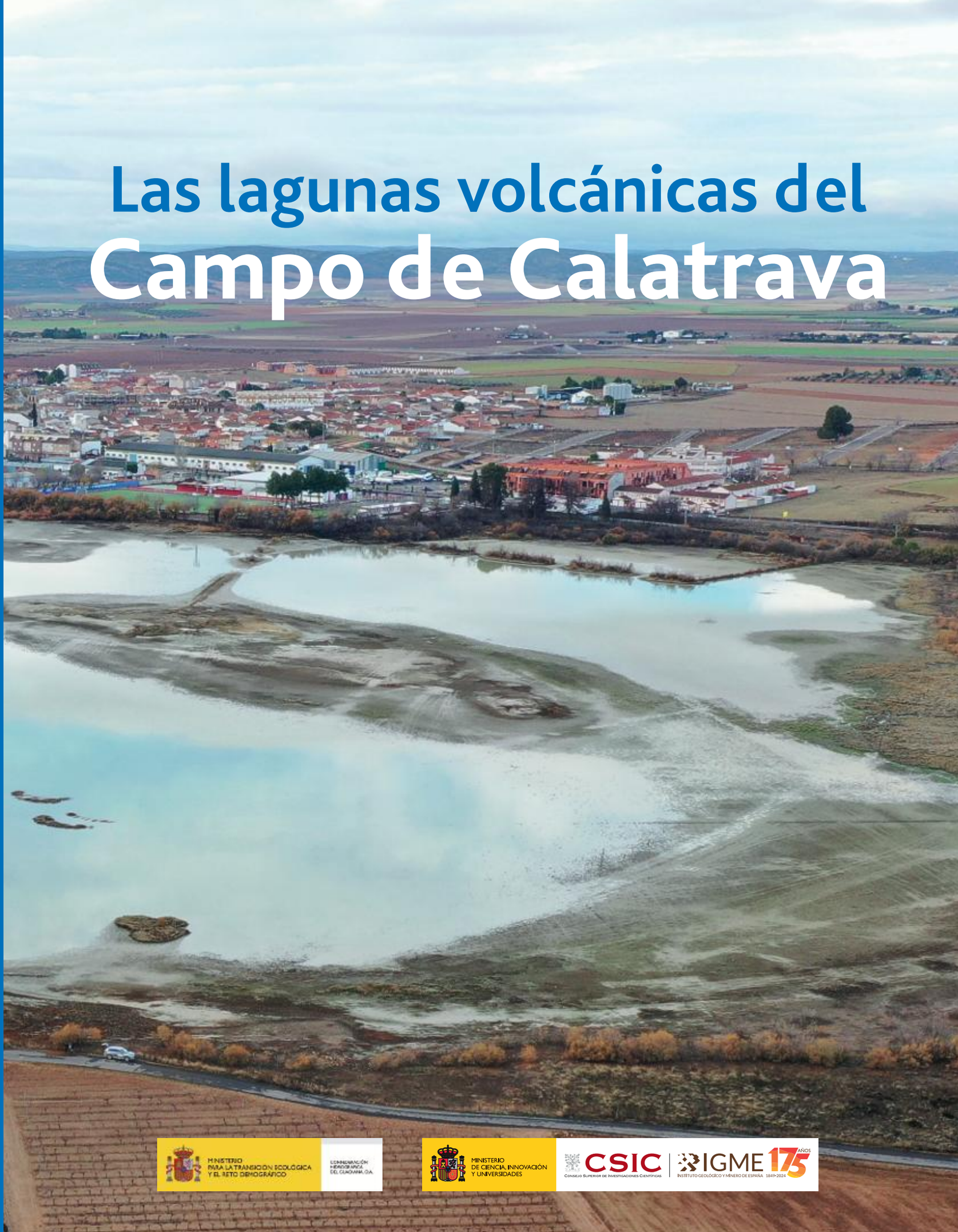
Las lagunas volcánicas del Campo de Calatrava



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA, O.A.
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas
IGME 175 AÑOS Instituto Geológico y Minero de España 1849-2024

Las lagunas volcánicas del Campo de Calatrava



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA, O.A.
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CSIC CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
IGME INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA 1849-2024 175 AÑOS

Las lagunas volcánicas del Campo de Calatrava

EDITORES

Carlos Camuñas Palencia

Miguel Mejías Moreno

Bruno J. Ballesteros Navarro

JUNIO, 2024

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA, O.A.

MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES

CSIC CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS | IGME INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA 1849-2024 175 AÑOS

Catálogo de publicaciones del Ministerio: https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones
Catálogo general de publicaciones oficiales: https://cpage.mpr.gob.es/

Título: *Las lagunas volcánicas del Campo de Calatrava*

Edición 2024

Editores: Camuñas Palencia, Carlos; Mejías Moreno, Miguel y Ballesteros Navarro, B.J.
Coordinador: Camuñas Palencia, Carlos

Fotografía de cubierta
Laguna del Prado (Carlos Camuñas Palencia, STA, CN IGME-CSIC)

La presente publicación constituye uno de los resultados del "Convenio entre el Instituto Geológico y Minero de España y la Confederación Hidrográfica del Guadiana para la mejora del conocimiento de determinadas masas de agua subterránea de la cuenca alta del Guadiana, años 2020-2023". Si bien en principio no constituyó una de las actividades previstas en dicho Convenio, la erupción volcánica producida en la isla de La Palma, entre el 19 de septiembre y el 13 de diciembre de 2021, hizo que la Comisión de Seguimiento valorase la conveniencia de elaborar una publicación sobre las lagunas de origen volcánico del Campo de Calatrava (Ciudad Real), con el objetivo de difundir y poner en valor las singulares características geológicas de dicho territorio.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN
ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita:
© SUBSECRETARÍA
Gabinete Técnico

NIPO en papel: 67124003X
NIPO en línea: 671240045
Depósito Legal: M-12872-2024

Maquetación e impresión: CYAN, Proyectos Editoriales, S.A.

EDITORES

Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno
Bruno J. Ballesteros Navarro

AUTORES Y COLABORADORES POR ESPECIALIDADES

Situación geográfica y características fisiográficas

Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro
Miguel Mejías Moreno

Historia, cultura y contexto socioeconómico

Lourdes Albacete Carreño
Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno

Normativa y figuras de protección

Lourdes Albacete Carreño
Carlos Camuñas Palencia

Climatología

Bruno J. Ballesteros Navarro

Hidrología

Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno
Bruno J. Ballesteros Navarro

Geología

Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno

Hidrogeología e hidroquímica

Miguel Mejías Moreno
Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia
Silvia Rosado Piqueras

Modelo conceptual y balance hídrico

Bruno J. Ballesteros Navarro

Cartografía y Sistemas de Información Geográfica

Carlos Baquedano Estévez
Carlos Camuñas Palencia

Delineación de esquemas y diagramas

Olga García Menéndez
Bruno J. Ballesteros Navarro

AUTORES / RESPONSABLES POR CAPÍTULO

Capítulo 1. Introducción
Miguel Mejías Moreno
Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia

Capítulo 2. Marco geográfico, hidrológico e hidrogeológico
Olga García Menéndez
Carlos Baquedano Estévez

Capítulo 3. Breve historia del territorio del Campo de Calatrava
Lourdes Albacete Carreño
Bruno J. Ballesteros Navarro

Capítulo 4. El vulcanismo del Campo de Calatrava
José Luis Barrera Morate
Bruno J. Ballesteros Navarro

Capítulo 5.1. Legislación básica sobre humedales
Lourdes Albacete Carreño
Carlos Camuñas Palencia

Capítulo 5.2. Características climáticas y aspectos metodológicos
Bruno J. Ballesteros Navarro
Alberto Padilla Benítez

Capítulo 6. Laguna de La Carrizosa
Miguel Mejías Moreno
Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro

Capítulo 7. Laguna de Luciánego
Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno
Bruno J. Ballesteros Navarro

Capítulo 8. Laguna de Peñarroya
Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno
Bruno J. Ballesteros Navarro

Capítulo 9. Laguna de Fuentillejo
Carlos Camuñas Palencia
Juana Vegas Salamanca

Capítulo 10. Laguna del Prado
Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro
Miguel Mejías Moreno

Capítulo 11. Laguna de Caracuel
Miguel Mejías Moreno
Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia

Capítulo 12. Laguna Blanca
Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno

Capítulo 13. Laguna de Almodóvar
Miguel Mejías Moreno
Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro

Capítulo 14. Maar *de la Hoya de Cervera*
Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno

Capítulo 15. Maar *de Barondillo*
Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno

Capítulo 16. Hervideros y Fuentes
Miguel Mejías Moreno
Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro

Capítulo 17. Otras lagunas
Carlos Baquedano Estévez
Olga García Menéndez

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS DE LOS AUTORES DE FOTOGRAFÍAS SIN PIE DE FIGURA

Capítulo 1

Portada: Bruno J. Ballesteros Navarro
Contraportada: Carlos Lorenzo Carnicero, STA CN IGME-CSIC

Capítulo 2

Portada: Carlos Camuñas Palencia, STA CN IGME-CSIC
Contraportada: Carlos Lorenzo Carnicero, STA CN IGME-CSIC

Capítulo 3

Portada: Bruno J. Ballesteros Navarro
Contraportada: Archivo Alarcos, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha

Capítulo 4

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

Capítulo 5

Portada: Carlos Camuñas Palencia, STA CN IGME-CSIC

Capítulo 5.1

Portada: Carlos Camuñas Palencia
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia

Capítulo 5.2

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

Capítulo 6

Portada: Carlos Camuñas Palencia, STA CN IGME-CSIC
Contraportada: Carlos Lorenzo Carnicero, STA CN IGME-CSIC

Capítulo 7

Portada: Carlos Baquedano Estévez
Contraportada: Carlos Lorenzo Carnicero, STA CN IGME-CSIC

Capítulo 8

Portada: Carlos Camuñas Palencia, STA CN IGME-CSIC
Contraportada: Carlos Lorenzo Carnicero, STA CN IGME-CSIC

Capítulo 9

Portada: Juana Vegas Salamanca
Contraportada: Carlos Lorenzo Carnicero, STA CN IGME-CSIC

Capítulo 10

Portada: Miguel Mejías Moreno
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia, STA CN IGME-CSIC

Capítulo 11

Portada: Bruno J. Ballesteros Navarro
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia, STA CN IGME-CSIC

Capítulo 12

Portada: Bruno J. Ballesteros Navarro
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia, STA CN IGME-CSIC

Capítulo 13

Portada: Bruno J. Ballesteros Navarro
Contraportada: Carlos Lorenzo Carnicero, STA CN IGME-CSIC

Capítulo 14

Portada: Bruno J. Ballesteros Navarro
Contraportada: Carlos Lorenzo Carnicero, STA CN IGME-CSIC

Capítulo 15

Portada: Bruno J. Ballesteros Navarro
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia, STA CN IGME-CSIC

Capítulo 16

Portada: Lourdes Albacete Carreño
Contraportada: Carlos Camuñas Palencia, STA CN IGME-CSIC

Capítulo 17

Portada: Carlos Lorenzo Carnicero, STA CN IGME-CSIC
Contraportada: Carlos Lorenzo Carnicero, STA CN IGME-CSIC

Prólogo de los editores

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) es uno de los centros de investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), a partir de su integración en dicho Organismo por Real Decreto 202/2021, de 30 de marzo. Cuenta con una larga historia de servicio a la sociedad desde su creación en 1849, año en el que la reina Isabel II promulgó el Real Decreto de 12 de julio, Gaceta de 20 de julio, para la constitución de la Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino, primera denominación del actual CN IGME-CSIC. Por esta razón, en este año de 2024 se celebra el 175 aniversario de la creación de la Institución, efeméride a la que, de alguna forma, también quiere sumarse esta publicación.

A lo largo de ese extenso periodo, el CN IGME-CSIC ha prestado un valioso y generoso servicio, con la creación de infraestructuras en el ámbito de las Ciencias de la Tierra y con la mejora del conocimiento geológico e hidrogeológico del territorio, impulsando el desarrollo económico y social de nuestro país. La larga e intensa labor desarrollada como servicio geológico nacional, con actuaciones técnicas y de investigación a través de proyectos propios, competitivos o en colaboración con diferentes organismos de la administración del Estado: central, autonómica y local, ha sido merecedora del reconocimiento de la sociedad. Una parte importante de estas colaboraciones se sustancia en convenios con las confederaciones hidrográficas, en los que el CN IGME-CSIC ha aportado sus bases documentales y sus específicos conocimientos sobre las aguas subterráneas, contribuyendo, entre otros muchos aspectos, a la mejora de la planificación hidrológica y a la protección de los recursos hídricos subterráneos.

En el sentido mencionado, son varias las demarcaciones hidrográficas con las que el CN IGME-CSIC ha colaborado, y colabora en la actualidad, con una aportación esencial para el conocimiento de sus recursos hídricos. Entre estas colaboraciones, sin duda, es justo resaltar la continuada y fructífera relación para ambas partes con la Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG). Son varios los convenios firmados entre las dos instituciones, y es en el último de ellos, vigente entre el 9 de junio de 2020 y el 9 de junio de 2023, en el que se enmarca la elaboración de esta publicación.

En el lapso temporal del citado convenio, y entre septiembre y diciembre de 2021, se produjo la erupción volcánica en la isla de La Palma. Esto supuso un suceso natural único e inesperado que despertó un gran interés mediático, además de ser sometido a un excepcional seguimiento científico-técnico por parte de diversos organismos públicos, entre ellos el CN IGME-CSIC. En el marco de estos acontecimientos, y a partir de una conversación informal entre el responsable del Convenio por parte de la CHG y Jefe de la Oficina de Planificación, D. José Ángel Rodríguez Cabellos, y el responsable del Convenio por parte del CN IGME-CSIC, D. Miguel Mejías Moreno, surgió la idea de elaborar una publicación que pusiera en valor, difundiera y potenciara el conocimiento de las particularidades del Campo de Calatrava, donde se han identificado unas 350 manifestaciones relacionadas con erupciones magmáticas, siendo una de las tres regiones volcánicas inactivas de la península ibérica.

Muchos de estos fenómenos eruptivos han interactuado con las aguas subterráneas y dado lugar a diversos tipos de elementos singulares, tales como lagunas asentadas en cráteres volcánicos o *maares*, surgencias y charcas con emanaciones de gas carbónico, denominadas hervideros, y manantiales con elevada mineralización, como las llamadas fuentes agrias o picantes. Si bien el estudio de estos elementos se erige como el tema central de la publicación, a partir de esta idea principal también se ha querido mostrar la fascinante historia, la rica cultura y la situación socio-económica de la comarca del Campo de Calatrava.

Dentro del contexto de la temática de la publicación, cabe destacar el hecho de que su elaboración haya coincidido con la tramitación como Geoparque del territorio calatravo, impulsada por el Gobierno de Castilla-La Mancha. El procedimiento, largo y laborioso, como suele ser habitual, ha supuesto para sus promotores un importante esfuerzo técnico y documental, el cual ha concluido, finalmente, con la declaración del "Geoparque Volcanes de Calatrava. Ciudad Real" por parte del Consejo Ejecutivo de la Unesco, con fecha 27 de marzo de 2024, siendo el número 17 de los reconocidos en España.

Se trata, sin duda, de una magnífica noticia que reconoce la relevancia internacional del patrimonio geológico vinculado al vulcanismo de la provincia de Ciudad Real y, por extensión, al de la cuenca del río Guadiana en la cual se enmarca.

En definitiva, el lector encontrará en este libro, además de una descripción general del territorio calatravo, un estudio pormenorizado de diez lagunas volcánicas, dos hervideros y una fuente agria, en el que se definen sus principales características fisiográficas, geológicas e hidrológicas, con la determinación de su balance hídrico, así como de la historia, la cultura y la sociedad de las poblaciones relacionadas con ellas. También se indican las principales figuras de protección de las que disponen estas lagunas y sus características climáticas. Por último, el texto se acompaña de imágenes que reflejan el pasado y el presente de cada laguna, haciendo visible la trasformación sufrida por el territorio en su entorno más inmediato a lo largo de los últimos 60 años. Adicionalmente, el documento recoge información básica de otras trece lagunas de las que no se aborda su estudio detallado por su dificultad de acceso, mala conservación o menor interés.

Así que hoy, lector, tiene usted entre sus manos el resultado de la idea que tuvo su germen en la erupción volcánica en la isla de La Palma y en la colaboración existente entre la CHG y el CN IGME-CSIC. Lamentablemente, José Ángel Rodríguez Cabellos, Jefe de la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHG, uno de los impulsores de esta publicación, nos dejó para siempre el 13 de noviembre de 2022, por lo que finalmente no ha podido verla culminada. Por eso, desde aquí queremos transmitir un emocionado recuerdo a nuestro querido compañero y amigo, excelente profesional, cuyos conocimientos, impronta y saber hacer seguirán acompañándonos para siempre.

Descansa en paz, amigo.

Miguel Mejías Moreno
Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro

Índice

Capítulo 1. Introducción 17

Capítulo 2. Marco geográfico, hidrológico e hidrogeológico 23

Marco geográfico 25
Marco hidrológico, geológico e hidrogeológico 27

Capítulo 3. Breve historia del territorio del Campo de Calatrava 31

Principales yacimientos paleontológicos y arqueológicos 33
Paleontología 33
Arqueología 34
El Imperio Romano 38
La época islámica 39
La medina de Calatrava 39
El dominio cristiano 41
La Orden de Calatrava 41
La fortaleza de Calatrava la Nueva 43

Capítulo 4. El vulcanismo del Campo de Calatrava 45

Antecedentes históricos 48
El contexto geológico 49
El fenómeno volcánico 51
Las rocas volcánicas 53
Las formas volcánicas 54
Los *maares* 59
Otras manifestaciones volcánicas: hervideros, fuentes agrias y gases 63
Los sondeos surgentes 64

Capítulo 5. Las lagunas volcánicas 65

5.1. Legislación básica sobre humedales 67

Marco jurídico internacional 71
Convenio de Ramsar, relativo a humedales de importancia internacional, especialmente como hábitats de especies acuáticas 71
Programa Hombre y Biosfera (Programa MaB) 73
Convención de París. Convenio para la protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural de la UNESCO 74

CITES. Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres 74
Convenio de Bonn. Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de vida Silvestre 75
Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992 75
Convención de las Naciones Unidas para la lucha contra la Desertificación 75
Convenio de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica 76
Convenio de Berna 76
Normativa de la Unión Europea 76
Normativa relacionada con la Red Natura 2000 77
Normativa sobre política de aguas 79
Normativa específica sobre humedales 80
Normativa nacional 81
La Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad 81
El Real Decreto 435/2004, de 12 de marzo, tiene como objetivo establecer la regulación del Inventario Nacional de Zonas Húmedas en España 83
Normativa autonómica de Castilla-La Mancha 84

5.2. Características climáticas y aspectos metodológicos 87

Climatología 89
Metodología y cálculo del balance hídrico de las lagunas 93
El código RENATA (REcarga NATural de Acuíferos) 96

Capítulo 6. Laguna de La Carrizosa 99

Situación geográfica y accesos 101
Características fisiográficas 102
Historia y cultura 102
Contexto socioeconómico 106
Normativa específica y figuras de protección 106
Climatología 107
Hidrología 109
Geología 110
Hidrogeología 111
Hidroquímica 112
Balance hídrico 112
Determinación del balance hídrico 113
Evolución visual del territorio 115

Capítulo 7. Laguna de Luciánego 119

Situación geográfica y accesos 121
Características fisiográficas 122
Historia y cultura 123
Contexto socioeconómico 126
Normativa específica y figuras de protección 127

Climatología 127
Hidrología 129
Geología 130
Hidrogeología 132
Balance hídrico 132
Determinación del balance hídrico 134
Evolución visual del territorio 136

Capítulo 8. Laguna de Peñarroya 139

Situación geográfica y accesos 141
Características fisiográficas 142
Historia y cultura 143
Contexto socioeconómico 146
Normativa específica y figuras de protección 147
Climatología 147
Hidrología 149
Geología 150
Hidrogeología 152
Balance hídrico 153
Determinación del balance hídrico 154
Evolución visual del territorio 156

Capítulo 9. Laguna de Fuentillejo 159

Situación geográfica y accesos 161
Características fisiográficas 162
Historia y cultura 163
Paleontología 163
Contexto socioeconómico 164
Normativa específica y figuras de protección 165
Climatología 165
Hidrología 167
Geología 168
Hidrogeología 171
Hidroquímica 171
Balance hídrico 172
Determinación del balance hídrico 174
Evolución visual del territorio 175

Capítulo 10. Laguna del Prado 181

Situación geográfica y accesos 183
Características fisiográficas 184
Historia y cultura 185
Espacio de educación ambiental 187
Contexto socioeconómico 188

Normativa específica y figuras de protección 189
Climatología 190
Hidrología 192
Geología 193
Hidrogeología 195
Hidroquímica 197
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico 198
Modelo conceptual de funcionamiento 198
Balance hídrico 198
Calibración de los aportes subterráneos 200
Determinación del balance hídrico 202
Evolución visual del territorio 205

Capítulo 11. Laguna de Caracuel 209

Situación geográfica y accesos 211
Características fisiográficas 212
Historia y cultura 213
Aprovechamientos tradicionales del entorno lagunar 215
Contexto socioeconómico 215
Normativa específica y figuras de protección 216
Climatología 217
Hidrología 219
Geología 220
Hidrogeología 222
Hidroquímica 223
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico 224
Modelo conceptual de funcionamiento 224
Balance hídrico 225
Calibración de los aportes subterráneos 228
Determinación del balance hídrico 229
Evolución visual del territorio 231

Capítulo 12. Laguna Blanca 235

Situación geográfica y accesos 237
Características fisiográficas 238
Historia y cultura 239
Contexto socioeconómico 240
Normativa específica y figuras de protección 241
Climatología 242
Hidrología 243
Geología 244
Hidrogeología 245
Hidroquímica 247
Balance hídrico 248
Determinación del balance hídrico 249

Evolución visual del territorio 251

Capítulo 13. Laguna de Almodóvar 255

Situación geográfica y accesos 257
Características fisiográficas 258
Historia y cultura 259
Usos tradicionales de la laguna y su entorno 260
Contexto socioeconómico 261
Normativa específica y figuras de protección 261
Climatología 262
Hidrología 264
Geología 264
Hidrogeología 266
Hidroquímica 268
Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico 269
Modelo conceptual de funcionamiento 269
Balance hídrico 269
Calibración de los aportes subterráneos 272
Determinación del balance hídrico 273
Evolución visual del territorio 275

Capítulo 14. *Maar* de la Hoya de Cervera 279

Situación geográfica y accesos 281
Características fisiográficas 283
Historia y cultura 283
Contexto socioeconómico 285
Normativa específica y figuras de protección 287
Climatología 287
Hidrología 289
Geología 290
Hidrogeología 292
Balance hídrico 293
Determinación del balance hídrico 294
Evolución visual del territorio 296

