcionales. Especialista en ecología funcional de lagos y humedales, sus investigaciones se centran en la ecología microbiana y los ciclos biogeoquímicos en las aguas continentales y, de manera particular, en las interacciones entre los microorganismos acuáticos, su papel en el ciclo del carbono y la relación de estos procesos con el cambio climático. Ha realizado diversas estancias de investigación en Estados Unidos de América, Francia, Holanda, Austria entre otros, y ha sido 5 veces jefe de expedición en campañas de investigación en la Antártida. Ha liderado el proceso de implementación en España de la Directiva Marco del Agua y el de la Directiva Hábitats para los lagos y humedales. Desde el año 2010 hasta 2018 presidió, por elección, la Asociación Ibérica de Limnología, y, desde el año 2014, es Jefe de la División de Ciencias Medioambientales de la *European Academy of Sciences*. Participa en los trabajos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), donde actúa como revisor español para el área de humedales *(Wetlands Committee)*. Elegido Presidente de la *European Federation of Freshwater Sciences*, entidad que agrupó a científicos y técnicos europeos. Es asesor de diferentes ministerios y agencias científicas españolas y extranjeras, gobiernos regionales, así como de organismos internacionales *(EU, European Space Agency, NOAA, NASA, UNESCO)*. Su actividad científica ha sido reconocida con el premio de la Sociedad Española de Microbiología (1996-1997) y con el premio a la innovación medioambiental de la Fundación 3M en 2004. Ha participado en un total de 135 publicaciones científicas con papel protagonista en buena parte de ellas, bien sea como primer o último autor (director de la investigación); 85 de estas publicaciones son artículos científicos en revistas indexadas en el *ISI Thompson-Reuters Journal Citation Reports (JCR-SCI)*. Ha dirigido 15 tesis doctorales y ha participado, en la mayoría de los casos como investigador principal, en 37 proyectos de investigación financiados en convocatorias públicas o por medio de contratos Universidad-Empresa.
antonio.camacho@uv.es

Rochera Cordellat, Carlos

Doctor en Biología por la Universidad de Valencia en 2012, con mención de Premio Extraordinario de Doctorado y accésit al Premio de Mejor Tesis Doctoral de la Asociación Ibérica de Limnología. En la actualidad forma parte como investigador del grupo de Limnología del Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva. Ha impartido docencia Universitaria en la licenciatura de Biología y en los actuales grados de Biología y Ciencias Ambientales de la Universidad de Valencia. Ha dirigido dos tesis doctorales y dos trabajos de master. Posee la evaluación positiva por parte de la ANECA para

las tres figuras de profesor universitario contratado. Ha participado en numerosos proyectos y contratos de investigación con entidades públicas y privadas en los campos de la ecología y conservación de ecosistemas acuáticos. Es experto en aspectos funcionales de las poblaciones microbianas presentes en los ambientes acuáticos, y en la actualidad investiga la sensibilidad y vulnerabilidad de las comunidades y procesos ecológicos en este tipo de ecosistemas al cambio global. Es autor de 40 publicaciones científicas entre capítulos de libros y artículos científicos, la mayoría de estos últimos divulgados en revistas indexadas en el *Journal Citation Reports* (JCR). Partícipe de más de un centenar de comunicaciones en congresos nacionales e internacionales. Su carrera científica está también orientada a la transferencia de conocimiento mediante la redacción de informes técnicos sobre control de calidad de aguas, evaluación de impacto ambiental y restauración de ecosistemas acuáticos.
carlos.rochera@uv.es

Sánchez Ramos, David

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Máster en Proyecto del Territorio, Medio Ambiente, Paisaje y Sostenibilidad. Doctor por la Universidad de Castilla-La Mancha, habiendo disfrutado de una beca FPU del Ministerio de Educación para la realización de la tesis doctoral. Ha realizado estancias formativas y de investigación en prestigiosos Centros: la *École Nationale des Ponts et Chaussées (París), el UNESCO-IHE Institute for Water Education (Delft), la University of Natural Resources and Applied Life Sciences* (Viena) y la Universitat Politècnica de Catalunya (Barcelona). Profesor de la Escuela de Caminos de la Universidad de Castilla-La Mancha desde 2008, actualmente como Profesor Contratado Doctor interino. Imparte docencia en el área de Tecnologías del Medio Ambiente, en temáticas como la ingeniería ambiental y ecológica, la gestión de los recursos hídricos y la evaluación de impacto ambiental. Autor o coautor de más de cincuenta publicaciones científicas y técnicas entre artículos en revistas científicas, libros y comunicaciones a congresos. Delegado en Castilla-La Mancha de la ONGD *ONGAWA Ingeniería para el Desarrollo Humano* desde 2013.
david.sanchezramos@uclm.es

Albacete Carreño, Lourdes

Abogada y Vicepresidenta Primera de la Asociación de Diplomados Españoles en Seguridad y Defensa (ADESyD). En 2011 completó el Programa de Posgrado en Relaciones Internacionales de la Sociedad de Estudios Internacionales de Madrid (SEI). Es miembro de la *Spanish Women in International Security (SWIIS)* y de la Sociedad de Estudios Internacionales de Madrid. Durante años, ha compaginado diversas actividades en el ámbito de las relaciones institucionales en la Comunidad de Madrid con estudios sobre la percepción social ante determinadas estrategias internacionales de comunicación, siendo autora de diversas publicaciones sobre esta temática. Su interés por el patrimonio social, cultural y las tradiciones asociadas al paisaje, la han llevado a participar en varias investigaciones que ponen en relación al ser humano con su hábitat. Es autora de varios artículos en publicaciones del Ejército de Tierra, relativos a la percepción de la soiedad en relación con las Fuerzas Armadas. Coautora de los libros: "Las Tablas y los Ojos del Guadiana: agua, paisaje y gente"; "El Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama: cumbres, paisaje y gente" y "El Parque Nacional Marítimo-Terrestre del archipiélago de Cabrera: un paisaje entre la tierra y el mar", coeditados por el IGME y el OAPN. Actualmente es Directora Jurídica del bufete L&B Abogados.
lourdesalbacetecarreno@gmail.com