Capítulo 15. *Maar* de Barondillo 297

Situación geográfica y accesos 299
Características fisiográficas 301
Historia y cultura 302
Contexto socioeconómico 303
Normativa específica y figuras de protección 304
Climatología 304
Hidrología 306
Geología 307

Hidrogeología 309
Balance hídrico 310
Evolución visual del territorio 314

Capítulo 16. Hervideros y fuentes 319

Introducción 321
Situación geográfica y accesos 322
Características fisiográficas 322
Historia y cultura 324
Contexto socioeconómico 329
Normativa específica y figuras de protección 330
Geología e hidrogeología 331
Hidroquímica 334
Evolución visual del territorio 336

Capítulo 17. Otras lagunas 341

Introducción 343
Laguna de Michos 344
Laguna de la Perdiguera 345
Lagunas de la Camacha y de Peñas del Bú 345
Maar de la Hoya del Mortero 346
Maares de la Finca Galiana, de la Nava y de Casablanca 347
Laguna de Moral de Calatrava 347
Lagunas del Macizo Volcánico de Calatrava 347

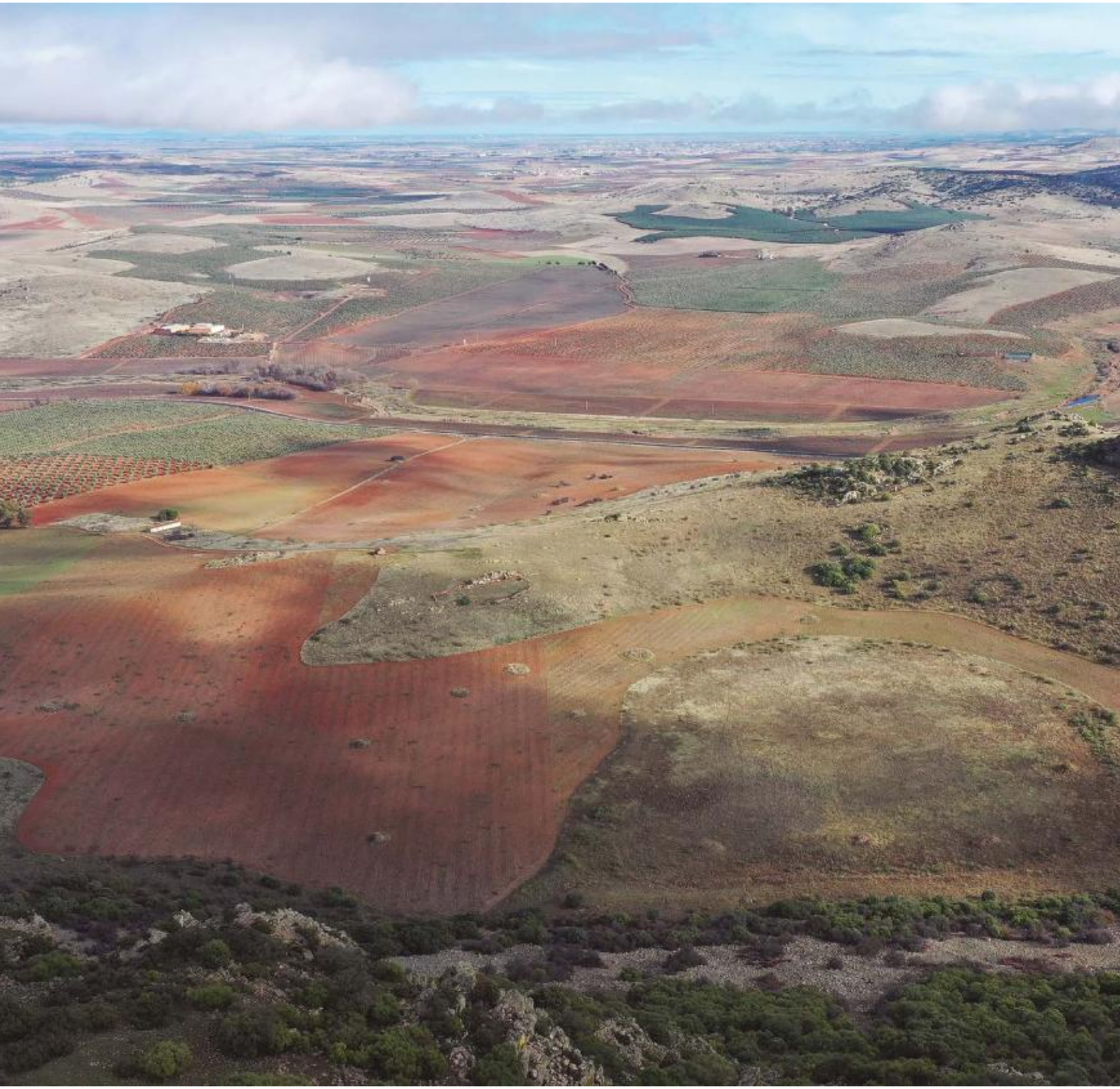
Referencias bibliográficas 349



Capítulo 1

Introducción

Miguel Mejías Moreno
Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia





1. Introducción

El Campo de Calatrava es una de las seis divisiones naturales que conforman la provincia de Ciudad Real, y en él se ubican tres de sus poblaciones más importantes: Ciudad Real, Puertollano y Almagro. El topónimo aparece por primera vez en escritos del siglo XIII, aunque la presencia humana se remonta, al menos, hasta el Paleolítico inferior. Son muchos los aspectos que suscitan el interés del territorio, especialmente en disciplinas como la paleontología, la historia, la sociología, la geología o la hidrogeología. Si bien todas ellas son tratadas en esta publicación con mayor o menor extensión, la intención de sus autores es la de destacar sus singularidades geológicas, ya que la región acoge relevantes manifestaciones volcánicas, en numerosas ocasiones asociadas a procesos hidrológicos específicos, como son los *maares*, o cráteres de volcanes extinguidos en los que es frecuente la presencia de lagunas, cuyo estudio detallado constituye el principal objetivo de este libro.

En la España peninsular se han identificado tres regiones volcánicas inactivas: Campo de Calatrava (Ciudad Real), Olot-La Garrotxa (Girona) y Cabo de Gata (Almería). Por otra parte, se encuentra el vulcanismo actual de las islas Canarias, especialmente activo en Lanzarote y Tenerife, aunque las erupciones más recientes han tenido lugar en la isla de El Hierro, de carácter submarino, a finales de 2011, y la última en la zona de Cumbre Vieja, en 2021, en la isla de La Palma.

El conjunto de manifestaciones volcánicas de la provincia de Ciudad Real recibe la denominación de Región Volcánica Central de España, acepción empleada inicialmente por Eduardo Hernández-Pacheco en 1927 y, posteriormente, por su hijo Francisco en 1932. La génesis de este vulcanismo probablemente está relacionada con la presencia de un amplio "*hot spot*" (punto caliente) en el manto del planeta, asociado a un adelgazamiento cortical, que desde zonas profundas

provocó el ascenso de un magma de carácter alcalino, dando lugar a una actividad volcánica discontinua en el tiempo y dispersa espacialmente. Se trataría, por tanto, de un vulcanismo intraplaca asociado a un *rift* continental incipiente o abortado. Evidentemente, estos procesos han tenido consecuencias paisajísticas y ambientales de gran interés que, *a posteriori,* han condicionado los aspectos socioeconómicos, hidrológicos y ecosistémicos de la comarca, marcando de manera indeleble su evolución general. Así, en la provincia de Ciudad Real se contabilizan más de 350 manifestaciones volcánicas, de las que casi el 80% se encuentran en el Campo de Calatrava, repartiéndose las restantes entre las comarcas de Los Montes, La Mancha, el valle de Alcudia y Sierra Morena.

Desde el punto de vista científico, el Campo de Calatrava ha sido, y es, un laboratorio natural para el estudio de la génesis y evolución de la actividad volcánica intraplaca. Han sido muchos los científicos de diversas especialidades que a lo largo de la historia han estudiado el fenómeno volcánico en sí mismo y sus posteriores manifestaciones. De estas últimas, el termalismo es el que más ha contribuido para dar a conocer la singularidad del territorio dentro del conjunto de la península ibérica, por lo que ha constituido uno de los principales objetos de investigación. Fue un médico, D. Alfonso Limón Montero, 1628-1682, quien, en su obra *Espejo cristalino de las Aguas de España, hermoseado y guarnecido con el marco de variedad de Fuentes y Baños*, puso de manifiesto el interés, dentro de la hidrología médica, de las aguas termales del Campo de Calatrava. Si bien, curiosamente, el autor no las relaciona con los puntos de emisión volcánica. Tras el Dr. Limón, otros naturalistas, ingenieros de minas y geólogos han continuado con esta labor de investigación hasta lograr que el vulcanismo del Campo de Calatrava sea uno de los mejor estudiados de Europa.

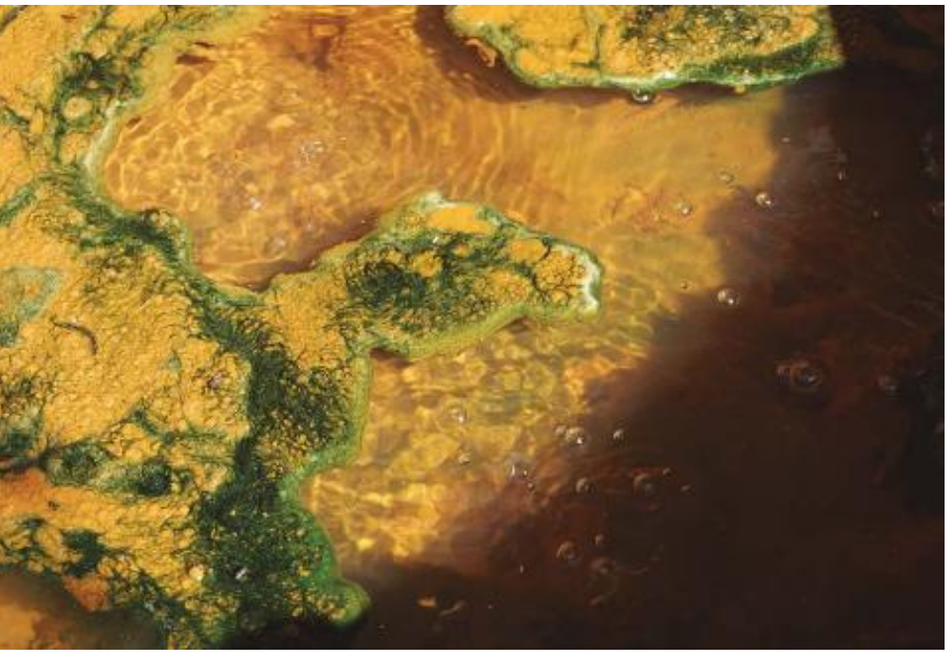


Figura 1.1. Burbujeo de CO_2 (C. Camuñas)

De manera muy general, los procesos volcánicos se pueden clasificar en dos grandes grupos: relieves positivos o de acumulación, relacionados con edificios volcánicos, y relieves negativos o de destrucción. Estos últimos suelen estar asociados a lagunas ubicadas en el interior de los *maares,* o cráteres explosivos, originados por una erupción violenta, conocida como freatomagmática, causada por el contacto entre el magma y las aguas subterráneas.

También son de destacar las manifestaciones volcánicas relacionadas con la componente gaseosa de las erupciones: los denominados hervideros y fuentes agrias. En la actualidad, en el Campo de Calatrava el dióxido de carbono continúa saliendo a la atmósfera por medio de fracturas del terreno o de forma difusa a través del suelo. Estas emanaciones se hacen visibles en surgencias o lugares con presencia de agua en superficie. Aquéllas en las que el burbujeo del gas es evidente se denominan hervideros (Figura 1.1), mientras que en las que no se observa se denominan fuentes agrias. El fenómeno también puede darse al excavar pozos y sondeos, lo que en ocasiones hace que el agua salga proyectada con fuerza al exterior, a modo de *géiser*.

Las cerca de 40 fuentes de aguas minero-medicinales inventariadas, todas ellas relacionadas con el vulcanismo, han disminuido su caudal de manera drástica o bien han desaparecido debido a su dependencia de los acuíferos, cuyos niveles freáticos han descendido en las últimas décadas a causa de la sobreexplotación de sus recursos hídricos.

En el Campo de Calatrava se han inventariado también 52 lagunas (Velayos *et al*., 1989), de las que en

esta publicación se han estudiado específicamente, y de forma individualizada por capítulos, diez de ellas, además de dos hervideros y una fuente agria. Adicionalmente, en el capítulo 17, se relacionan otros trece humedales de los que se definen sus principales características.

Evidentemente, no resulta práctico, ni es objeto de esta publicación, estudiar en detalle todos los humedales del Campo de Calatrava. La selección de las diez lagunas elegidas para su análisis pormenorizado se ha realizado en función de sus características geológicas e hidrológicas, su facilidad de acceso para visitantes con finalidad turística y su relación con la cultura y tradición de los municipios donde se ubican (Figura 1.2). Las trece lagunas restantes, aunque también poseen un elevado interés desde el punto de vista de las Ciencias de la Tierra y de sus valores ambientales, tienen un acceso muy limitado para el público en general, básicamente por encontrarse en propiedades privadas con diversas actividades agrícolas en su entorno.

Durante los trabajos de campo llevados a cabo para la elaboración de este libro se han visitado la gran mayoría de estas lagunas, hervideros y fuentes; lamentablemente hay que destacar que buena parte de ellas carecen de protecciones físicas, elementos de información o de accesos regulados. No es extraño observar en algunas de ellas vertidos de escombros, otras se encuentran roturadas para su aprovechamiento agrícola y en algunos puntos hay restos de plásticos, suciedad, etc. En el capítulo 5 se recoge la normativa general de protección ambiental y, en los capítulos correspondientes a las diez lagunas de las estudiadas en detalle, las figuras específicas de protección de cada humedal.



Figura 1.2. Laguna de La Carrizosa (C. Camuñas, STA CN IGME-CSIC)

En opinión de los autores de este libro, las Administraciones públicas competentes deberían dar a conocer sus valores como patrimonio geológico y medioambiental, así como llevar a cabo la protección y salvaguarda de estos lugares tan singulares, ya que la actual situación de abandono de algunos de ellos compromete seriamente su supervivencia.

Finalmente, es digno de resaltar el sincronismo existente entre la publicación de este libro y la tramitación del "Geoparque Volcanes de Calatrava. Ciudad Real", impulsado por el Gobierno de Castilla-La Mancha, cuya declaración ha sido aprobada por el Consejo Ejecutivo de la Unesco, con fecha 27 de marzo de 2024, siendo el número 17 de los geoparques reconocidos en España.



Capítulo 2

Marco geográfico, hidrológico e hidrogeológico

Olga García Menéndez
Carlos Baquedano Estévez





2. Marco geográfico, hidrológico e hidrogeológico

Marco geográfico

Las lagunas volcánicas, hervideros y fuentes recogidas en esta publicación se encuentran en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, concretamente en la parte central de la provincia de Ciudad Real, en la comarca natural e histórica del Campo de Calatrava. Esta se extiende entre los municipios de Fernán Caballero al norte, Moral de Calatrava al este, Puertollano al sur y Corral de Calatrava al oeste. Según el mapa de comarcas de Ciudad Real de la Diputación Provincial (Figura 2.1), la del Campo de Calatrava está formada por veinticuatro municipios, que ordenados por número de habitantes, de mayor a menor, son los siguientes: Ciudad Real, Puertollano, Miguelturra, Bolaños de Calatrava, Almagro, Argamasilla de Calatrava, Moral de Calatrava, Pozuelo de Calatrava, Carrión de Calatrava, Torralba de Calatrava, Poblete, Aldea del Rey, Alcolea de Calatrava, Corral de Calatrava, Fernán Caballero, Granátula de Calatrava, Picón, Valenzuela de Calatrava, Villamayor de Calatrava, Ballesteros de Calatrava, Los Pozuelos de Calatrava, Caracuel de Calatrava, Cañada de Calatrava y Villar del Pozo. También se suelen considerar como parte de esta comarca las poblaciones de Almodóvar del Campo y Calzada de Calatrava, aunque sus términos municipales se incluyen en las comarcas de Alcudia y Sierra Morena, respectivamente. Los veintiséis municipios suman un total de 198.837 habitantes (datos de 2022 del INE), destacando las poblaciones de Ciudad Real con 74.850 habitantes y Puertollano con 45.539 habitantes, que constituyen el 61% de la población de la comarca.

Geográficamente, la comarca se puede delimitar considerando la franja comprendida entre los Montes de Toledo como límite septentrional y Sierra Morena como el meridional, las elevaciones cuarcíticas marcarían el



Figura 2.1. Comarcas naturales e históricas de la provincia de Ciudad Real (modificado del Área de Desarrollo Rural, Turismo y Sostenibilidad de la Diputación de Ciudad Real)

límite occidental mientras que sus límites son más difusos en el área oriental.

Morfológicamente, se trata de una región situada en el borde meridional de la meseta sur y se caracteriza por la alternancia de cerros de origen volcánico y sierras paleozoicas alargadas y subparalelas, generalmente alineadas en dirección este-oeste y con altitudes entre 800 y 850 m s.n.m. Estas sierras separan amplias depresiones, a veces cerradas y otras comunicadas con la Llanura Manchega, con una altura variable entre 650 y 700 m s.n.m.

El pico con mayor cota topográfica (La Mojina) se encuentra en la sierra de Calatrava, en el municipio de Aldea del Rey, elevándose hasta alcanzar 1.069 m s.n.m., mientras que la cota mínima se ubica en el valle del río Guadiana, a su paso por el municipio de Los Pozuelos de Calatrava, con 550 m s.n.m.

La zona volcánica del Campo de Calatrava es, junto con la comarca de la Garrocha en Gerona y el cabo de Gata en Almería, una de las tres zonas volcánicas de la península ibérica en las que se ha manifestado la actividad volcánica reciente (< 7,5 Ma) y ha dado lugar a un conjunto de morfologías y depósitos de elevado interés científico y geoturístico (Gosálvez *et al.*, 2022a).

Los materiales volcánicos se distribuyen en un área de unos 4.500-5.000 km^2. Se han catalogado hasta 350 puntos de emisión volcánica, correspondiendo aproximadamente un 50% a volcanes magmáticos generados en erupciones efusivas y estrombolianas (Becerra, 2013), que generan un relieve de volcanes en cúpula, lagos de lava, conos formados por piroclastos de caída, flujos de spatter, coladas de diversa estructura interna y morfología superficial y amplios derrames fisurales de basalto. La otra mitad corresponde a erupciones hidromagmáticas, freáticas o freatomagmáticas, producidas por la presencia de agua ajena al sistema volcánico que, ocasionalmente, interfiere en el proceso de ascenso del magma hacia la superficie. Esta interferencia es responsable de la ocurrencia de fases eruptivas de alta explosividad, acompañadas de la consiguiente emisión de flujos piroclásticos y la formación de los denominados *maares*, que pueden dar lugar a humedales (González, 2023).

Marco hidrológico, geológico e hidrogeológico

A continuación, se resumen las principales características hídricas, geológicas e hidrogeológicas de la comarca del Campo de Calatrava, en relación con las lagunas volcánicas, los hervideros y las fuentes descritas en los capítulos 6 a 16 de la presente publicación (Figura 2.2).

Desde el punto de vista hidrológico, todas las lagunas de la presente publicación se sitúan en la Demarcación Hidrográfica del río Guadiana, en concreto en su cuenca alta.

El principal curso fluvial que atraviesa la comarca del Campo de Calatrava es el río Guadiana y sus tributarios por la margen izquierda: los ríos Jabalón y Tirteafuera (Figura 2.2). El río Guadiana cruza la zona norte de la comarca, de este a oeste. El río Jabalón recorre la parte central siguiendo una dirección suroeste-noreste. A este río conducen sus aguas varios arroyos, como el Sequillo y el Tamujar, en su mayoría de carácter intermitente, ya que solo llevan agua en los períodos de precipitaciones intensas, permaneciendo secos el resto del tiempo. En la parte sur de la comarca, discurren los ríos Tirteafuera y Ojailén.

En los ríos Guadiana y Jabalón, la Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG) tiene desplegadas una serie de estaciones de control de los estados cuantitativo y cualitativo de los recursos hídricos, que permiten establecer las características fisicoquímicas de sus

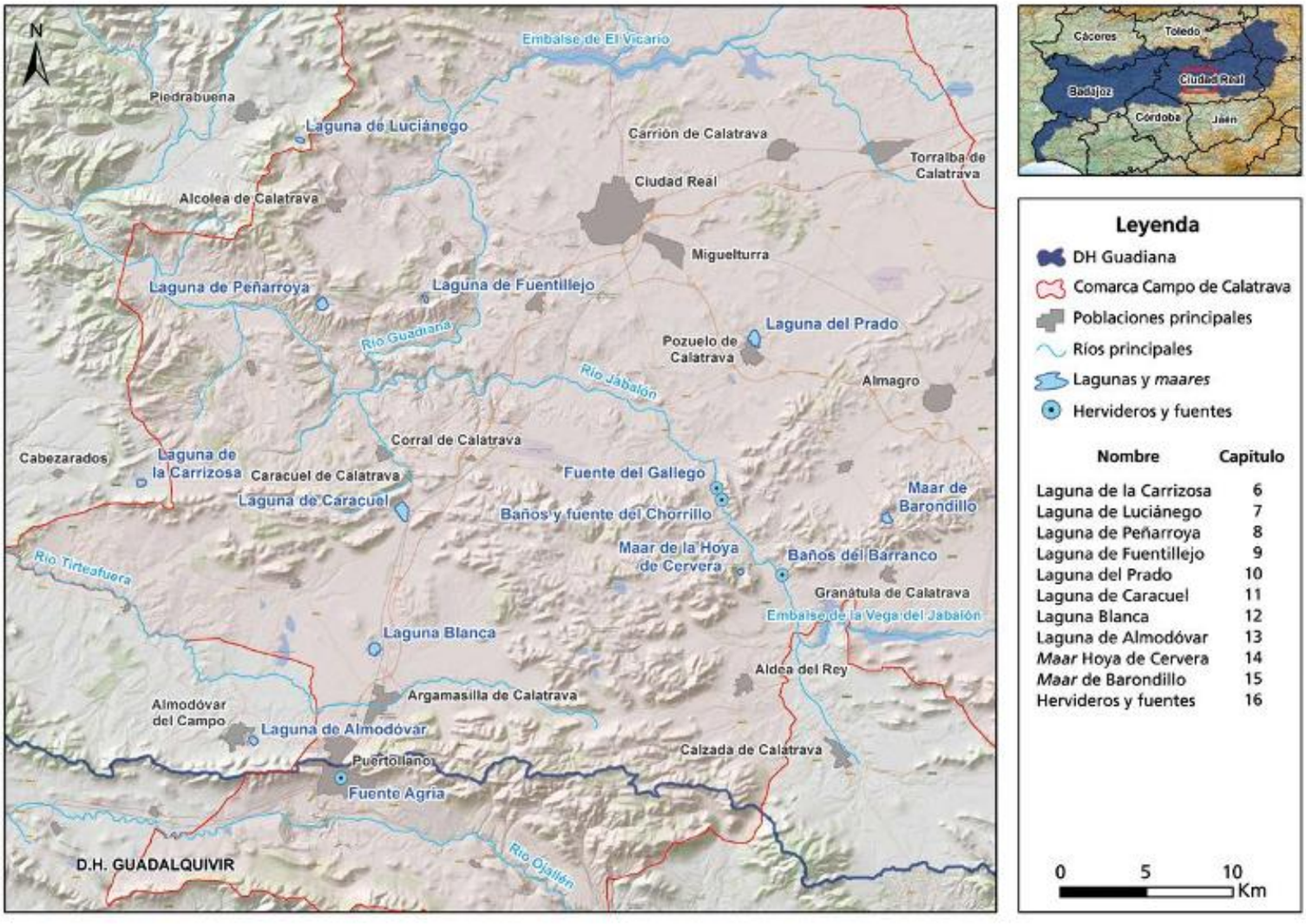


Figura 2.2. Mapa de localización de las lagunas, maares, *hervideros y fuentes de la presente publicación*

aguas. Ambos ríos, junto con el tramo del río Guadiana después de su confluencia, presentan una mineralización media-baja, alrededor de 1.500 µS/cm. En detalle, y tomando valores promedio para el año 2022, el río Jabalón, entre el embalse de la Vega del Jabalón y la confluencia con el río Guadiana, presenta una conductividad eléctrica de 1.450 µS/cm, un pH de 8,0, una concentración de oxígeno disuelto de 9 mg/L, de sulfatos 330 mg/L y de cloruros 105 mg/L; en cuanto al nitrógeno y al fósforo las concentraciones son bajas: 6 mg/L de nitratos y 0,02 mg/L de fósforo total, situándose el amonio y los fosfatos por debajo del límite de detección.

En el caso de río Guadiana, entre el embalse de El Vicario y la confluencia con el río Jabalón, se dispone de una de las estaciones del Sistema de Información de Redes Automáticas (SIRA) de la CHG, que permite tener valores diarios de algunos parámetros controlados. La conductividad eléctrica se mantiene alrededor de 1.500 µS/cm, con ciertos periodos en los que se registran descensos de la conductividad de hasta 500 µS/cm. Por su parte, el pH varía entre 6,5 y 7,5, el oxígeno disuelto entre 1,5 y 11 mg/L y los fosfatos entre 1 y 10 mg/L.

Después de la confluencia de los ríos Guadiana y Jabalón, la calidad química es similar a la expuesta en los dos puntos anteriores, con valores promedio para el año 2022 de 1.420 µS/cm de conductividad eléctrica, pH de 8,0; 7,4 mg/L de oxígeno disuelto, 280 mg/L de sulfatos, 215 mg/L de cloruros, 4 mg/L de nitratos, 0,25 mg/L de amonio, 3,25 mg/L de fosfatos y 1,5 mg/L de fósforo total.

En la comarca se ubican dos embalses, el embalse de El Vicario y el de la Vega del Jabalón (Figura 2.2). El primero, situado en el río Guadiana, aprovecha un pequeño relieve en cuarcitas paleozoicas para definir la cerrada de la presa y su vaso ocupa terrenos de los términos municipales de Ciudad Real (margen izquierda) y Miguelturra (margen derecha). Es una presa de gravedad, de 173 m de longitud en coronación y 21 m de altura, que fue puesta en explotación en el año 1973, con una capacidad de casi 33 hm^3. El embalse atiende una zona regable de unas 5.000 ha (CHG, 2023). Las características fisicoquímicas de las aguas muestran una mayor variabilidad que las registradas en las aguas del río Guadiana; así, para el año 2022, la conductividad eléctrica se encuentra en un amplio abanico entre 400 y 6.400 µS/cm, con un valor promedio de 4.400 µS/cm. El pH varía entre 7,0 y 9,0 y el oxígeno disuelto entre 0,5 y 14, 5 mg/L. Lo mismo sucede con los iones mayoritarios como los sulfatos, que se encuentran entre 100 y 2.100 mg/L (valor promedio de 1.500 mg/L), y los cloruros, entre 50 y 1.050 mg/L, o el ion nitrato, que varía entre 0 y 32 mg/L.

El embalse de la Vega del Jabalón se sitúa en el río Jabalón, en el término municipal de Calzada de Calatrava. Fue construido entre finales de los años ochenta e inicios de los noventa. El emplazamiento se ubica sobre un gran afloramiento de rocas volcánicas (basaltos), material que ha sido utilizado como escollera. El cauce y la suave margen derecha descansan sobre materiales detríticos limoarcillosos y un nivel de areniscas. Tiene 535 m de longitud en coronación, 25 m de altura y una capacidad de 33,5 hm^3. El embalse suministra agua a las localidades de Almagro y Bolaños de Calatrava, así como a otras poblaciones más pequeñas, y cuenta con una planta potabilizadora, construida por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y situada al pie de la presa (CHG, 2023). La composición química de las aguas presenta, al igual que en el embalse de El Vicario, una gran variabilidad. Así, a lo largo del año 2022, se aprecia un aumento de la concentración de los iones, con máximos en el mes de diciembre, y, al contrario, una disminución de enero a diciembre de ciertos parámetros como el oxígeno disuelto. A modo de ejemplo, la conductividad eléctrica presenta valores entre 3.400 y 12.100 µS/cm, con un valor promedio de 5.700 µS/cm, el pH queda comprendido entre 8,0 y 10,0 (valor promedio de 8,5), el oxígeno disuelto varía entre 0 y 17 mg/L (valor promedio de 7 mg/L) y los nitratos quedan en un espectro entre 1 y 42 mg/L (valor promedio de 6,5 mg/L).

Desde el punto de vista geológico, los materiales aflorantes más antiguos de la comarca pertenecen al Paleozoico y están dispuestos en alineaciones cuarcíticas según directrices hercínicas, dando lugar a los relieves más elevados. Entre estas sierras, se forman sucesivas depresiones que están recubiertas por sedimentos cenozoicos, que fundamentalmente son niveles de edad pliocena de la etapa terminal de relleno de la Cuenca Manchega (IGME, 2018).

La sedimentación del Plioceno está compuesta esencialmente por materiales de origen detrítico y en menor medida de tipo carbonatado. Sobre esta última unidad se disponen los sedimentos cuaternarios, también detríticos, generalmente asociados a los cursos fluviales y al desmantelamiento de las formaciones más antiguas.

Relacionado con este relleno de cuenca existe una importante etapa de vulcanismo que da lugar a sucesivos episodios interestratificados con el relleno Plioceno y diseminados sobre el basamento Paleozoico. De tal manera que una de las características morfológicas más evidentes en esta zona es la presencia de estas manifestaciones volcánicas, como los conos y los *maares* (Camuñas, 2022).

Hidrogeológicamente, la comarca del Campo de Calatrava, así como las lagunas volcánicas, hervideros y fuentes descritas en esta publicación se sitúan en la Masa de Agua Subterránea (MASb) 041.009 Campo de Calatrava, exceptuando la laguna de Peñarroya, emplazada en una zona de baja permeabilidad, fuera de los límites de esta MASb, si bien se encuentra muy próxima al límite occidental de la misma (Figura 2.3). La MASb Campo de Calatrava está definida en la tercera revisión del Plan Hidrológico del Guadiana, 2022-2027 y tiene una superficie total de 2.020 km^2.

La hidrogeología de la zona es compleja, como consecuencia del gran número de edificios volcánicos existentes. Respecto a la permeabilidad, las formaciones geológicas del Plioceno y Cuaternario están constituidas

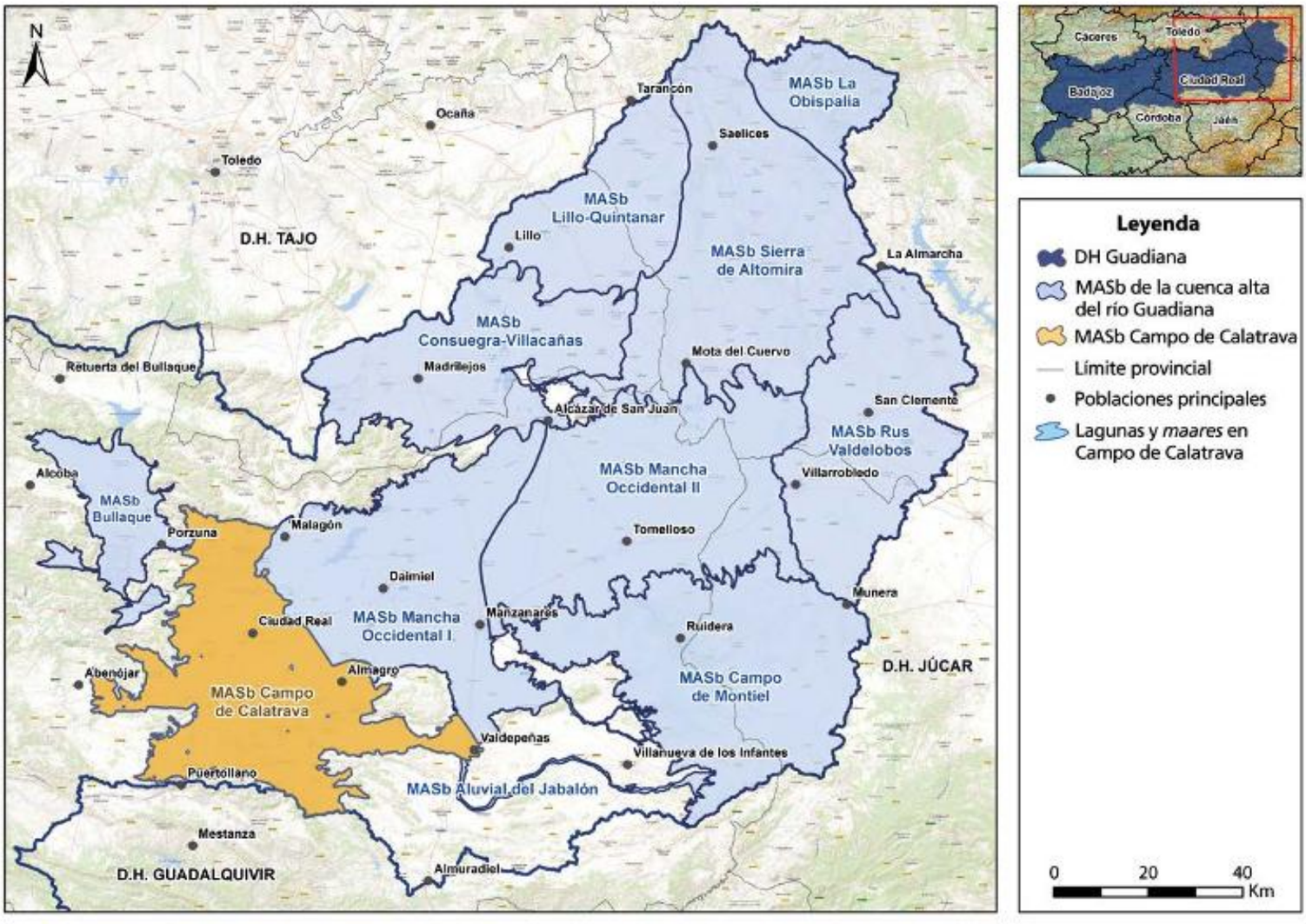


Figura 2.3. Mapa de localización de la MASb Campo de Calatrava en la cuenta alta del Guadiana

por una amplia variedad de materiales, desde conglomerados, gravas y arenas (depósitos detríticos) a calizas y margocalizas (materiales carbonatados), los cuales llevan asociados permeabilidades variables, de baja a muy alta; los materiales volcánicos también cuentan con permeabilidades de medias a altas. La base impermeable está formada principalmente por las formaciones cámbricas y ordovícicas, compuestas por cuarcitas y pizarras, que son las responsables de los relieves más elevados de la MASb (IGME-DGA, 2010).

Estos materiales, de diversa naturaleza, edades distintas y diferente comportamiento hidráulico, se encuentran hidrogeológicamente conectados entre sí, comportándose como un acuífero multicapa de carácter libre, con acuíferos superficiales de tipo aluvial y acuíferos colgados de tipo calizo (Plioceno) drenados por los ríos Guadiana y Jabalón.

La recarga de los acuíferos se produce por infiltración directa del agua de lluvia y, en menor medida, por los retornos de riego; mientras que las salidas naturales del agua subterránea se producen por las descargas hacia los ríos Guadiana y Jabalón y por la evaporación directa en las zonas en las que el nivel freático está próximo a la superficie (CHG, 1999).

En cuanto a los niveles piezométricos de la MASb Campo de Calatrava, se sitúan en torno a 610-670 m s.n.m., encontrándose el nivel freático en general a pocos metros de la superficie (Base de Datos AGUAS del CN IGME-CSIC).

El Campo de Calatrava presenta una gran variedad respecto a la composición de las aguas subterráneas, existiendo fenómenos de singular interés ligados al vulcanismo de la región (Benítez y Pulido, 2010), como es la existencia los hervideros, junto con la presencia de emanaciones de gases y, en ocasiones, elevación de la temperatura del agua.

Los análisis químicos de la Base de Datos AGUAS del CN IGME-CSIC del periodo 1974-1976 nos permiten establecer las características químicas en régimen natural. Así, la facies hidroquímica predominante es la bicarbonatada, con el 36% de las aguas analizadas, pero también es importante la facies sulfatada (13%) y las aguas mixtas sulfatadas-bicarbonatadas (27%) y bicarbonatadas-sulfatadas (13%). En cuanto a los cationes, las aguas son mixtas magnésicas-cálcicas y cálcicas-magnésicas (84%). En general, los valores de conductividad eléctrica indican una mineralización baja-media (<1.500 µS/cm en el 44% de los casos), si bien se registran puntos con una conductividad que supera los 2.500 µS/cm (18%), alcanzándose, de manera puntual y en una sola muestra, el valor de 5.400 µS/cm.

En cuanto a la composición actual (2022), se ha evaluado a partir de los datos de la Red de Control de la Calidad de las Aguas Subterráneas de la CHG. Las facies bicarbonatadas y sulfatadas siguen siendo las más abundantes, si bien se observa un desplazamiento hacia una facies con una componente clorurada más significativa, con aguas mixtas bicarbonatadas-cloruradas y sulfatadas-cloruradas. La mineralización del agua es baja-media, con la mayoría de los puntos por debajo de 1.500 µS/cm.

Las aguas subterráneas de la cuenca alta del río Guadiana constituyen un recurso hídrico de gran interés. Esto ha generado, 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, y resulta, compleja y controvertida, conduciendo a la declaración de la MASb Campo de Calatrava en riesgo de no alcanzar el buen estado cuantitativo (BOE, 2017).

En el capítulo correspondiente a cada una de las lagunas seleccionadas 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.

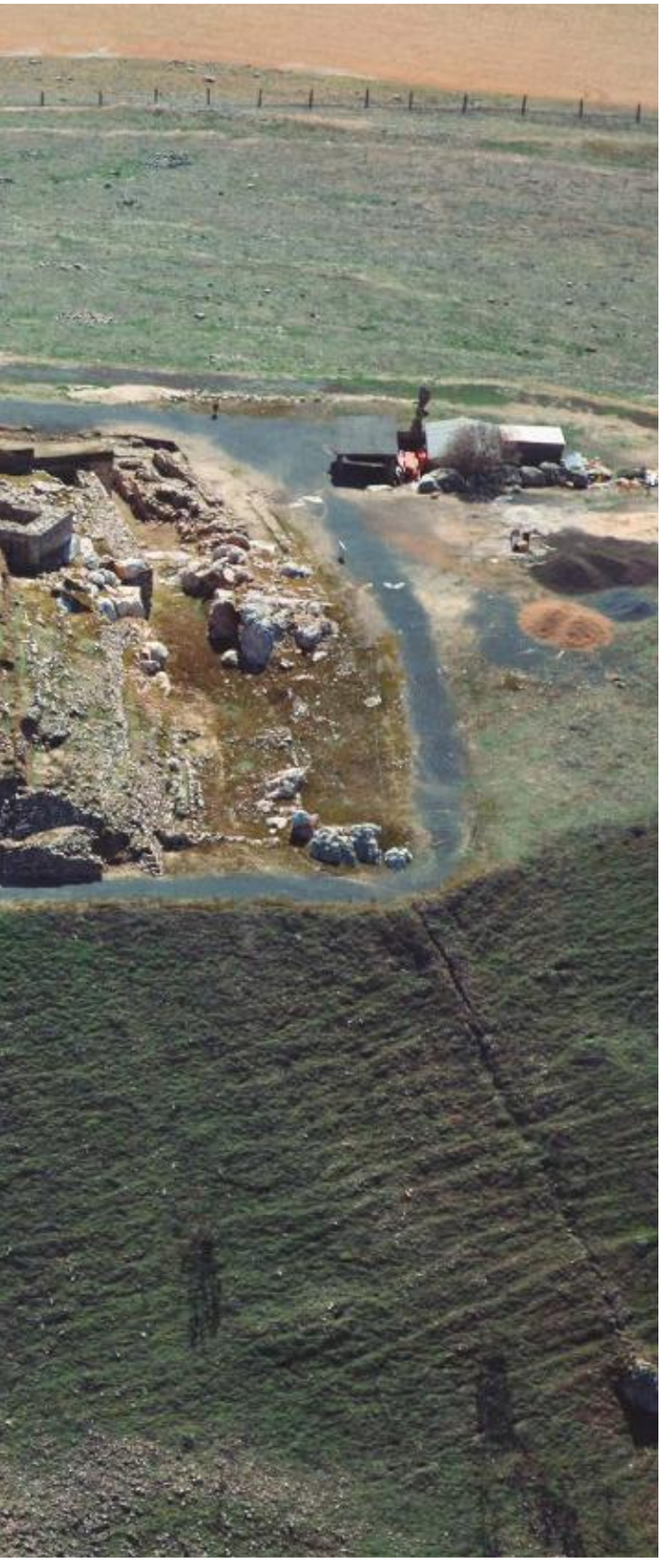


Capítulo 3

Breve historia del territorio del Campo de Calatrava

Lourdes Albacete Carreño
Bruno J. Ballesteros Navarro





3. Breve historia del territorio del Campo de Calatrava

El Campo de Calatrava responde a una unidad territorial muy bien definida, tanto desde el punto de vista geográfico como desde el punto de vista histórico, cuyo topónimo aparece por primera vez en la documentación a finales del siglo XIII y principios del XIV. Vertebrada en torno a la cuenca hidrográfica del río Guadiana, alberga, sin embargo, zonas de llanura, aptas para la agricultura, y áreas elevadas y abruptas donde se asienta la vida salvaje. Esta configuración en sectores de características opuestas ha marcado diferencias en las dinámicas humanas, reflejo de las sociedades que se han sucedido sobre el territorio a lo largo de la historia.

En este capítulo se describen los principales yacimientos paleontológicos y arqueológicos del Campo de Calatrava, así como un breve relato de los principales hechos acontecidos en la comarca desde el Imperio Romano.

Principales yacimientos paleontológicos y arqueológicos

Paleontología

El vestigio paleontológico más relevante del Campo de Calatrava es sin duda el de Las Higueruelas (Alcolea de Calatrava). El yacimiento, localizado en los sedimentos que rellenan un *maar*, es considerado como uno de los más significativos del Villafranquiense inferior español (Plioceno superior-Pleistoceno) y se caracteriza por contener abundantes restos fósiles de mastodontes, gacelas, ciervos, caballos, rinocerontes, hienas, guepardos, aves, tortugas gigantes, anfibios y peces.

Por su importancia, está calificado como Lugar de Interés Geológico por el Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España, con la denominación TM133 "Yacimiento paleontológico plioceno de Las

Higueruelas", en el contexto de la Ley 42/2007 "Yacimientos de vertebrados del Plioceno-Pleistoceno español". También, en diciembre de 1988 se inició el expediente de declaración de Bien de Interés Cultural en la categoría de "zona arqueológica".

Una buena parte de los restos encontrados en Las Higueruelas está expuesta en una sala especial, inaugurada en 1995, del Museo Provincial de Ciudad Real. Entre ellos, se encuentra el esqueleto montado del mastodonte *Anancus arvernensis* (Figura 3.1), así como restos de más de cincuenta animales diferentes representativos de su fauna. En 2003 se añadieron reconstrucciones a tamaño natural de algunos de estos ejemplares. Asimismo, pueden verse restos de *Anancus* procedentes de este yacimiento en el Museo Geominero de Madrid, que incluyen un cráneo, una mandíbula y sus defensas (Figura 3.2).

Arqueología

El Campo de Calatrava también alberga relevantes yacimientos arqueológicos y asentamientos correspondientes al Paleolítico inferior y medio, Neolítico, Calcolítico o Edad del Cobre, Edad del Broce, Edad del Hierro y Época Antigua.

En el **Paleolítico inferior** los restos son relativamente abundantes. Generalmente se encuentran ubicados al aire libre, embutidos en terrazas fluviales, antiguos fondos de valle o en depósitos relacionados con bordes de antiguas lagunas, lo que indica la preferencia de la población por este tipo de hábitat. Hasta el momento se desconocen asentamientos de este periodo en cuevas y abrigos.

En el sector de la cuenca del río Guadiana coincidente con el Campo de Calatrava se han detectado zonas con una alta densidad de estaciones achelenses, cuyas series industriales representan diferentes estadios. Los yacimientos más representativos son El Martinete y Albalá en las terrazas del río Guadiana, y Puente Morena en las del río Jabalón, donde se ha recuperado abundante industria lítica de cuarcita, atribuida al Achelense medio. Las últimas fases del Achelense están muy bien representadas en El Sotillo (Malagón).

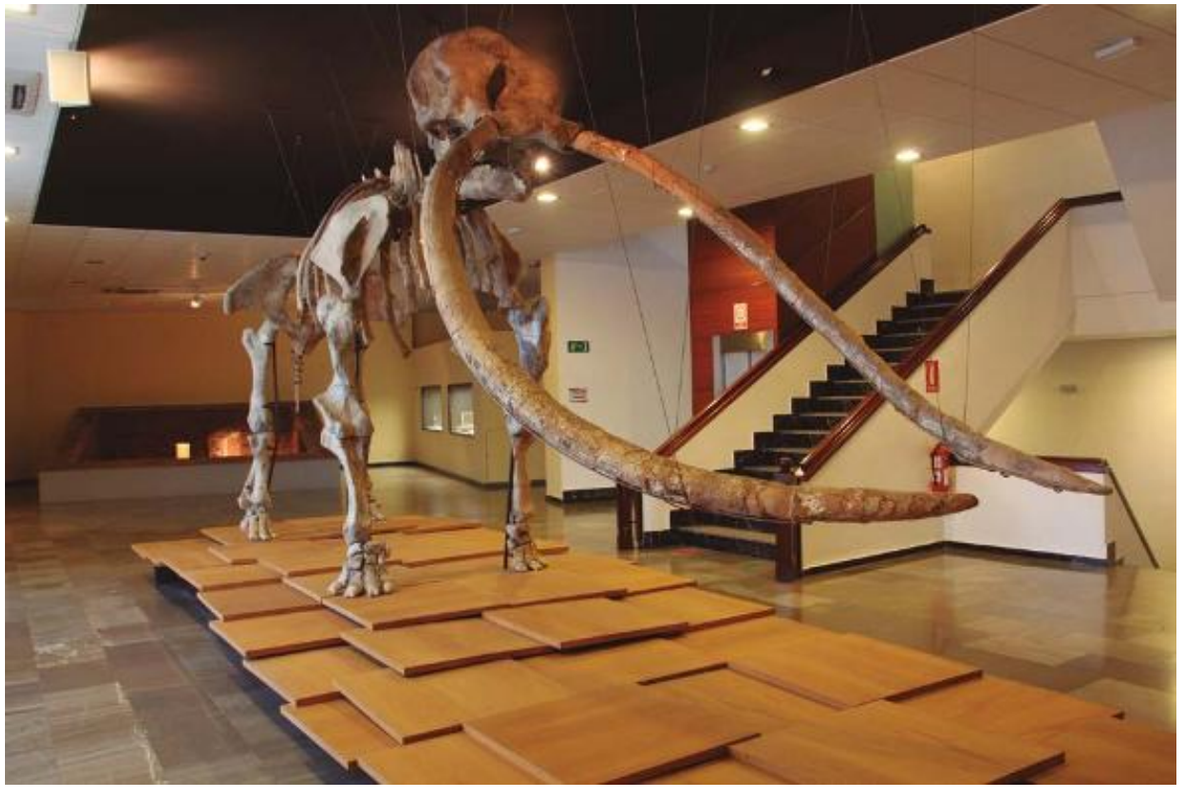


Figura 3.1. Mastodonte Anancus arvernensis*. Las Higueruelas (Alcolea de Calatrava, Ciudad Real). Museo Provincial de Ciudad Real (L.A. Carreño)*



Figura 3.2. Restos fósiles de mastodonte del yacimiento paleontológico de Las Higueruelas (Alcolea de Calatrava, Ciudad Real). Museo Geominero (C. Camuñas)

Los asentamientos del **Paleolítico medio** aparecen de forma mayoritaria en superficie, sin contexto estratigráfico, y se localizan en zonas ligeramente elevadas sobre los cauces fluviales y en los bordes de antiguas lagunas o en los fondos de los valles. Entre los numerosos yacimientos registrados sobresalen el Cerro de la Atalaya, en las inmediaciones de Ciudad Real, o el de Porzuna (conjunto de la Solana de los Monteros).

En el **Neolítico** destacan los hallazgos en la Vega de los Morales (Aldea del Rey) (Benítez de Lugo *et al*., 2019), un asentamiento al aire libre, sin estructuras, en la ladera de un valle fluvial, cuyos materiales corresponden al Neolítico terminal y comienzos del Calcolítico.

En el **Calcolítico**, o **Edad del Cobre**, se conoce el yacimiento de Huerta Plaza (Poblete), un asentamiento con fondos de cabaña y silos, algunos de estos últimos reutilizado como fosa funeraria (Benítez de Lugo *et al*., 2004).

La **Edad del Bronce** en esta comarca cabe calificarla como Cultura de las Motillas, que integra uno de los complejos culturales más singulares de la Prehistoria reciente europea (Benítez de Lugo and Mejías, 2017). En esta zona existen diversos emplazamientos atribuidos a esta edad: lugares sagrados, poblados fortificados en altura, campos de silos y motillas. Entre estas últimas cabe destacar la motilla de Torralba (Torralba de Calatrava) que en 1898 fue la primera en ser estudiada (Benítez de Lugo *et al*., 2022a), además de Bocapucheros y La Encantada.

Bocapucheros (Almagro), situado en el corazón del Campo de Calatrava, aproximadamente a 6 km al sureste del casco urbano de la localidad de Almagro, fue un lugar sagrado en la Prehistoria Reciente (Benítez de Lugo *et al*., 2022b). Se trata de un conjunto de monumentos funerarios construidos sobre un promontorio natural con una gran visibilidad (Figura 3.3), principalmente hacia el sur y el oeste, siendo especialmente notorio desde el paso que comunica la meseta Sur con la Alta Andalucía. Sobre él se edificaron en la Edad Media las fortalezas de Salvatierra y Calatrava la Nueva.



Figura 3.3. Vista general del yacimiento arqueológico de Bocapucheros en 2022 (Almagro, Ciudad Real) (L. Benítez de Lugo)

La Encantada (Granátula de Calatrava) es un poblado que responde a un asentamiento en cerro situado en altura sobre el valle y, por tanto, con un amplio control visual del mismo. Las excavaciones arqueológicas realizadas entre 1977 y 1991 permitieron sacar a la luz restos urbanísticos, funerarios, arquitectónicos y un conjunto de materiales arqueológicos.

Durante el Bronce final se instala en Alarcos-Lacurris un nuevo grupo de población en la zona alta y amesetada de La Alcazaba, cambiando así el patrón de asentamiento constatado en el yacimiento para el Bronce Pleno (Cultura de las Motillas). Se hallan materiales cerámicos descontextualizados que evidencian las influencias de la meseta Norte y del Bajo Guadalquivir. La relación social con otros asentamientos de la provincia, como La Bienvenida (Almodóvar del Campo, Ciudad Real) (Figuras 3.4 y 3.5) o El Cerro de las Cabezas (Valdepeñas, Ciudad Real) (Figura 3.6), también parece evidente.

Existen niveles, peor caracterizados, en otros lugares del Campo de Calatrava, como La Minilla o en La Vega del Jabalón, ambos en el término municipal de Aldea del Rey, que concentran interesantes hallazgos del Bronce final.

Durante la **Edad del Hierro** y la Época Antigua el elemento rector del poblamiento ibérico fue el *oppidum*, que se define como un asentamiento fortificado, normalmente ubicado en altura, o, al menos, con un emplazamiento estratégico sobre el entorno (Figura 3.7). Uno de los poblados ibéricos más importantes del Campo de Calatrava es el *oppidum* de Alarcos-Lacurris (Ciudad Real), que disponía de fortificación, aunque muy alterada por actuaciones posteriores. Un segundo poblamiento ibérico es el representado por unas dependencias de planta cuadrada de carácter doméstico, construidas con muros de tapial o piedra, bancos adosados y pavimentos de arcilla roja. Y, un



Figura 3.4. Vista aérea del yacimiento arqueológico de La Bienvenida. Almodóvar del Campo, Ciudad Real. (M. Zarzalejos, 2007)



Figura 3.6. Vista panorámica del Cerro de las Cabezas en abril de 2013 (L. Benítez de Lugo)



Figura 3.5. Yacimiento arqueológico de La Bienvenida. Almodóvar del Campo, Ciudad Real (M. Zarzalejos, 2007)

tercero, corresponde a dos habitaciones rectangulares de un mismo edificio, separadas por un tabique de adobe, fechado por la presencia de cerámicas griegas a finales del siglo V a.C. o inicios de la centuria siguiente.

Del año 100 a.C. datan las primeras menciones históricas a la ciudad Oria-Oretum, refrendada por Estrabón a finales de la etapa romana republicana o comienzos de la altoimperial. Cerro Domínguez-Oretum, conocido popularmente como "Cerro de Oreto", se encuentra en la margen izquierda del río Jabalón, en el término de Granátula de Calatrava (Ciudad Real), y se trata de un cerro de origen calizo amesetado y ligeramente aterrazado, elevado unos 70 m sobre el valle del Jabalón. La mayor parte de la historiografía, tanto por tradición oral como por diversos hallazgos epigráficos, ha ubicado aquí la antigua capital íbera de la Oretania.

También el asentamiento de Calatrava la Vieja (Carrión de Calatrava, Ciudad Real), centro de transcendental importancia en la Historia Medieval de la mitad sur de la Península Ibérica, como se reflejará más adelante, muestra unos posibles antecedentes como *oppidum* ibérico del área oretana septentrional.

El Imperio Romano

La etapa altoimperial aparece bien atestiguada también en Cerro Domínguez-Oretum. Aunque no existen datos realmente sólidos para afirmarlo con seguridad, de este periodo puede datar el poblamiento del *oppidum* de Caracuel-Carcuvium (Ciudad Real), localizado al este de la actual población en una posición intermedia entre La Bienvenida-Sisapo y Alarcos-Lacurris o el propio Cerro Domínguez-Oretum, identificado por los historiadores tradicionales como la Carcuvium de la Vía 29 del Itinerario de Antonino. Este último consiste en un cerro fortificado de unas 8 ha, con una muralla muy perceptible topográficamente, elevado unas decenas de metros sobre los terrenos circundantes.

Varios testimonios epigráficos atestiguan la existencia de otros importantes asentamientos de población romana altoimperial. El vestigio más relevante es una



Figura 3.7. Vista general del Cerro de Alarcos con el río Guadiana al fondo (Archivo Alarcos, JCCM)

inscripción funeraria hallada en el paraje de Los Villares, en Corral de Calatrava (Ciudad Real), una posible necrópolis del asentamiento. Existe, además, otra inscripción procedente del vecino Caracuel dedicada a una divinidad, actualmente depositada en el Museo de Ciudad Real.

La villa romana de Santa Leocadia (Ciudad Real) fue descubierta al construirse el aeropuerto de Ciudad Real y debió de tener importancia en su momento, a juzgar por los testimonios materiales recuperados. Existen posibles fragmentos de *terrasigillata* hispánica bajoimperial y también un gran número de ejemplares de terrasigillata africana. Los ejemplares aislados de esta última clase cerámica pertenecen invariablemente a grandes fuentes. Entre el importante elenco de cerámicas comunes o de cocina destaca un conjunto de ollas con ranura en el borde que, pese a su amplia cronología, resultan muy abundantes en época bajoimperial.

La época islámica

Durante el dominio islámico el poblamiento del Campo de Calatrava era escaso, con pocos centros urbanos y la mayoría en decadencia. Esta hipótesis se sustenta en el hecho de que en el siglo VIII Táriq ibn Ziyad, caudillo de la expedición musulmana que inició la conquista de la Península Ibérica, encontró muy escasa oposición en su avance hacia el norte. Oreto caería en decadencia en época islámica y Caracuel sobrevivió porque un caudillo musulmán se asentó en la población. La decadencia final de Oreto, como se detallará más adelante, fue propiciada por el ascenso de Calatrava, centro creado por los nuevos señores tras la conquista islámica.

El devenir histórico de este territorio estuvo caracterizado por la inestabilidad ya que, incluso antes de que la región estuviera en la primera línea de la frontera cristiana durante los siglos IX y X, la cuenca del río Guadiana fue testigo de los sucesivos levantamientos locales que se produjeron en Toledo y en su propio territorio. La comarca estaba dominada por árabes pertenecientes al clan de los Bakr ibn Wàïl, asentado en la región desde los tiempos de la conquista, en torno al año 711. Algo más tarde, en el año 854, el emir refundó Calatrava, tras ser arrasada por rebeldes toledanos, y se constituyó en el elemento rector de la región, absorbiendo junto con Caracuel la población decadente de Oreto.

Durante la época de las primeras taifas la región quedó como punto de contacto entre Toledo y Santaver (Cuenca), sometida a los devenires de las constantes disputas territoriales entre estos dos reinos. La debilidad y caída del califato redundó en la breve creación de una taifa centrada en Calatrava cuyo poder ostentaba al-Qa'id Abu L-Hasan Ali ben Fath (1010-1035), caudillo de origen bereber del que apenas existen datos biográficos.

Tras la capitulación de Toledo en 1085, las tierras del Guadiana quedaron en manos de Al-Mu'tamid ibn Abbad (1039-1095), rey de Sevilla y poeta, una de las figuras cimeras de las letras de al-Ándalus debido a la refinada sensualidad de sus poemas. Bajo su influencia, la región de Calatrava quedó en primera línea de frontera, iniciándose una etapa de gran inestabilidad y frecuentes incursiones por parte de los cristianos que suscitarán las quejas de Hariz, gobernador de Calatrava.

La medina de Calatrava

Durante la época islámica, Calatrava (Qalat al-Rabat) fue el núcleo urbano principal de la zona. Localizada en el actual término municipal de Carrión de Calatrava (Ciudad Real), a unos 6,5 km al norte del casco urbano de Carrión y a 13 km al noreste de Ciudad Real, la primera noticia documental de su existencia data del año 785. Fue fundada en época Omeya en un vado del Guadiana, un lugar estratégico, desde un punto de vista geopolítico, que se constituyó en el origen y protección de la medina más importante de la zona (Figura 3.8).

En época omeya, Calatrava desempeñó un papel decisivo tanto en las luchas civiles, que enfrentaron a los muladíes de Toledo con el poder central cordobés, como en las diversas rebeliones bereberes de los siglos VIII y IX. Su importancia aumentó desde su inmediata reconstrucción por orden del emir Muhammad I, a raíz de su destrucción por los rebeldes toledanos en el año 853. A partir de esa fecha, y como capital de



Figura 3.8. Muralla defensiva de la fortaleza de Calatrava la Vieja (B.J. Ballesteros)

una extensa región dividida en numerosos distritos, se convirtió en el principal punto de apoyo del poder central cordobés, siendo el lugar más poblado entre Córdoba y Toledo hasta principios del siglo XIII.

Según las fuentes islámicas, la región contaba con un número de poblaciones con desarrollo urbano, aunque probablemente de tamaño limitado (Calatrava, Malagón, Caracuel), así como con una serie de núcleos rurales de los que a menudo se sabe poco más que su existencia (como, por ejemplo, Almodóvar del Campo, Daimiel, Jétar, Villarrubia o Torralba), los cuales darían origen a muchas de las poblaciones actuales.

Tras la abolición del califato de Córdoba, en 1031, Calatrava gozó de cierta autonomía, al tiempo que los reinos taifas de Sevilla, Córdoba y Toledo se disputaban su posesión, hasta caer finalmente en la órbita de este último. Con los almorávides pasó a ser el núcleo islámico más importante frente al, ya por entonces, Toledo cristiano.

Tomada por Alfonso VII en 1147, se convirtió en la plaza cristiana más avanzada frente al islam y la Corona le concedió un fuero aplicable a todas las tierras de esta jurisdicción, el cual podría entenderse como un esfuerzo para fijar su población, así como para atraer nuevos contingentes humanos. Según este fuero, se concedía a sus habitantes los mismos derechos de los que disfrutaban antes de la conquista y se establecían condiciones favorables para el asentamiento de judíos, que huían de los almohades de al-Ándalus.

Después de fracasar la encomienda otorgada a los templarios, Calatrava fue concedida por Sancho III a la orden del Cister (1158), lo que dio lugar al nacimiento de la primera orden militar autóctona de la Península Ibérica que adoptaría el nombre propio de la plaza. Perteneció al reino de Castilla hasta que los almohades la recuperaron de nuevo para el islam a raíz de su victoria en la batalla de Alarcos (1195). Finalmente, Alfonso VIII la retomó de forma definitiva pocos días antes de la batalla de las Navas de Tolosa (1212).

La Orden de Calatrava, como institución, suplantaría a la medina en el papel rector y de identidad del territorio, sobre todo cuando su sede capital se trasladó en 1217 al castillo de Dueñas en Calatrava la Nueva. A partir de ese momento, lejos de la nueva frontera y situada en un lugar malsano, la antigua medina de Calatrava inició su decadencia. Conocida desde entonces como Calatrava la Vieja, quedó como cabeza de una encomienda más de la Orden.

El dominio cristiano

En enero de 1147 Alfonso VII recibió Calatrava en virtud del acuerdo que había alcanzado con Abu Yafar Handin, lo cual implicó controlar prácticamente la cuenca media del río Guadiana, al depender de esta medina Caracuel, Almodóvar, Mestanza y Alcudia. Debido a esta capitulación, se puede considerar que toda la región entró en una nueva fase bajo dominio cristiano, con nuevos criterios organizativos.

En 1195 la zona pasó a poder almohade a raíz del desastre cristiano en la batalla de Alarcos, que tuvo lugar el 19 de julio de 1195 entre las tropas de Alfonso VIII de Castilla y las almohades de Yusuf II. La derrota de las huestes cristianas reforzó de nuevo la dependencia de Calatrava respecto a Córdoba y supuso un gran contratiempo en el avance de la Reconquista. En 1212, tan solo 17 años después, el territorio retornó a manos cristianas cuando los ejércitos coaligados de Alfonso VIII de Castilla, Pedro II de Aragón, Sancho VII de Navarra y voluntarios del Reino de León y del Reino de Portugal derrotaron a Miramamolin (Muhámmad an-Násir) en la batalla de las Navas de Tolosa. Desde este momento, el nuevo poder tendría como una de sus principales preocupaciones reforzar la línea de defensa en la que esta comarca constituía su eje principal.

A partir del siglo XIII las órdenes militares adquieren preeminencia en esta área geográfica, especialmente la Orden de Calatrava, que ya interviene en la batalla de las Navas de Tolosa y se hace con las tierras conquistadas por los cristianos tras la larga época de ocupación islámica. En ellas no se da una sustitución inmediata de una comunidad humana por otra, sino que se establece una organización relativamente continuista, aunque con adaptaciones a las demandas de la sociedad cristiana y a los intereses del nuevo poder. Es en esta época cuando se configura como tal el territorio denominado como Campo de Calatrava, cuya extensión abarcaba buena parte de la actual provincia de Ciudad Real, con una superficie de unos 11.473 km^2.

La Orden de Calatrava

La Orden de Calatrava, junto con las de Santiago, Alcántara y Montesa, es una de las organizaciones militares más importantes surgidas en los reinos medievales hispanos. Además de otras de menor relevancia, estas instituciones también convivieron en la península con algunas de origen extranjero, como la del Temple.

En 1158, el fundador de la Orden, el abad Raimundo de Fitero, se ofreció al monarca para hacerse cargo de la medina de Calatrava y sus territorios, obteniendo su encomienda por parte de Alfonso VII.

La crónica de Rades deja claro que los primeros calatravos fueron unos pocos monjes cistercienses salidos de la abadía navarra de Fitero siguiendo el ideal, inspirado por Bernardo de Claraval, de defenderla de los enemigos de la fe. En este marco histórico, los inicios de la Orden no fueron especialmente auspiciosos, ya que el escaso componente humano originario debía hacerse cargo de un territorio fronterizo de más de 10.000 km^2 dentro de un contexto de indefinición institucional y debilidad numérica, situación que se vio dificultada más aún por la derrota de Alarcos.

Los primeros años de existencia de la Orden (1158-1170) se caracterizaron por la ausencia de una división

administrativa del territorio. Con posterioridad, se produjo una primera configuración (1170-1195) estructurada en torno a las grandes donaciones a la Orden, como la de Sancho IV, que fue complementada, sobre todo a partir del reinado de Alfonso VIII, con numerosas tierras, fortalezas y otros bienes. Asimismo, en esta fase se llevó a cabo un primer intento de estructuración territorial en el que se nombraron los primeros comendadores. El proceso se vio truncado por el desastre de Alarcos en 1195, tras el cual se produjo el paréntesis de dominio almohade.

Tras la victoria de las Navas de Tolosa en 1212, y la recuperación definitiva de Calatrava por los cristianos, se inició una fase que se prolonga hasta finales del siglo XIII en la que se consolidó el territorio al definir sus límites, potenciar la repoblación y extender y sistematizar la red comendataria. En el año 1255, y como contrapeso al poder de la Orden, el rey Alfonso X el Sabio fundó la denominada Villa Real sobre la localidad conocida hasta entonces como Pozo o Pozuelo Seco de Don Gil. La población recibió posteriormente, en 1420, el título de ciudad por parte del rey Juan II de Castilla como premio a su apoyo durante los conflictos civiles acontecidos en el reino durante su juventud, por lo que pasó a llamarse Ciudad Real, denominación que conserva hasta la actualidad. El emplazamiento del antiguo Pozo de Don Gil (geológicamente, un *maar*) aún es rememorado mediante un monumento situado en la plaza del Pilar de la ciudad.

Por último, a finales del siglo XIII dio comienzo un nuevo periodo, que se extendió hasta mediados del siglo XV, en el que la Orden experimentó profundas transformaciones en su seno, trasladándose su sede en la primera época de este siglo a Carrioncillo (hoy Carrión de Calatrava), unos 20 km al norte de la población de Almagro, principal núcleo urbano de la zona (Figura 3.9).



Figura 3.9. Vista panorámica actual de la plaza de Almagro (B.J. Ballesteros)

Esta población experimentó desde entonces un significativo crecimiento hasta convertirse en uno de los puntos nodales del territorio.

Tras la Reconquista, se fueron difuminando los principios en los que se basó la Orden para su creación, desapareciendo gradualmente su espíritu militar y religioso. Sufrió profundas modificaciones en su dinámica interna que la debilitaron, especialmente al ser incorporada a la Corona en 1487. Gracias a una bula papal, Fernando el Católico logró ser elegido Maestre de la Orden, recayendo el título a partir de entonces en los sucesivos monarcas españoles. A este deterioro también contribuyó el que desde el siglo XV comenzaran a desgajarse de los territorios calatravos ciertos ámbitos espaciales que fueron vendidos a miembros de la nobleza, alterando los equilibrios y dinámicas entre las poblaciones y sus espacios (Almagro, 2012).

En 1808, durante la invasión francesa, los bienes de la Orden fueron confiscados por disposición de José I. Posteriormente, restituidos en 1814 por Fernando VII, acabaron finalmente secularizados tras las sucesivas desamortizaciones de Mendizábal y Madoz entre 1835 y 1855. Poco después, la Primera República española suprimió la Orden, pero pudo ser restablecida de nuevo en 1875 con el papado como garante de su organización.

La fortaleza de Calatrava la Nueva

Calatrava la Nueva se halla situada a 936 m de altitud en la cima de un cerro en forma de cono, con vegetación autóctona en sus laderas, rodeado en su base por grandes pedrizas o canchales que hacen difícil su acceso (Figuras 3.10 y 3.11).

La fortaleza actual ocupa 46.000 m^2 y fue construida por los caballeros calatravos entre los años 1213 a 1217, después de la batalla de las Navas de Tolosa, empleando como mano de obra a buena parte de los prisioneros tomados en dicha batalla. Una vez erigida, se convirtió en sede de la Orden de Calatrava y en una de las más importantes fortalezas de Castilla. Su historia corre pareja a la de la propia Orden. El castillo pervivió hasta el siglo XIX, momento en que fue abandonado tras las desamortizaciones religiosas iniciadas por el ministro Mendizábal para sanear las cuentas estatales en 1835.

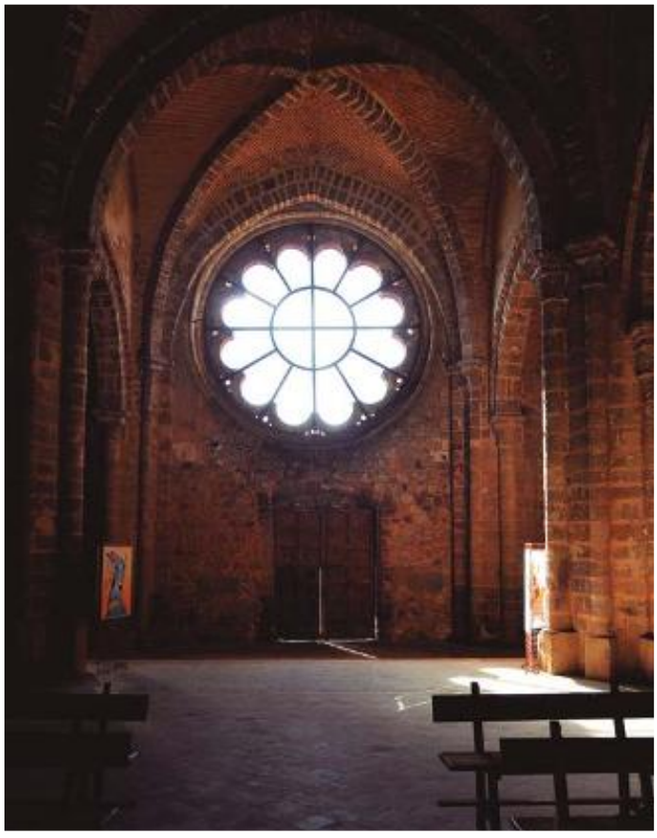
La iglesia, de estilo cisterciense, posee un gran rosetón en su fachada que data del tiempo de los Reyes Católicos (Figura 3.12) y los contrafuertes se disponen a modo de torreones. El interior se estructura en tres amplias naves cubiertas con bóvedas de ladrillo y tres ábsides con arcos apuntados. En el templo estuvo sepultado Alfonso de Molina en un suntuoso sepulcro que se encontraba cobijado por un arco en la Capilla Mayor del templo.



Figura 3.10. Vista panorámica de la fortaleza Calatrava la Nueva en el cerro Alacranejo (B.J. Ballesteros)



Figura 3.11. Detalle de la fortaleza Calatrava La Nueva, ubicada sobre afloramientos rocosos (L.A. Carreño)



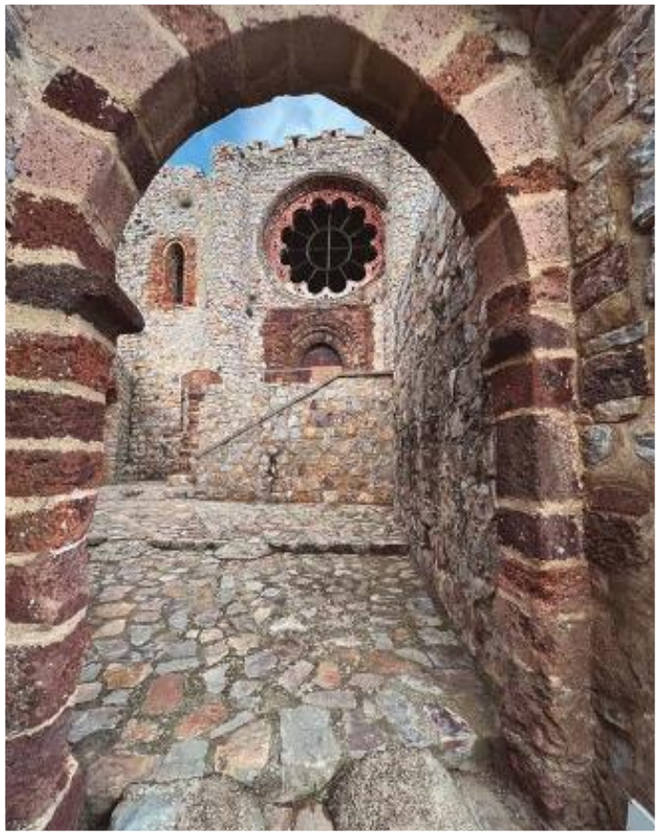


Figura 3.12. Fachada y rosetón de la iglesia cisterciense de Calatrava La Nueva, interior (izda.) y exterior (dcha.) (B.J. Ballesteros)



Capítulo 4

El vulcanismo del Campo de Calatrava

José Luis Barrera Morate
Bruno J. Ballesteros Navarro


CALATRAVA
natura
Manifestaciones volcánicas del Campo de Calatrava
El Campo volcánico de Calatrava se extiende entre los Montes de Toledo y Sierra Morena, en la zona de borde de la cuenca manchega. Se trata de una región en la que se documentan más de 350 centros de emisión (edificios volcánicos) de diversa tipología, según su clase de erupción, originada a lo largo del Plioceno y del Cuaternario en una temporalidad comprendida entre 8.6 ma. y 5200 BP. y que se reparten por un área de 5000 Km2.
Áreas volcánicas de la Península Ibérica
El Macizo Volcánico del Campo de Calatrava
Declarado Monumento Natural por Decreto 91/2008 de 24/06/2008, donde parte de los Términos Municipales de Arnagro, Arganosilla de Cva., Bolaños de Cva., Pozuelo de Cva. y Aldea del Rey.
Se trata de un área geográfica con importantes manifestaciones eruptivas en la que se pueden observar una gran variedad de elementos volcanoestructurales como cráteres, coladas, anillos de tobas, maares, etc.
Pozos y norias
Volcanes
Hervideros
Fuentes agrias
Maares
Surgencias
Algunas fuentes bibliográficas
ESPEJO CRISTALINO DE LAS AGUAS DE ESPAÑA
A LA HERMOSISIMA
AGUAS MINERALES DE ESPAÑA
AL PUBLICO
Unión Europea
Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural
Castilla-La Mancha
CALATRAVA
Parque Cultural



4. EL VULCANISMO DEL CAMPO DE CALATRAVA

De manera general, y desde el punto de vista geológico, el Campo de Calatrava presenta unas características singulares. Consisten en una disposición de sierras subparalelas de orientación E-O, NNE-SSO y NO-SE, con predominio de pizarras y cuarcitas paleozoicas, que separan depresiones sedimentarias rellenas por materiales detríticos pliocuaternarios en las que se encajan el río Guadiana y sus afluentes, especialmente el río Jabalón. Localmente, el territorio se ve alterado por la presencia de rocas magmáticas generadas en distintos episodios eruptivos.

Las emisiones volcánicas de la provincia de Ciudad Real y su entorno (Figura 4.1), con más de 350 puntos

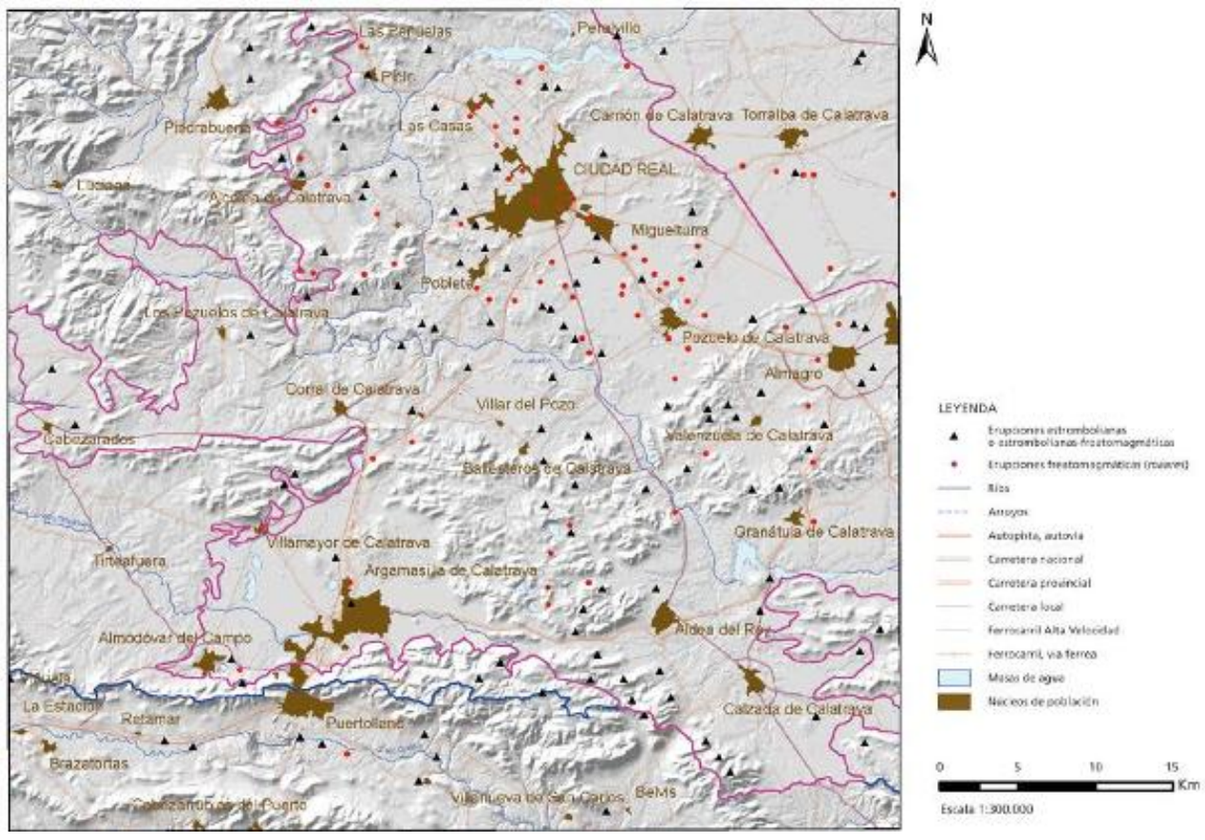


Figura 4.1. Manifestaciones volcánicas del Campo de Calatrava y su entorno (modificado de J.L. Barrera)

mayoritariamente localizados en la comarca del Campo de Calatrava, son únicas en la península ibérica y su modelo genético es minoritario en el contexto geodinámico del planeta. Estas manifestaciones se caracterizan por producirse en un medio intraplaca y por la existencia de numerosas erupciones individuales y dispersas, tanto de tipo hidromagmático, de las que se han identificado unas 170, como estromboliano.

Antecedentes históricos

Aunque los volcanes y las rocas volcánicas del Campo de Calatrava no se reconocieron hasta la primera mitad del siglo XIX, otros fenómenos que las acompañan, como las emisiones gaseosas de CO_2, lo hicieron hace siglos, pero no se relacionaron con la propia actividad volcánica.

El primero que identificó estos procesos eruptivos fue el conocido naturalista irlandés Guillermo Bowles, quien llegó a España en 1752 y, en su viaje hacia Almadén, descubrió las rocas volcánicas de Ciudad Real, señalando los lugares donde afloran. Sus observaciones las dejó escritas en su obra *Introducción a la historia natural y a la geografía física de España* (1775). Posteriormente, los ingenieros de minas surgidos de la Real Academia de Almadén estudiaron las minas de la provincia de Ciudad Real, pero no su vulcanismo. Simplemente lo citaron.

Hasta la tesis del geólogo Francisco Quiroga en 1879: *Estudio micrográfico de algunos basaltos de Ciudad Real,* no se realizan trabajos monográficos sobre los volcanes, por lo que este documento constituyó el primer estudio micrográfico de las rocas volcánicas de Calatrava.

En la 1ª serie del plan MAGNA a escala 1:50.000 (1928-1972), primera cartografía geológica oficial realizada en España, se identificaron afloramientos volcánicos en ocho hojas: Mestanza, Almodóvar del Campo, Ciudad Real, Moral de Calatrava, Manzanares, Piedrabuena, Daimiel y Almagro. No obstante, el mayor avance sobre la cartografía volcánica la hizo el geólogo Francisco Hernández-Pacheco en 1931, con una descripción individualizada de todos los edificios, a los que representa gráficamente en un solo color, y sin diferenciar composiciones, en 18 mapas geológicos a escala 1:100.000.

El estudio geoquímico de las rocas volcánicas llegó con el químico-geólogo gallego Isidro Parga Pondal. En 1935 publica los primeros análisis y utiliza los diagramas geoquímicos que sirvieron para clasificar sus diferentes tipos, soslayando la dificultad de hacerlo sólo por criterios petrográficos. Sin embargo, con este enfoque, distingue tres grupos: Ankaratritas (rocas con nefelina y/o melilititas), basaltos plagioclásicos y leucititas olivínicas (Morrón de Villamayor), estas últimas únicas en toda España y distintas al resto de volcanes de la zona volcánica del Campo de Calatrava.

Con el geólogo Eumenio Ancochea se produce un gran avance en el conocimiento del vulcanismo del territorio. En su tesis doctoral de 1983, además de la cartografía de los afloramientos, realiza descripciones petrográficas y geoquímicas detalladas de las rocas efusivas y, por primera vez, dataciones geocronológicas de varios edificios.

El Plan MAGNA 2ª Serie a escala 1:50.000 del IGME (1972-2018) completó la cartografía geológica del país, quedando perfectamente localizadas todas las manifestaciones volcánicas, si bien, una de las últimas hojas en editarse fue, precisamente, la de Moral de Calatrava.

Otra de las aportaciones sobre la geoquímica de las rocas y minerales de este vulcanismo ha sido la tesis de José Maria Cebriá (1992). En ella se hace un análisis exhaustivo de elementos mayoritarios, minoritarios, traza e isótopos, tanto en roca total como en fases minerales (olivino, clinopiroxeno, melilitita, nefelina, leucita, plagioclasa, flogopita y óxidos de Fe-Ti), y se discuten las condiciones de temperatura y presión bajo las que tuvo lugar su petrogénesis y cristalización. De sus estudios concluye que los fenómenos eruptivos de Calatrava tienen caracteres típicos del vulcanismo en zonas de intraplaca continental.

A partir de 1985, y hasta la actualidad, hay que mencionar las aportaciones de la Facultad de Geografía de la Universidad de Castilla-La Mancha, con Elena González y su equipo, así como las de la Facultad de Geografía de la Universidad de Oviedo, con Miguel Poblete Piedrabuena, también con su equipo. Estos autores profundizan en la geomorfología de los volcanes de Calatrava, con esquemas morfológicos parciales de algunas zonas del territorio.

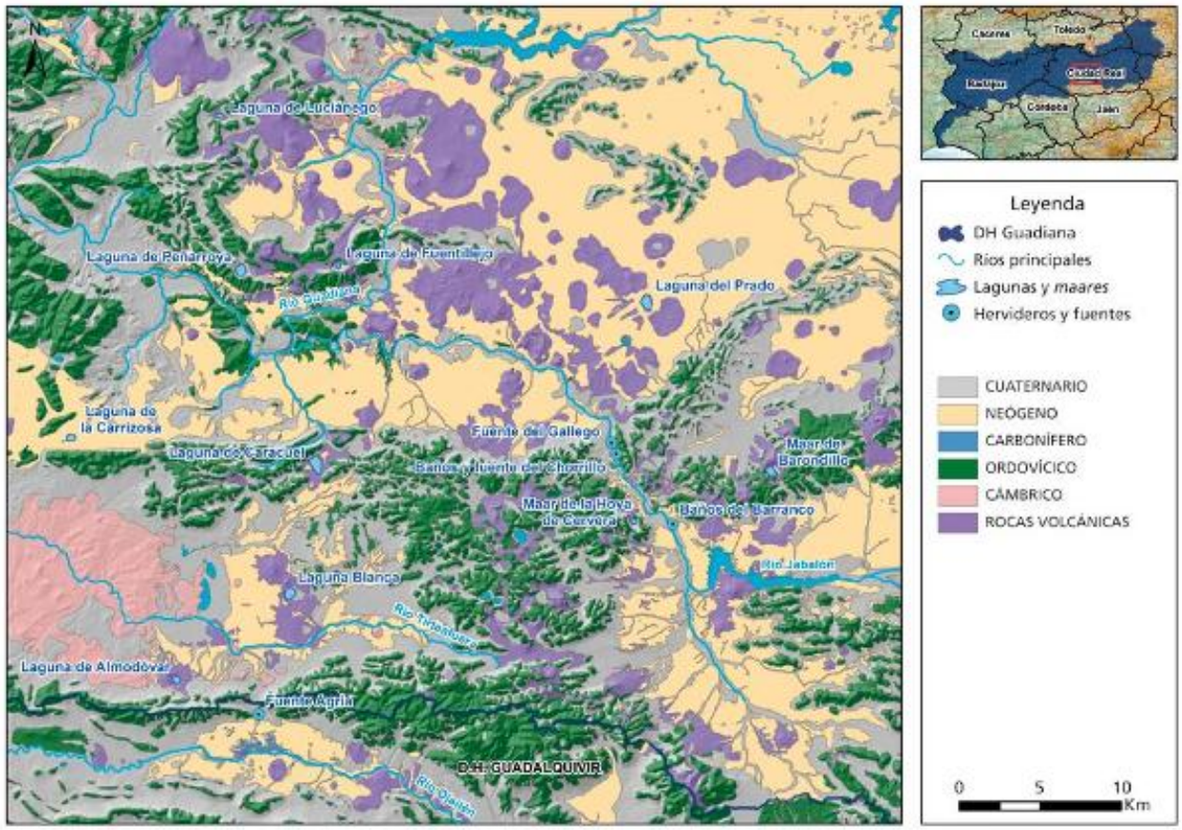


Figura 4.2. Entorno geológico esquemático del Campo de Calatrava (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Baquedano)

El contexto geológico

La parte occidental de la provincia de Ciudad Real se encuentra sobre terrenos variscos pertenecientes a la zona Centro-Ibérica. En ella afloran sedimentos pelítico-grauváquicos precámbricos cubiertos por formaciones paleozoicas (ordovícicas, silúricas y devónicas) de carácter detrítico (Figura 4.2).

Los materiales más antiguos del basamento paleozoico corresponden a la llamada «Serie Púrpura» o «Niveau rouge» (Figura 4.3), con potencias de hasta 1.000 m en el valle de Alcudia. Por encima de esta serie se sitúan las cuarcitas armoricanas del Ordovícico inferior (Arenigiense), que forman las mayores elevaciones (Figura 4.4). Sobre ellas se encuentra la alternancia de pizarras, cuarcitas y areniscas del Ordovícico medio-superior, para, finalmente, acabar la serie paleozoica con pizarras del Silúrico.

Yacente sobre el zócalo varisco, y en clara discordancia, se sitúan corazas ferruginosas de edad incierta



Figura 4.3. Afloramientos de la Serie Púrpura en las inmediaciones de Almagro (B.J. Ballesteros)



Figura 4.4. Las cuarcitas armoricanas configuran los relieves más importantes de la región. Afloramiento del castillo de Calatrava la Vieja (B.J. Ballesteros)



Figura 4.5. Cuenca neógeno-cuaternaria por la que transita el río Tirteafuera, vista desde el castillo de Calatrava la Vieja (B.J. Ballesteros)

(¿Paleógeno superior-Mioceno inferior?). Esta llamada "costra ferralítica" es un depósito detrítico de cantos de cuarcita y pizarra cementados por un material ferruginoso con espesores variables que pueden llegar hasta los 4 m.

Después del plegamiento, y la posterior erosión y fracturación del Orógeno Hercínico, el relleno de las cuencas neógeno-cuaternarias se inicia durante el Mioceno superior-Plioceno inferior. Tras la formación de una superficie de aplanamiento, la sedimentación se extiende a toda la llanura manchega con la formación de abanicos aluviales, facies fluvio-lacustres y lacustres de carácter expansivo que colmatan las depresiones (Figura 4.5). Más tarde, durante el Pleistoceno, tiene lugar la instalación de la red fluvial actual.

El fenómeno volcánico

El vulcanismo del Campo de Calatrava se inicia en el Mioceno superior y se desarrolla sincrónicamente con la sedimentación neógeno-cuaternaria. Su génesis está relacionada con la presencia en el manto de un amplio "*hot spot*" (punto caliente) que provocó el ascenso de múltiples columnas de magma. Este proceso fue favorecido por el adelgazamiento cortical, que, según la información geofísica configura el subsuelo del territorio, y su posterior fracturación.

La existencia de este adelgazamiento litosférico ya fue confirmada por los geólogos Bergamín y Carbó en el año 1986. Los estudios gravimétricos pusieron de manifiesto una anomalía de Bouguer negativa muy clara, interpretada como un manto subcortical anómalo generado por el ascenso de magma. Según el modelo, la zona de baja densidad tendría unos 40 km de longitud por 6 km de altura y respondería a una elevación de 10 a 20 km de la astenosfera, por lo que la base de la corteza, definida por la discontinuidad de Moho, quedaría situada a tan sólo 32 km de profundidad (Figura 4.6). Esta anomalía geológica implica una posición elevada respecto a la profundidad media a la que ésta se encuentra habitualmente en la corteza terrestre.

Durante el Mioceno medio y superior las cordilleras béticas e ibéricas fueron afectadas por una tectónica transtensiva, relacionada con la orogenia alpina, cuya consecuencia fue la fracturación de la corteza terrestre en el sector del Campo de Calatrava y la consiguiente ascensión del magma hasta la superficie a través de las fracturas generadas. La intensidad y extensión de los

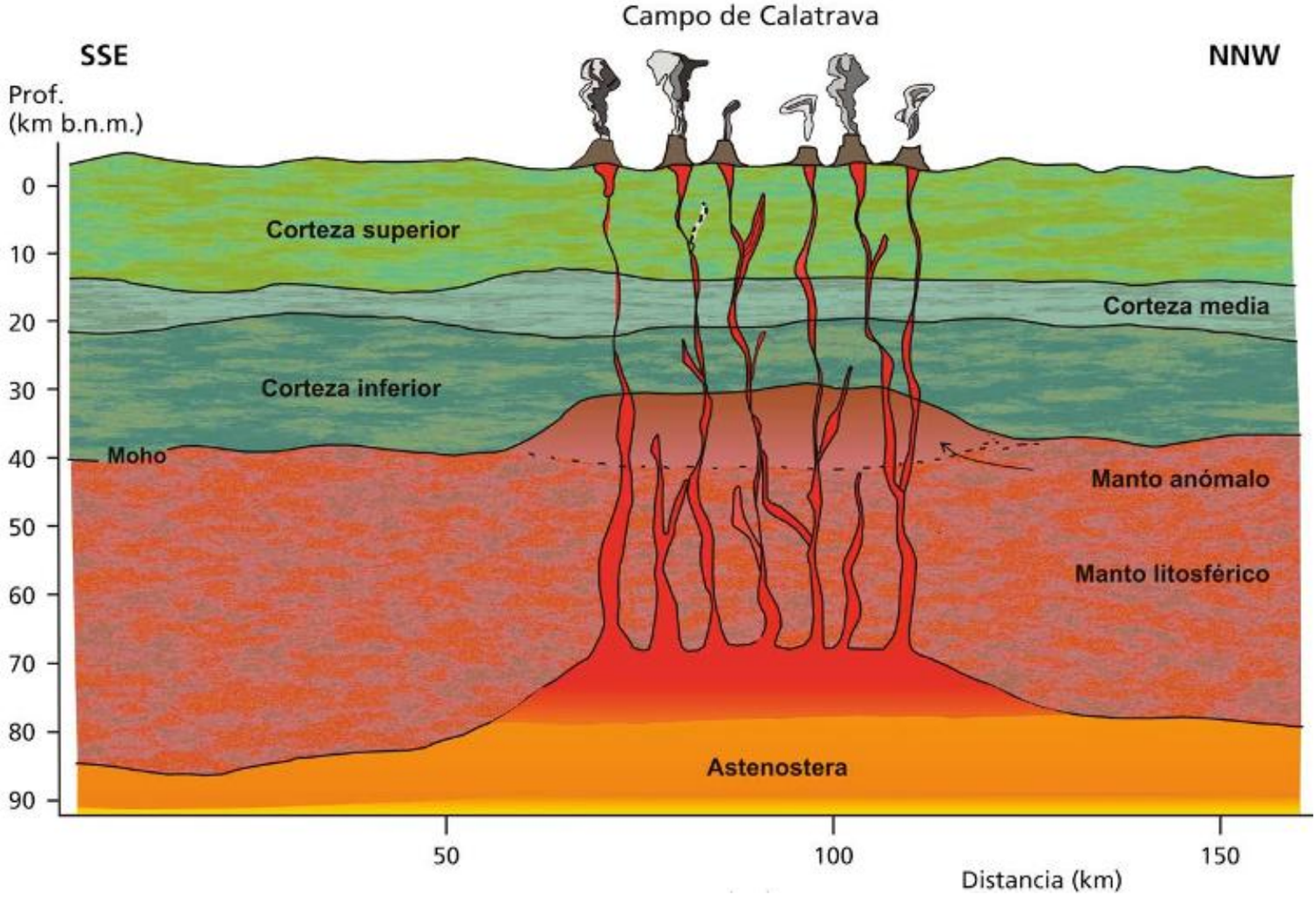


Figura 4.6. Esquema tectónico sobre el origen del vulcanismo del Campo de Calatrava (J.L. Barrera)

esfuerzos no progresó con el tiempo y la región quedó con una fina estructura cortical cuya génesis está asociada a un *rift* continental incipiente o abortado, si bien no hay datos suficientes para afirmarlo con total seguridad. Según algunos investigadores, las zonas continentales sometidas a un bajo grado extensional, como el Campo de Calatrava, dan lugar a fracturas litosféricas profundas que favorecen el flujo de volátiles desde la astenosfera, así como el metasomatismo, en regiones con capacidad para generar magmas alcalinos.

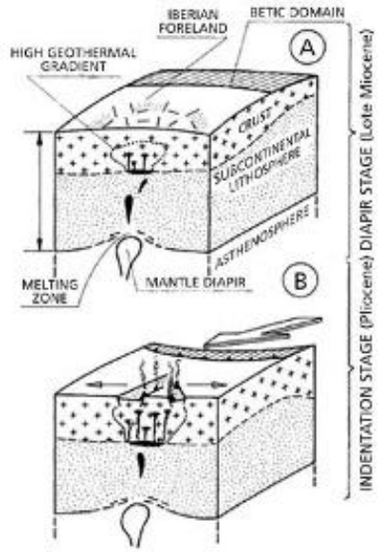


Figura 4.7. Modelo geodinámico del origen del vulcanismo en el Campo de Calatrava. Etapa inicial de manto-pluma (A) y etapa final de indentación (B) (López-Ruiz et al.*, 1993)*

El vulcanismo de Calatrava, que surgiría, por tanto, en un medio intraplaca, se caracteriza por numerosas y puntuales erupciones freatomagmáticas ± estrombolianas monogenéticas, individuales y dispersas, sin que exista un cuerpo central eruptivo (Figura 4.7).

En el contexto mencionado, es frecuente la sucesión de episodios de actividad freatomagmática y estromboliana a partir de un mismo centro emisor (Figura 4.8). Esta actividad da lugar a la presencia de morfologías de conos, lavas, castillejos, negrizales y *maares*, pero sin encontrarse directrices específicas para los tipos petrológicos identificados, aunque para los afloramientos basálticos se aprecia un ligero predominio de la orientación NNO-SSE.

En la región se pueden distinguir dos tipos de vulcanismo: uno mioceno, más antiguo (7,4 a 7,1 Ma), de rocas ultrapotásicas (leucititas olivínicas), únicas en Europa y



Figura 4.8. Niveles freatomagmáticos sobre piroclastos estrombolianos en Cerro Gordo (J.L. Barrera)

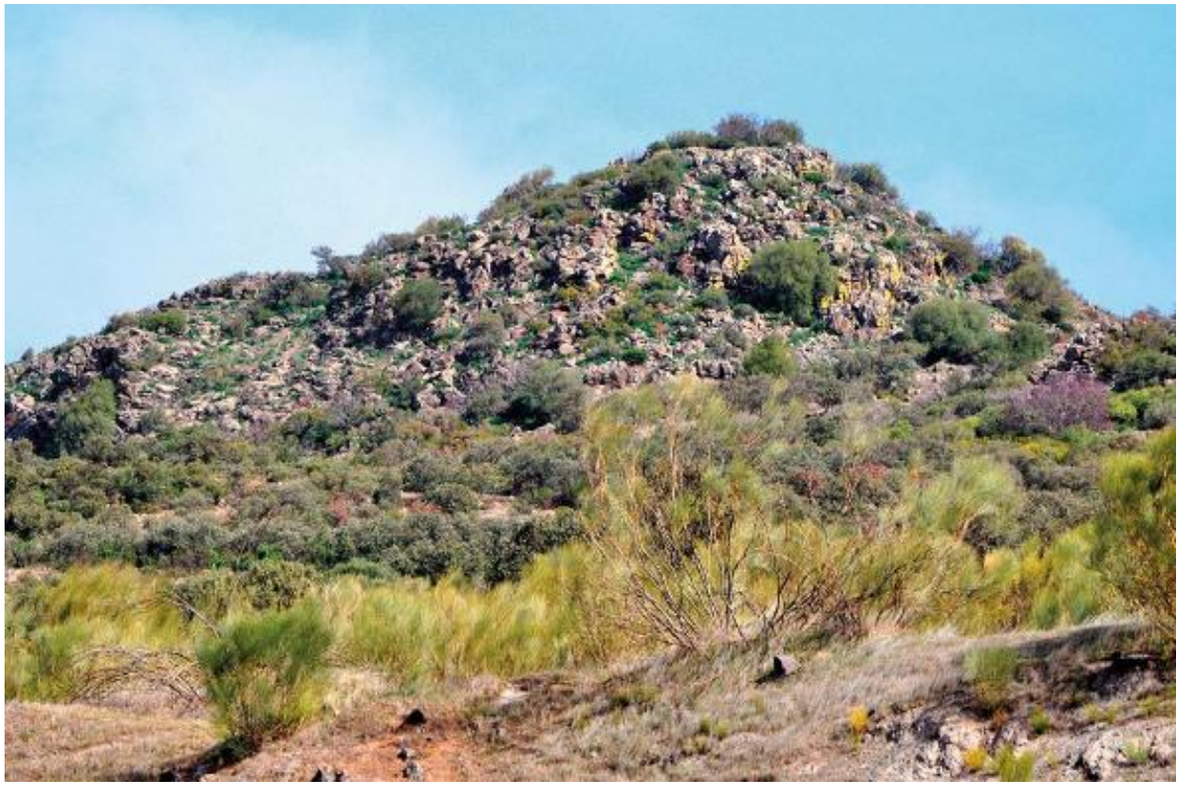


Figura 4.9. Cono volcánico de Morrón de Villamayor (B.J. Ballesteros)

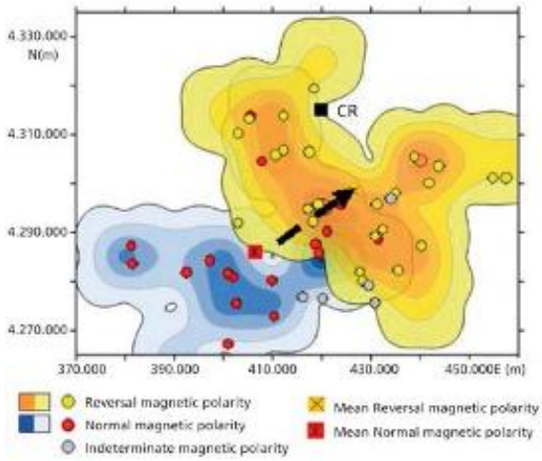


Figura 4.10. Sucesión temporal de las emisiones magmáticas en el Campo de Calatrava. Distribución de los volcanes según su polaridad magnética. Tomado de Ancochea y Huertas, 2020 (Gosálvez et al., *2022b)*

que sólo aparecen en el afloramiento del Morrón de Villamayor (Figura 4.9), y otro pliocuaternario, más moderno, de carácter alcalino (basaltos, basanitas, nefelinitas olivínicas y melilititas olivínicas) que comenzó hace unos 4 Ma y que nada tiene que ver con el anterior. Según dataciones radiométricas, la mayoría de las erupciones se produjeron entre los 3,5 y los 1,5 Ma. No obstante, algunos estudios prolongan la última actividad volcánica hasta tiempos muy recientes, en concreto, hasta hace tan sólo 0,3 Ma (Galán *et al*., 2012, en Gosálvez *et al*., 2022b), e incluso 7.000 años, con un desplazamiento general y un aumento de la intensidad hacia el este (Figura 4.10).

Las rocas volcánicas

Las rocas volcánicas del Campo de Calatrava tienen un marcado carácter básico-ultrabásico (SiO_2 < 46%) y alcalino, con nefelina normativa y contenidos altos en TiO_2, álcalis, P_20_5, así como en elementos traza, incompatibles con los basaltos centro-oceánicos. Texturalmente tienen una gran homogeneidad petrográfica sin apenas procesos de diferenciación magmática. En general, son holocristalinas con tendencia porfídica y matriz microcristalina. En todas ellas, las fases mayoritarias son olivino y clinopiroxeno, que aparecen como fenocristales y como constituyentes de la matriz, presentando todos los tamaños intermedios, por lo que las erupciones son de baja explosividad y las lavas

pobres en sílice, lo que implica una escasa evolución magmática. Los casos con matriz hipocristalina son poco frecuentes y el vidrio es, casi siempre, minoritario.



Figura 4.11. Olivino idiomorfo. Volcán Columba (B.J. Ballesteros)

El olivino, como se ha comentado, aparece en todos los tipos petrológicos como fenocristal y como constituyente de la matriz. Los cristales son idiomorfos o subidiomorfos (Figura 4.11), a veces con fenómenos de reabsorción. El clinopiroxeno corresponde en general a diópsido y, en menor proporción, a augita. También está presente en todos los tipos petrológicos como fenocristal, con una composición prácticamente igual en todos ellos, aunque lo hace con más frecuencia como microfenocristal y formando parte de la matriz, siendo muy habitual que ambos tamaños estén zonados.

Las fases minerales minoritarias, leucita, melilita y plagioclasa se encuentran restringidas a leucitita, melilititas y basaltos, respectivamente. La nefelina aparece asociada a leucita y melilita, o como única fase leucocrata en las nefelinitas. Los minerales minoritarios se presentan de forma esporádica en todos los grupos (p. e. biotita, analcima, apatito) o están restringidas a uno determinado (p. e. perovskita y sodalita, en las melilititas).

La **melilita** es a veces un microfenocristal idiomorfo o un constituyente de la matriz de las melilititas. Suele ir asociada a la nefelina y aparece en la roca al final de la cristalización del clinopiroxeno.

La **nefelina** se encuentra en las nefelinitas como microcristales de hábitos idiomorfos-subidiomorfos, donde es la única fase leucócrata, y en las melilititas nefelínicas y las leucititas asociadas a melilita y leucita, respectivamente.

La **leucita** se encuentra exclusivamente en las leucititas, generalmente como microfenocristales y microcristales, idiomorfos o subidiomorfos, con forma octogonal y bordes redondeados.

La **plagioclasa** sólo está presente en los basaltos olivínicos, con hábitos rectangulares prismáticos y, en ocasiones, con hábitos parcialmente esqueléticos, lo que significa un enfriamiento rápido de la roca. Dentro de la serie tiene una composición de labradorita.

La **flogopita** es el principal mineral en las leucititas, por la riqueza en potasio de estas rocas, y aparece como mineral accesorio en el resto de los grupos petrológicos como fase intersticial o como microcristal en la matriz.

La Tabla 4.1 muestra la mineralogía asociada a cada tipo de roca. Como minerales accesorios en todas las rocas se encuentran los óxidos de Fe-Ti y el apatito.

Las formas volcánicas

Desde el punto de vista científico, las morfologías volcánicas presentes en el paisaje responden a diferentes denominaciones y, como es lógico y habitual, existe una dualidad terminológica entre el lenguaje popular y el lenguaje científico, puesto que muchos años antes de que los científicos aparecieran por la región sus habitantes ya conocían muy bien los relieves y las rocas generadas por la actividad volcánica. Así, la población local ha acuñado sus propios términos, muy descriptivos, por cierto, para referirse a ellos. Son conocidos popularmente con diferentes denominaciones tales como cabezos, castillejos, negrizales, hoyas y hormigones, entre otras referencias históricas que desde la antigüedad forman parte de su acervo cultural.

Los **cabezos** o **cabezuelos** son la morfología volcánica más representativa y que mejor reconocen los

Tipo de roca	Mineralogía
Melilitita olivínica	Olivino, Clinopiroxeno, Melilita, Nefelina
Nefelinita olivínica	Olivino, Clinopiroxeno, Nefelina
Basalto olivínico alcalino	Olivino, Clinopiroxeno, Plagioclasa
Leucitita olivínica	Olivino, Clinopiroxeno, Leucita, Nefelina, Flogopita

Tabla 4.1. Tipos de roca y su mineralogía

habitantes del Campo de Calatrava. Corresponden a los típicos conos estrombolianos, en que los procesos erosivos han rebajado su perfil con el paso del tiempo (Figura 4.12).

Los **castillejos** son relieves volcánicos algo más abruptos y empinados que los cabezos. Están formados por la acumulación de lava viscosa en las bocas de salida (Figura 4.13).

Los **negrizales** son terrenos volcánicos de color negro o pardo que corresponden a restos de edificios muy erosionados o a la acumulación de escorias y piroclastos (Figura 4.14). En muchos de ellos, los procesos



Figura 4.12. Cabezo del volcán Columba (B.J. Ballesteros)



Figura 4.13. Castillejos en el entorno del valle del Tirteafuera (B.J. Ballesteros)



Figura 4.14. La profusión de rocas volcánicas hace que los negrizales se extiendan ampliamente, como en los alrededores de la laguna Blanca (B.J. Ballesteros)



Figura 4.15. Hormigonera en las cercanías del río Jabalón (B.J. Ballesteros)

atmosféricos han extendido su superficie por efecto de las aguas de arroyada y suelen constituir excelentes suelos agrícolas.

Los **hormigones** se identifican con los productos sueltos o semisueltos de carácter esponjoso y origen volcánico (piroclastos). Las excavaciones abiertas en las que se extraen estos materiales se denominan hormigoneras (Figura 4.15).

Las **hoyas** son el término popular con el que se conocen las depresiones cratéricas tipo *maar*, además de otras depresiones endorreicas no volcánicas. Es en estos *maares* donde se ubican las lagunas volcánicas, normalmente de carácter efímero o semipermanente. Como se comenta más adelante, al ser objeto de estudio y análisis de este libro, sus características y procesos genéticos son descritos en apartados posteriores.

Desde la parte científica, como se ha comentado al inicio de este apartado, las formas volcánicas responden a otras denominaciones que, básicamente, son conos estrombolianos de piroclastos, coladas de lavas, enclaves y *maares*.

Los **conos**, que se corresponden con los populares cabezos o cabezuelos, son volcanes con morfologías en escudo constituidos por acumulaciones de piroclastos y lavas. Se manifiestan como cerros redondeados, hoy degradados por los agentes erosivos, de formas troncocónicas a semiesféricas, que sólo en ocasiones conservan restos de un cráter superior. Son monogenéticos y configuran los llamados conos de piroclásticos o conos de tefra (Figura 4.16). Su tamaño suele ser pequeño-mediano, comparado con las habituales dimensiones de este tipo de vulcanismo, con diámetros de hasta casi 2 km y alturas entre 10 y 60 m. Los de mayores dimensiones son el volcán de la Yezosa, que se eleva unos 150 m sobre las rocas cuarcíticas en las que se apoya y el de Piedrabuena, declarado monumento natural (Figura 4.17).



Figura 4.16. Depósitos de tefra del volcán de La Yezosa (B.J. Ballesteros)



Figura 4.17. Monumento Natural del cono volcánico de La Arzollosa en Piedrabuena (B.J. Ballesteros)

Las **lavas** presentan texturas generalmente afaníticas o criptocristalinas, algo microporfídicas, en las que son visibles pequeños cristales de olivino y augita (Figura 4.18). Varias de ellas llevan enclaves de la roca encajante de naturaleza ultrabásica, arrastrados desde el manto. El volcán de Piedrabuena es el edificio de mayor extensión superficial y el que más coladas emitió de todas las manifestaciones volcánicas. También el volcán de la Yezosa tiene un campo de lavas apreciable, con espesores de más de 5 m, así como en el volcán Columba en donde se aprecia una disyunción columnar muy marcada (Figura 4.19).

Los **enclaves**, que aparecen asociados a algunas coladas y conos estrombolianos y pueden ser de dos naturalezas. La primera responde a fragmentos angulosos de pizarras y cuarcitas paleozoicas arrancados del conducto de emisión del magma. La segunda consiste en un variado conjunto de enclaves mantélicos ultrabásicos como los existentes en el cono de escorias de El Palo, en el Aprisco, Fuentillejo, cerro Pelado o cerro Gordo, procedentes del manto superior y representando restos del mismo. También hay otros xenolitos ultrabásicos distintos al resto en el singular, y único en su tipo, volcán de Morrón de Villamayor (Figura 4.20).



Figura 4.18. Lavas afaníticas y criptocristalinas con presencia de cristales de olivino (B.J. Ballesteros)



Figura 4.19. Disyunción columnar en la colada de lava del volcán Columba, junto a la presa del embalse de la Vega del Jabalón (B.J. Ballesteros)



Figura 4.20. Colada de lava con disyunción columnar y esferoidal del volcán de Morrón de Villamayor (B.J. Ballesteros)

Los ***maares.*** Esta morfología volcánica está muy extendida por la provincia de Ciudad Real, siendo el segundo lugar de Europa con mayor número de ellas después del distrito alemán de Eiffel. Por su mayor relevancia, y por su relación con la formación de zonas endorreicas y lagunares, se describe de forma más pormenorizada en el siguiente apartado.

Los maares

Los *maares* son cráteres volcánicos muy abiertos, de forma subredondeada o subelíptica, y de relieve habitualmente moderado, producidos por una erupción hidromagmática. Esta actividad se presenta bajo dos escenarios: en edificios propios sin fase estromboliana o en edificios en los que se alternan las erupciones hidromagmáticas con las estrombolianas. En el primer escenario, el magma en su ascensión hacia la superficie atraviesa importantes acuíferos constituidos por formaciones geológicas saturadas de agua, generalmente cuarcitas ordovícicas o arenas, conglomerados y gravas neógenas. En este contexto, la interacción del magma con las aguas subterráneas genera erupciones hidromagmáticas con un índice de explosividad muy elevado (Figura 4.21).

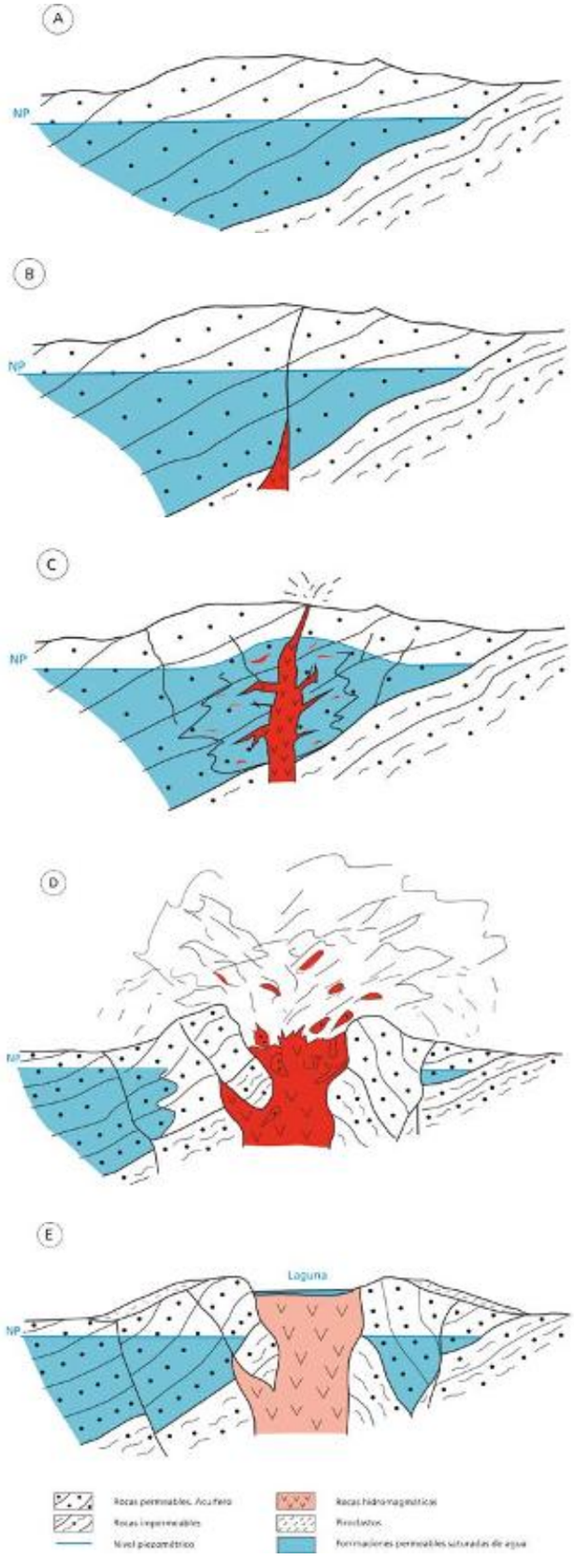


Figura 4.21. Fases en la formación de un maar *(B.J. Ballesteros)*

En el segundo escenario se dan episodios hidromagmáticos y estrombolianos sucesivos. Es el caso del volcán de Cerro Gordo, en Granátula de Calatrava, donde es muy visible la superposición del episodio hidromagmático al estromboliano inicial, así como otra posterior fase efusiva que da lugar a su actual morfología (Gosálvez *et al*., 2022b).

La explicación de la coexistencia de ambos tipos de manifestaciones volcánicas en la región podría estar en el hecho de que cuando el magma asciende a la superficie a través de rocas impermeables (algunas formaciones paleozoicas o terciarias) no existe interacción con las aguas subterráneas, por lo que las erupciones son de tipo efusivo o estromboliano. En caso de atravesar acuíferos, como se ha comentado, la erupción es hidromagmática. Procesos estrombolianos o efusivos posteriores podrían ser justificados por el efecto de "sellado" del acuífero causado por las propias rocas volcánicas, de carácter impermeable, generadas en erupciones hidromagmáticas precedentes (Figura 4.22).

Por otra parte, la naturaleza de las formaciones geológicas del punto donde se produce la salida del magma al exterior va a dar lugar a dos morfologías de *maares* claramente diferentes. Según la presencia o ausencia de terrenos variscos cuarcíticos se pueden distinguir *maares* en rocas duras y *maares* en rocas blandas (Figura 4.23). Los primeros, con diámetros más frecuentes entre los 200 y los 1.000 m, presentan mayor relieve y suelen estar parcialmente rodeados por escarpes, generados en la mayoría de los casos por cuarcitas. Los segundos tienen un relieve suave y aplanado, con escaso resalte en el terreno, y diámetros mucho mayores que llegan a alcanzar los 2.500 m. Debido a sus características, sobre ellos pueden asentarse algunas poblaciones, como Granátula de Calatrava o Ciudad Real. Esta última se extiende sobre varios *maares*, entre ellos el del Pozo de Don Gil, situado en la actual plaza del Pilar, donde existe un monumento conmemorativo (Figura 4.24). Estas violentas erupciones expulsaron distintos materiales con capacidad para formar anillos de tobas de mayor o menor entidad. Los cráteres con escasos depósitos de tobas, o carentes de ellos, son depresiones cerradas de contornos circulares o semicirculares y bordes relativamente suavizados por la erosión con profundidades de hasta 30 m.

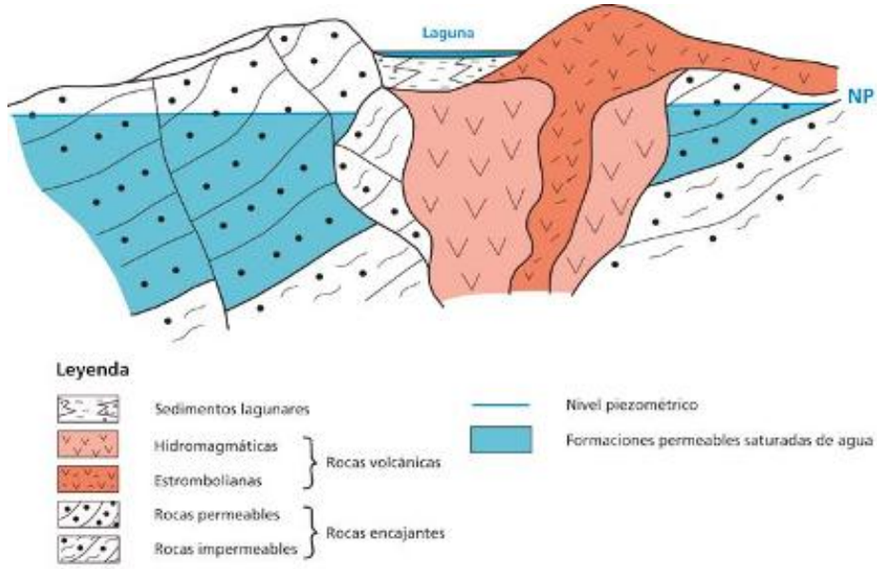


Figura 4.22. Propuesta explicativa de la existencia de sucesivas fases eruptivas estrombolianas e hidromagmáticas (B.J. Ballesteros)

Los *maares* que conservan anillos de tobas se disponen generalmente sobre la superficie de la llanura manchega o están adosados a los relieves paleozoicos. Consisten en un cráter o suave depresión, en ocasiones bajo el nivel general del suelo, de contornos subcirculares o subelípticos, con un anillo que lo rodea total o parcialmente constituido por una acumulación de piroclastos. Los anillos de tobas tienen pendiente suave, más acusada hacia el interior, con una altura que no suele sobrepasar los 20 m (Figura 4.25).

En los fondos de los cráteres aparecen depresiones que configuran zonas endorreicas o semiendorreicas potencialmente encharcables, rellenadas por sedimentos detríticos y de tipo lacustre, con depósitos carbonosos o evaporíticos entre los que se encuentran eventuales clastos de origen volcánico.

Entre los *maares* con anillos de tobas está el de Michos, en el municipio de Abenojar, declarado monumento natural, con una geometría compleja muy bien conservada, que contiene en su interior una laguna semipermanente (Figura 4.26). En terrenos variscos está el *maar* de la Hoya de Cervera, entre Almagro y Aldea del Rey, al igual que el anterior con un aceptable grado de conservación, que también alberga una laguna de carácter temporal. Este edificio volcánico, además del anillo de tobas y brechas, dispone de una oleada piroclástica de notables dimensiones.

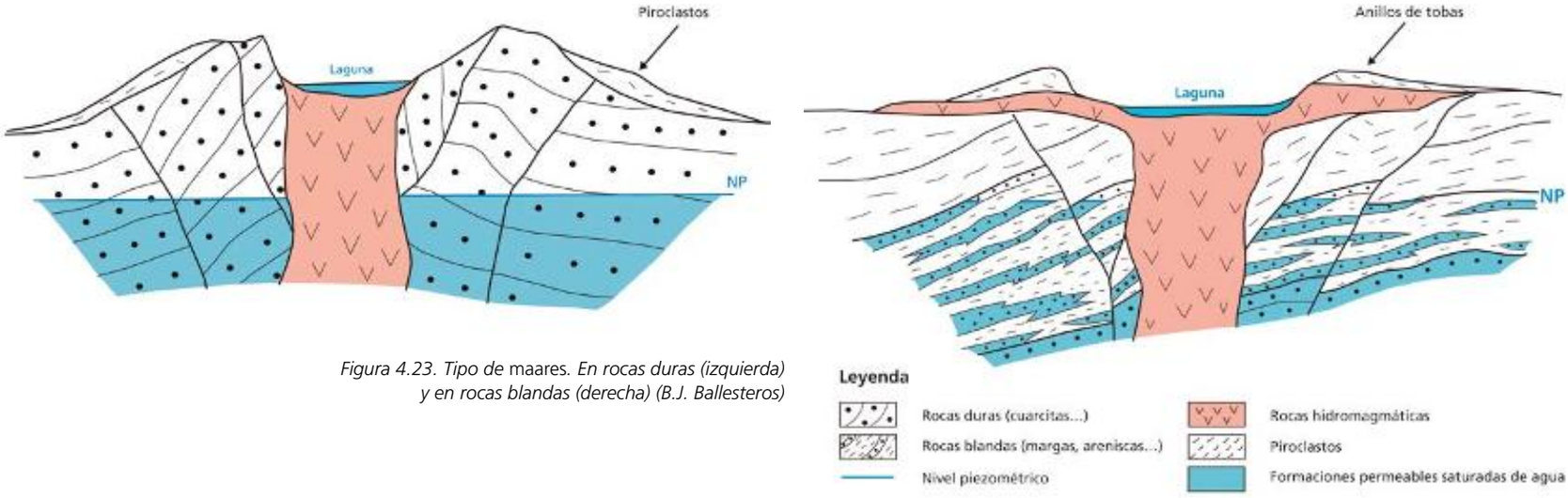


Figura 4.23. Tipo de maares. *En rocas duras (izquierda) y en rocas blandas (derecha) (B.J. Ballesteros)*



Figura 4.24. Monumento conmemorativo del pozo de Don Gil. Plaza del Pilar en Ciudad Real (B.J. Ballesteros)



Figura 4.25. Tobas y brechas freatomagmáticas del anillo del maar *de Los Lomillos (J.L. Barrera)*



Figura 4.26. Maar *de Michos (J.L. Barrera)*

Otras manifestaciones volcánicas: hervideros, fuentes agrias y gases

El vulcanismo del Campo de Calatrava se manifiesta no sólo a través de un conjunto de formas más o menos llamativas del relieve que confieren al paisaje unas características singulares, sino que existen otros elementos y circunstancias que indican su presencia, como los denominados hervideros, las fuentes agrias y las emanaciones de gases ligados o no a la presencia de agua. La denominación popular de "hervideros o fuentes agrias", *hot-spring* según su denominación en inglés, se aplica a los manantiales y surgencias de carácter hipotermal que en su mayor parte aparecen adscritos al área comprendida entre los Montes de Toledo y sierra Morena.

Cuando una erupción termina, las emanaciones gaseosas continúan activas durante miles de años en forma de fumarolas, más frecuentes en las cercanías de los edificios volcánicos. Aunque, posteriormente, la emisión visible de gases cese de manera gradual, en el terreno permanece una emanación difusa que escapa a través del suelo y puede ocasionar la acumulación de gases tóxicos en zonas deprimidas o sótanos de edificios, con gran peligro para personas y animales. Este hecho tiene lugar en el Campo de Calatrava, donde en los bordes de las cuencas sedimentarias pliocuaternarias que rellenan los valles más amplios (Ciudad Real, Argamasilla, Corral-Ballesteros, Almagro-Bolaños, Calzada-Granátula-Moral y el valle del río Ojailén) el anhídrido carbónico (CO_2) procedente de la actividad volcánica continúa saliendo al exterior a través de fracturas (Figura 4.27).

Las emanaciones sólo se hacen visibles en lugares donde hay agua en superficie o en pozos y sondeos. En estos casos, la característica más destacada es la formación de burbujas en el agua, que recuerda a la forma en la que ésta hierve, de ahí su nombre. Estas aguas presentan temperaturas relativamente bajas, entre los 16 y 20 ºC, con alguna excepción que puede alcanzar los 24-25 ºC, y elevados contenidos de anhídrido carbónico y de hierro en disolución que le proporcionan un característico sabor picante, motivo por el cual reciben la denominación de fuentes agrias. El enriquecimiento en estos dos constituyentes, y también en manganeso, se debe a la acción química provocada por la alta presión y temperatura de las manifestaciones volcánicas, que contribuye a generar elevadas cantidades de dióxido de carbono. Este gas confiere a las aguas un pH ácido, lo que hace que sean muy agresivas, y sólo al disminuir la presión y elevarse el pH se produce la precipitación del Fe y del Mn, acompañados, incluso, de pequeñas cantidades de cobalto (Figura 4.28).

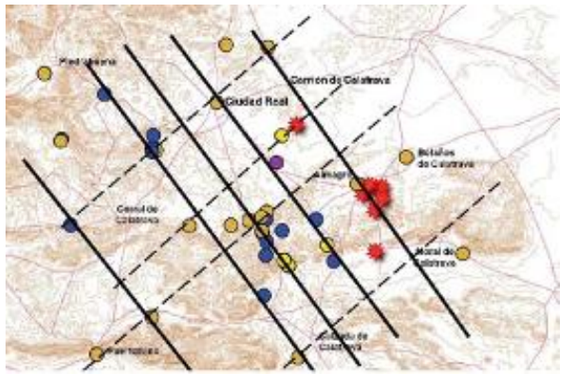


Figura 4.27. Localización de otras manifestaciones volcánicas: hervideros o hot-spring (marrón), fuentes agrias (azul), fumarolas (amarillo), aguas minero-medicinales y chorros (rojo). En HidroGeodía Ciudad Real 2022 (Gosálvez et al., *2022a)*

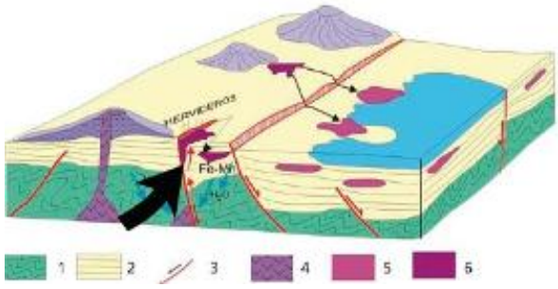


Figura 4.28. Funcionamiento hidrogeológico de los hervideros. 1: Cuarcitas armoricanas (acuífero), 2: Neógeno, 3: Fracturas, 4: Rocas volcánicas, 5: Conos distales, 6: Depósitos de Fe-Mn próximos a los hervideros o "hot-spring". El agua meteórica infiltrada en el terreno accede a los acuíferos donde incrementa su temperatura y asciende hacia la superficie a través de fracturas. En la proximidad de rocas volcánicas se origina la removilización y posterior precipitación de óxidos de Fe-Mn (Co). Adaptado de Crespo, 1991. Esquema tomado de Geolodía Ciudad Real (Gallardo, 2011)

También, en tiempos más recientes, y después de que hicieran su aparición las modernas técnicas de perforación, se ha puesto de relieve otro tipo de manifestación volcánica: los sondeos surgentes.

Los sondeos surgentes

Tradicionalmente, los agricultores del Campo de Calatrava extraían el agua con canjilones a través de pozos-noria que eran excavados a mano. La necesidad de obtener caudales más elevados llevó a la aplicación de las nuevas técnicas de perforación con las que se han alcanzado profundidades importantes de hasta varios centenares de metros, lo que ha provocado la aparición de sondeos en los que el agua surge con fuerza en forma de chorro, como si se tratara de un geiser.

Como se ha comentado, parte del zócalo paleozoico del Campo de Calatrava está compuesto por formaciones cuarcíticas. También las cuencas neógenas de la comarca contienen arenas, arcillas, conglomerados y gravas, con pasadas de materiales volcánicos, que rellenaron progresivamente las depresiones formadas hace algo más de 5 Ma. Las cuarcitas, arenas, conglomerados y gravas, así como algunas rocas volcánicas, tienen permeabilidad por porosidad intergranular o por fracturación, por lo que constituyen acuíferos de mayor o menor entidad, habitualmente de tipo multicapa, que permiten el almacenamiento de aguas subterráneas. Intercalados en la secuencia sedimentaria y, sobre todo, superpuestos a los horizontes permeables paleozoicos o neógenos, los materiales arcillosos impermeables confinan y sellan las formaciones acuíferas en amplios sectores del territorio (Figura 4.29).

El esquema hidrogeológico descrito, unido a la existencia de un elevado gradiente geotérmico asociado a la actividad magmática, que en lugares concretos llega a ser de hasta 8 °C por cada 30 m de profundidad (muy superior al habitual), así como a la presencia de abundantes gases disueltos en el agua, principalmente CO_2, son las causas de los habituales sondeos surgentes en los que el agua sale proyectada al exterior con una fuerte presión. El más importante de estos sucesos fue el sondeo surgente de Granátula de Calatrava, que el 25 de julio del año 2000 llegó a generar una columna de agua de 60 m de altura, con un caudal cercano a 65 l/s durante casi 176 días (Figura 4.30). Estas captaciones también arrojan volúmenes importantes de materiales sólidos (arenas y arcillas) procedentes de la erosión de sus paredes, arrastrados por la fuerza del agua, lo que en ocasiones provoca hundimientos en su entorno más inmediato (Figura 4.31).

El agua de estos sondeos no suele ser potable por tener elevadas concentraciones en magnesio, potasio, hierro y manganeso, así como un carácter ácido y ligeramente termal. El dióxido de carbono que emiten también va asociado a cantidades menores de monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), hidrógeno (H_2) y nitrógeno (N_2).

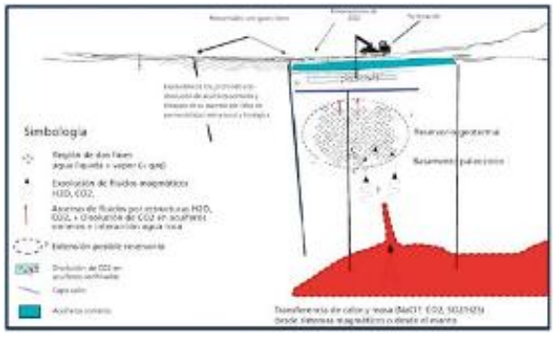


Figura 4.29. Modelo explicativo de los sondeos surgentes. Basado en Henley & Ellis (1983) y modificado de AURUM-EASA y Navarrete Calvo (2012). En HidroGeodía Ciudad Real 2022 (Gosálvez et al.*, 2022a)*



Figura 4.30. Sondeo surgente. Granátula de Calatrava en julio de 2000 (J.L. Barrera)

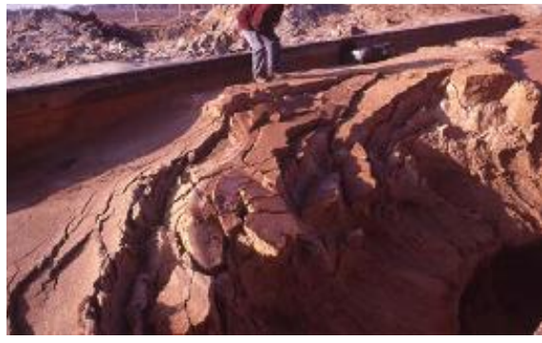


Figura 4.31. Hundimiento del terreno en el entorno del sondeo surgente de Granátula de Calatrava (J.L. Barrera)



Capítulo 5

Las lagunas volcánicas



5.1

Legislación básica sobre humedales

Lourdes Albacete Carreño
Carlos Camuñas Palencia





5.1. Legislación básica sobre humedales

Los humedales desempeñan un papel fundamental como ecosistemas gracias a su destacada riqueza ecológica y a los invaluables servicios ecosistémicos que brindan. Estas zonas, que pueden estar constituidas por aguas dulces o saladas, se encuentran protegidas legalmente debido a su relevancia como hábitats necesarios para la conservación de especies y la regulación hídrica.

El concepto de humedal es el que describe el artículo 1.1. del Convenio de Ramsar como: "*extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, 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*". Además, considera como aves acuáticas a aquellas especies que dependen ecológicamente de los humedales (Ramsar, 2023).

España, en particular, cuenta con una notable diversidad de humedales, tanto en su interior como en sus zonas costeras, siendo considerado uno de los países con mayor variedad de ecosistemas húmedos en la Unión Europea. Estos humedales albergan una gran cantidad de especies de flora y fauna, muchas de ellas endémicas o en peligro de extinción, lo que resalta su importancia para la conservación de la biodiversidad. De acuerdo con los datos recopilados en el informe elaborado con motivo del 50 aniversario del Convenio de Ramsar, España alberga un valioso patrimonio húmedo constituido por al menos 2.000 humedales. Estos ecosistemas se distribuyen principalmente en el ámbito continental, representando el 92% del total, aunque ocupando solo el 14% de la superficie terrestre. Por otro lado, los humedales costeros son menos numerosos, pero se extienden en áreas más significativas, abarcando el 86% restante de la superficie con zonas húmedas.

Dentro de los humedales continentales, los de agua dulce despuntan como los más abundantes, representando el 46% del conjunto. Les siguen en importancia los humedales de montaña, que constituyen el 30% de los continentales, aunque ocupan únicamente el 2% de la superficie total; es importante resaltar que estos humedales a pesar de ser numerosos, son de dimensiones reducidas, lo que les otorga un carácter particularmente destacado. Además de su valor ecológico, los humedales desempeñan un papel fundamental en la regulación hídrica, la conservación de especies y el mantenimiento de servicios ecosistémicos.

No obstante, desde el siglo XVIII, ha habido una dramática disminución de las zonas húmedas en todo el mundo, como revelan los datos proporcionados por el Convenio de Ramsar. En total, se estima que se ha perdido aproximadamente el 90% de los humedales globales desde el año 1700, aunque esta pérdida se aceleró notablemente en los siglos XX y XXI. Entre 1970 y 2015, los humedales disminuyeron en un 35%, una tasa tres veces mayor a la superficie deforestada.

España también ha experimentado estas tendencias negativas. En nuestro país, la mayoría de las zonas húmedas naturales desaparecieron durante las décadas de 1960 y 1970 debido a las políticas de desecación, a la extracción masiva de agua de los acuíferos y a la transformación de estos espacios para la agricultura. Se estima que en ese período ya se había perdido entre el 60% y el 70% de la superficie original de humedales, cifras similares a las de otros países en nuestro entorno socioeconómico.

Sin embargo, a principios de la década de 1980, España comenzó a modificar su enfoque gracias a la adopción de medidas protectoras desde las administraciones públicas, siguiendo las corrientes internacionales que habían surgido en la década anterior. Durante ese período, se ratificaron numerosos tratados internacionales multilaterales en materia de conservación de la naturaleza, que aún están en vigor en la actualidad.



Grullas emprendiendo el vuelo (C. Camuñas)

Marco jurídico internacional

Para asegurar el cumplimiento de los tratados internacionales relacionados con la protección de los humedales, España tomó diversas medidas a nivel nacional. Uno de los primeros pasos fue ratificar y adherirse a los tratados pertinentes, como el Convenio de Ramsar sobre los Humedales de Importancia Internacional en 1982 (BOE, 1982) y la entrada en vigor de la Convención sobre la Diversidad Biológica en 1992 de las Naciones Unidas.

Una vez ratificados, los países debían incorporar las disposiciones y compromisos establecidos en estos tratados a su legislación nacional. Esto implica promulgar leyes, reglamentos y políticas que respalden y fomenten la conservación y el uso sostenible de los humedales. Además, es fundamental establecer mecanismos de coordinación y cooperación entre las diferentes autoridades competentes, tanto a nivel nacional como regional y local, para asegurar una implementación efectiva de las medidas de protección.

En este apartado, se explora la legislación internacional relacionada con la protección de los humedales y su importancia en el contexto global.

En la Tabla 5.1 se recogen los principales convenios y tratados internacionales que afectan, de forma directa o indirecta, a la conservación de los humedales españoles y, en particular, a los de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha.

Los párrafos siguientes resumen cada uno de los tratados y convenios enumerados en la Tabla 5.1 y se analiza su relación con los humedales.

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

El Convenio de Ramsar es el tratado intergubernamental que ofrece el marco internacional para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. El objetivo del Convenio es "*la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo*".

El Convenio fue adoptado en la ciudad de Ramsar, Irán, en 1971 y entró en vigor en 1975. Desde entonces, casi el 90% de los Estados se han adherido al tratado, convirtiéndose en "Partes Contratantes".

Como Partes Contratantes, en el marco de la Convención, se comprometen a trabajar en pro del uso racional de los humedales en sus respectivos territorios. También se comprometen a designar nuevos humedales de importancia Ramsar y a cooperar a nivel internacional en asuntos relacionados con los humedales transfronterizos, así como en aquellos compartidos por varios países. En la actualidad, se encuentra vigente el Cuarto Plan Estratégico Ramsar (2016-2024).

El Convenio de Ramsar fue el primer tratado internacional en plantear abiertamente una política de protección para los humedales en contraposición a las políticas tradicionales de desecación. A fecha de enero de 2023, el número de Partes Contratantes del Convenio es de 172 y se han catalogado 2.255 sitios Ramsar, que suman una superficie total de 255.897,68 hectáreas.

España cuenta con 76 espacios designados como Humedales de Importancia Internacional (sitios Ramsar), que abarcan una superficie total de 313.089 hectáreas.

De los humedales recogidos en la presente publicación solo se encuentra designado como Ramsar la laguna del Prado, también denominada laguna de Pozuelo o la Inesperada (51,55 ha). Su fecha de adhesión fue el 26 de marzo de 1983.

Según la información recogida en las fichas Ramsar, la laguna del Prado "*es una laguna salina de aguas estacionales. Por tratarse de una laguna salina tiene interesantes comunidades vegetales halófilas y marginales de gran interés botánico. Acoge una importante comunidad de aves limícolas reproductoras y durante la invernada a un número relevante de anátidas de superficie. Es también un lugar de tránsito de otras especies migratorias. Las comunidades de aves tienen grandes variaciones interanuales, fruto de la fluctuante climatología de la zona…*"

Tabla 5.1. Principales convenios y tratados internacionales para la conservación de los humedales

CONVENIOS Y TRATADOS INTERNACIONALES PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS HUMEDALES	
Denominación	**Observaciones y Transposición al Estado Español**
Convenio de Ramsar, relativo a humedales de importancia internacional, especialmente como hábitats de especies acuáticas	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 199, de 20 de agosto de 1982, páginas 22.472 a 22.474). Protocolo de enmienda del Convenio ratificado por Instrumento de 19 de mayo de 1987, BOE 167, de 14 de julio de 1987 (ratificación de la enmienda del Convenio de Ramsar por el Protocolo de París).
Reservas de la Biosfera **Programa Hombre y Biosfera (Programa MaB)**	Aprobado por la UNESCO el 30 de noviembre de 1971. A nivel autonómico Ley 11/2007, de 29 de marzo, de creación del Organismo Autónomo Espacios Naturales de Castilla-La Mancha. 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 288, de 28 de noviembre de 2014, páginas 97.676 a 97.680). El 19 de junio de 2019, se declaran en la Comunidad de Castilla-La Mancha dos nuevas reservas de la Biosfera: Valle del Cabriel y Alto Turia.
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 156, de 1 de julio de 1982, páginas 17.883 a 17.887).
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 181, de 30 de julio de 1986, páginas 27.045 a 27.067).
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 el 13 de septiembre de 1991). Decisión 82/461/CEE del Consejo, de 24 de junio de 1982. Ratificado por el Estado español el 12 de febrero de 1985 (BOE 259, de 29 de octubre de 1985, páginas 34.071 a 34.076).
Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992	Adoptada el 9 de mayo de 1992. Fecha de entrada en vigor el 21 de marzo de 1994. Ratificada por 195 países (Partes de la Convención). España, firmó en Nueva York el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, adoptado en Kyoto el 11 de diciembre de 1997.
Convención de las Naciones Unidas para la lucha contra la Desertización	Entró en vigor el 26 de diciembre de 1996. Fue firmada por España el 14 de octubre de 1994, se expidió el instrumento de ratificación en enero de 1996 y su texto fue publicado (BOE 36, de 11 de febrero de 1997), por el que adquiere el rango de Tratado Internacional de obligado cumplimiento para nuestro país.
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 27, de 1 de febrero de 1994, páginas 3.113 a 3.125). A nivel europeo, como respuesta al Convenio sobre Diversidad Biológica, se crea en 1995, la Estrategia Pan-Europea para la Diversidad Biológica y Paisajística.
Convenio de Berna (Suiza), fecha de aprobación 19 de septiembre de 1979	Fecha de aceptación por parte del Estado español el 27 de mayo de 1986 (BOE 235, de 1 de octubre de 1986, páginas 33.547 a 33.555).

Dentro de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, aparte de la ya mencionada laguna del Prado, hay otros siete humedales o complejos lagunares que tienen dicha calificación, enumeradas a continuación siguiendo el orden de su fecha de adhesión al Convenio de Ramsar:

1. *Parque Nacional de las Tablas de Daimiel* (2.093,71 ha). Fecha de adhesión 4 de mayo de 1982 e incluido en el Registro Montreux el 4 de julio de 1990
2. *Complejo lagunar de Alcázar de San Juan*: laguna del Camino de Villafranca (136 ha), laguna de las Yeguas (67 ha) y laguna de la Veguilla (71 ha). Fecha de adhesión 26 de marzo de 1983
3. *Laguna de Manjavacas* (231 ha). Fecha de adhesión 26 de marzo de 1983
4. *Laguna de la Vega* (34 ha). Fecha de adhesión 5 de diciembre de 1989
5. *Laguna de El Hito* (573 ha). Fecha de adhesión 20 de diciembre de 2002
6. *Lagunas de Puebla de Beleña* (191 ha). Fecha de adhesión 20 de diciembre de 2002
7. *Lagunas de Ruidera* (6.639,39 ha). Fecha de adhesión 4 de noviembre de 2011

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 establecer una base científica con el fin de mejorar la relación global de las personas con su entorno. Es decir, se propone mejorar las relaciones de las personas con su medio ambiente, armonizando la conservación de los espacios con el desarrollo.

Según lo establecido en el Capítulo I, Título IV de la Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y la Biodiversidad, las Reservas de la Biosfera están requeridas a implementar un sistema de ordenación espacial que comprenda áreas núcleo con una alta categoría de protección, zonas de



Pareja de cigüeñas en su nido (C. Camuñas)

protección adyacentes a dichas áreas núcleo, y finalmente, zonas de transición que actúen como enlace entre las áreas de mayor exigencia de protección y el resto del territorio.

Estos espacios protegidos se encuentran bajo la jurisdicción soberana de su país y gozan de reconocimiento internacional. A nivel global existen 738 reservas de la biosfera en 134 países (UNESCO, 2023).

España cuenta, a junio de 2023, con 53 Reservas de la Biosfera, distribuidas en 16 de las 17 comunidades autónomas; 4 de ellas son transfronterizas, 3 con Portugal y una intercontinental con Marruecos (RERB, 2023).

En Castilla-La Mancha existe 3 Reservas de la Biosfera, que, según su fecha de publicación, son:

1. *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. Esta Reserva de la Biosfera tiene al agua como protagonista. Ubicada dentro de la provincia de Ciudad Real, además de las provincias de Toledo, Cuenca y Albacete. Ninguna de las lagunas comprendidas en esta publicación se encuentra dentro de esta Reserva de la Biosfera.
2. *Valle del Cabriel*, declarado el 19 de junio de 2019, está ubicado en las provincias de Cuenca, Albacete, Teruel y Valencia, con una superficie total de 421.797,77 ha. La tipología de esta Reserva es de ambiente mediterráneo de media montaña.
3. *Alto Turia*. Declarado el 19 de junio de 2019 y ubicado en las provincias de Valencia y Cuenca, con una superficie total de 67.082,36 ha. La tipología de esta Reserva también es de ambiente mediterráneo de media montaña.

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

La Convención de 1972 es el instrumento que establece que ciertos lugares de la tierra poseen un "Valor Universal Excepcional" y pertenecen al patrimonio común de la humanidad y, por tanto, deben ser conservados para las generaciones presentes y futuras.

Su objetivo se recoge en el artículo 4 de la Convención, dentro del Capítulo II "*Protección Nacional y Protección Internacional del Patrimonio Cultural y Natural*", en el cual 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*".

La Convención de París está estrechamente relacionada con la protección de los humedales. Si bien se centra en la protección tanto del patrimonio cultural como del natural, los humedales son considerados parte del patrimonio natural y, por lo tanto, están incluidos en el ámbito de aplicación de esta convención.

En España están inscritos en la Lista del Patrimonio Mundial, como sitios naturales, 3 parques nacionales:

1. *Parque Nacional de Garajonay*. Año de inscripción 1986. Posee un bosque de laureles, cuya humedad emanada de sus numerosos manantiales y arroyos propicia el crecimiento de una exuberante vegetación.
2. *Parque Nacional de Doñana*. Año de inscripción 1994, ampliación en 2005. Destaca por albergar una amplia variedad de biotopos. Entre ellos se encuentran lagunas, marismas, matorrales, monte bajo mediterráneo y dunas móviles y fijas.
3. *Parque Nacional del Teide*. Año de inscripción 2007. Esta estructura volcánica se alza a 7.500 metros por encima del fondo del océano, y se estima que es la tercera del mundo por su altura.

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

El Convenio tiene como objetivo proteger las especies de flora y fauna silvestre de una explotación comercial excesiva, que ponga en peligro su supervivencia, mediante la regulación y el control de su comercio transfronterizo.

Cuando un Estado o una organización de integración económica regional se compromete a acatar las disposiciones CITES se denomina *Parte*. Actualmente hay 184 Partes.

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.

En relación con lo anterior, el CITES desempeña un papel esencial en la protección de los humedales al regular el comercio internacional de especies de fauna y flora silvestres que los habitan, asegurando su conservación y evitando su explotación insostenible.

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

En dicho Convenio se reconoce que los Estados son y deben ser los protectores de las especies migratorias silvestres que viven dentro de los límites de su jurisdicción nacional o que los franquean. Actualmente la Convención sobre las Especies Migratorias tiene 133 Partes. Esta convención reconoce la importancia de los humedales como hábitats cruciales para muchas especies migratorias de vida silvestre.

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.

Bajo los auspicios de la Convención de Bonn, se han alcanzado diversos acuerdos. Entre ellos se encuentra el acuerdo sobre aves acuáticas migratorias afro-euroasiáticas (AEWA), que abarca un total de 235 especies de aves que dependen ecológicamente de los humedales durante al menos parte de su ciclo anual. España se convirtió en parte de este acuerdo el 1 de noviembre de 1999.

Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) de 1992 tiene como objetivo final estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, a un nivel que evite interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Busca lograr esto a través de la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y la adaptación a los impactos del cambio climático.

En cuanto a la relación con la protección de los humedales, la CMNUCC reconoce que los humedales desempeñan un papel importante en la regulación del clima y la mitigación del cambio climático. Los humedales actúan como sumideros naturales de carbono, almacenando grandes cantidades de carbono en su biomasa y suelos. Además, ayudan a regular los ciclos hidrológicos y a mantener los niveles de agua, lo que contribuye a la adaptación y resiliencia frente a los impactos del cambio climático.

En resumen, reconoce la importancia de los humedales en la mitigación y adaptación al cambio climático, promoviendo su conservación y gestión sostenible como parte de las estrategias globales para proteger el clima y los ecosistemas naturales.

Convención de las Naciones Unidas para la lucha contra la Desertificación

La Convención de las Naciones Unidas para la lucha contra la Desertificación (UNCCD, por sus siglas en inglés) tiene como objetivo principal combatir la desertificación y mitigar los efectos de la sequía en las áreas afectadas. La desertificación se refiere a la degradación de las tierras en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas debido a diversos factores, como la actividad humana, el cambio climático y la falta de manejo sostenible de los recursos naturales.

La UNCCD promueve medidas para la conservación y restauración de los humedales como parte de sus estrategias de lucha contra la desertificación. Esto incluye la implementación de prácticas de gestión sostenible de la tierra en las áreas circundantes a los humedales,

la promoción de la participación de las comunidades locales en la toma de decisiones y la transferencia de tecnología y conocimiento relacionados con la protección de los humedales.

Convenio de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica

Sus objetivos están recogidos en su artículo 1 y básicamente son: "*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*".

En relación con los humedales, el Convenio destaca la importancia de conservar y gestionar estos ecosistemas de manera sostenible, reconociendo su valor intrínseco y su papel crucial en la conservación de la biodiversidad.

Este Convenio promueve medidas para la conservación de los humedales, incluyendo la identificación y protección de áreas de importancia ecológica, la restauración de humedales degradados y la promoción de prácticas de gestión sostenible. Además, fomenta la cooperación internacional para la conservación de los humedales, incluyendo la transferencia de tecnología y el intercambio de información entre los países.

Convenio de Berna

El Convenio sobre la Conservación de la Vida Silvestre y del Medio Natural en Europa, conocido como Convenio de Berna, de 19 de septiembre de 1979, es un tratado internacional que, aunque se aplica principalmente en el contexto europeo, su alcance no se limita únicamente a los países de Europa.

Una de las principales herramientas del Convenio de Berna para la protección de los humedales es la designación de Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (IBA, por sus siglas en inglés), que incluyen hábitats de humedales clave para la vida de las aves. Estas áreas son identificadas y propuestas por los Estados miembros, y se promueve su conservación y gestión adecuada.

Normativa de la Unión Europea

La Unión Europea dispone de marcos legales, estrategias y planes de acción para proteger la naturaleza y recuperar hábitats y especies. Además, consigue los objetivos recogidos en sus Tratados a través de distintos tipos legislativos, tal como recoge el artículo 249 del Tratado Constitutivo de la Comunidad Europea: "*para el cumplimiento de su misión, el Parlamento Europeo y el Consejo conjuntamente, el Consejo y la Comisión adoptarán reglamentos y directivas, tomarán decisiones y formularán recomendaciones o emitirán dictámenes…*". Siendo vinculantes para los Estados miembros los Reglamentos, Directivas y Decisiones.

En Europa, se han considerado, durante años, instrumentos esenciales para la conservación de los humedales dos Directivas que establecen objetivos que todos los países de la UE deben cumplir y que necesitaron su transposición al ordenamiento jurídico español a través de reales decretos como: la Directiva de Aves y la Directiva Hábitats.

La Unión inició su compromiso con la conservación de zonas húmedas durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, llevada a cabo en Estocolmo en 1972. Al año siguiente se adoptó el I Programa de Medio Ambiente, marcando así un importante paso en esta iniciativa.

Actualmente en España, según el artículo 96.1 de la Constitución, se establece que los tratados internacionales válidamente celebrados, una vez publicados oficialmente en España, formarán parte del ordenamiento interno y, por tanto, son de obligado cumplimiento.

En los párrafos siguientes se resume la normativa europea (EUR-LEX, 2023) relacionada con la conservación de los humedales en 3 grandes bloques (Tabla 5.2): normativa relacionada con la Red Natura 2000, normativa sobre política de aguas y normativa específica sobre humedales.

Tabla 5.2. Marco normativo europeo aplicable a España relacionado con la conservación de los humedales

MARCO NORMATIVO PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS HUMEDALES DEL ESTADO ESPAÑOLEN EL AMBITO 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 (BOE 310, de 28 de diciembre de 1995, páginas 37.310 a 37.333).
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 (BOE 74, de 28 de marzo de 1989, páginas 8.262 a 8.269) que fue derogada por la Ley 42/2007 de Patrimonio Natural y Biodiversidad.
Decisión de Ejecución de la Comisión 2015/2374, de 26 de noviembre de 2015, por la que se adopta la novena lista de LIC de la región biogeográfica mediterránea	Publicada en el DOUE 338, de 26 de noviembre de 2015, páginas 799 a 937.
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 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 313, de 31 de diciembre de 2003, páginas 46.874 a 46.992).
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 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 348, de 24 de diciembre de 2008, páginas 84 a 97.
NORMATIVA 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 de la Comisión, de 20 de mayo de 2020, titulada «Estrategia de la UE sobre la biodiversidad de aquí a 2030: reintegrar la naturaleza en nuestras vidas»	Fecha emisión de la Comunicación: 20 de mayo de 2020.

Normativa relacionada con la Red Natura 2000

La Red Natura 2000 es una red ecológica de áreas protegidas que abarca territorios dentro de los países miembros de la Unión Europea. Está compuesta por Zonas Especiales de Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA). Su objetivo es conservar la biodiversidad y proteger los hábitats y especies de interés comunitario, promoviendo la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales. Es una de las redes de áreas protegidas más grandes y extensas del mundo, desempeñando un papel fundamental en la conservación de la naturaleza en Europa. Las Directivas más destacables son: Directiva 92/43, Directiva 2009/147 y la Decisión de Ejecución 2015/2374 de la Comisión.

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

Tiene como objetivo establecer un marco para la protección de la Red Natura 2000, con el propósito de salvaguardar la biodiversidad mediante la preservación de los hábitats naturales y la vida silvestre en el territorio europeo de los Estados miembros, según lo establecido en el Tratado aplicable.



Panel explicativo de los hervideros de "Baño Chico" en el ámbito del Parque Cultural del Campo de Calatrava (B.J. Ballesteros)

La Directiva Hábitats considera los humedales como hábitats de especial importancia y establece medidas para su conservación. En el Anexo I de la directiva se enumeran los tipos de hábitats naturales de interés comunitario que deben ser objeto de medidas de conservación específicas. Entre estos hábitats se incluyen los humedales costeros y de agua dulce.

Además, la Directiva Hábitats también brinda protección a las especies que dependen de los humedales. En su Anexo II, se enumeran las especies de interés comunitario que necesitan una protección estricta, mientras que en el Anexo IV se mencionan las especies de interés comunitario cuya explotación puede estar sujeta a regulaciones específicas.

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

Su objetivo principal es establecer medidas y disposiciones para proteger y preservar las poblaciones de aves en su estado natural dentro del territorio europeo de los Estados miembros. 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*".

En relación con los humedales, la Directiva Aves reconoce su importancia como hábitats cruciales para muchas especies de aves acuáticas. Estos ecosistemas proporcionan refugio, alimentación y áreas de reproducción para una amplia variedad de aves, incluyendo especies migratorias y endémicas.

La Directiva Aves establece disposiciones para la designación y protección de las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), que forman parte de la Red Natura 2000. Las ZEPA son áreas designadas específicamente para la conservación de las aves y sus hábitats clave, incluyendo los humedales y las lagunas que son importantes para su supervivencia.

Por lo tanto, la Directiva Aves y la Red Natura 2000 desempeñan un papel crucial en la protección y conservación de los humedales y las lagunas como hábitats esenciales para las aves silvestres en la Unión Europea, asegurando su conservación a largo plazo y promoviendo el equilibrio de los ecosistemas.

Decisión de Ejecución de la Comisión 2015/2374, de 26 de noviembre de 2015

La región biogeográfica mediterránea a que se refiere el artículo 1, letra c), inciso iii) de la Directiva 92/43/CEE incluye los territorios, en la Unión, de Chipre, Grecia y Malta, así como partes de los territorios, en la Unión, de Croacia, España, Francia, Italia y Portugal y, de conformidad con el artículo 355, apartado 3 del Tratado, el territorio de Gibraltar, de cuyas relaciones exteriores es responsable el Reino Unido.

El mapa biogeográfico aprobado el 20 de abril de 2005, por el Comité creado en virtud del artículo 20 de la Directiva Hábitats se va revisando periódicamente. La Comisión adoptó mediante la Decisión 2006/613/CE de la Comisión la lista inicial de lugares de importancia comunitaria para la región biogeográfica mediterránea a tenor de la Directiva 92/43/CEE. Esa lista se actualizó mediante la Decisión de Ejecución (UE) 2015/2374 de la Comisión. Los espacios incluidos en la lista de lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica mediterránea forman parte de la Red Natura 2000, que es un elemento esencial para la protección de la biodiversidad en la Unión. A fin de seguir avanzando en el establecimiento concreto de la Red Natura 2000 y en el marco de la adaptación dinámica de dicha red, las listas de lugares de importancia comunitaria se revisan periódicamente. Desde febrero de 2014, los Estados miembros han propuesto lugares de importancia comunitaria adicionales de la región biogeográfica mediterránea a tenor del artículo 1 de la Directiva 92/43/CEE. Asimismo, han comunicado cambios en la información contenida en la lista de lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica mediterránea.

Normativa sobre política de aguas

Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, dirigida a establecer un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas

Su propósito es definir medidas y enfoques coordinados para la gestión sostenible de los recursos hídricos en el territorio de los Estados miembros de la Unión Europea. La Directiva, también conocida como la Directiva Marco del Agua, establece un marco legal y político para la gestión de los recursos hídricos en la Unión Europea, lo cual incluye la protección y conservación de los humedales como ecosistemas acuáticos. Dicha Directiva busca asegurar la calidad del agua, promover la gestión integrada de los recursos hídricos y fomentar la participación pública y la coordinación entre los Estados miembros en relación con los humedales y otras masas de agua.

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

Esta Directiva (91/271/CEE) 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. Su objetivo es asegurar una gestión adecuada y responsable de estos recursos hídricos para proteger el medio ambiente y la salud pública. Al reducir la carga de contaminantes y mejorar la calidad del agua, se pueden minimizar los impactos negativos en los humedales y otras masas de agua receptoras.

Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, enfocada en establecer normas de calidad ambiental dentro del ámbito de la política de aguas

Su objetivo principal es definir los estándares de calidad que deben cumplirse para proteger y preservar la salud del medio ambiente acuático en el territorio de los Estados miembros de la Unión Europea. Mediante esta Directiva, se busca garantizar la calidad y el buen estado de las aguas para promover un uso sostenible y responsable de los recursos hídricos.

Esta Directiva, que modifica la Directiva 2000/60/CE, establece normas de calidad ambiental relativas a la presencia en las aguas superficiales, incluyendo ríos, lagos, estuarios y zonas costeras de sustancias o grupos de sustancias identificadas como contaminantes prioritarios.

La conservación de la calidad del agua en los humedales es esencial para mantener sus funciones ecológicas, preservar la biodiversidad y garantizar su valor como hábitat para especies acuáticas y aves migratorias.

Encinas del valle de Tirteafuera (B.J. Ballesteros)

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

Tomando como inspiración el concepto de uso responsable de los humedales promovido por el Convenio de Ramsar, la Comunicación presenta una lista de acciones específicas que deben implementarse en áreas estratégicas seleccionadas, con el objetivo de establecer políticas y acciones coordinadas para hacer frente a las causas sociales, económicas y políticas que conducen a la desaparición y degradación de los humedales.

Comunicación de la Comisión, de 20 de mayo de 2020, titulada «Estrategia de la UE sobre la biodiversidad de aquí a 2030: reintegrar la naturaleza en nuestras vidas»

Dicha Comunicación establece medidas y objetivos para proteger los humedales, incluyendo su restauración, conservación, integración en la planificación espacial y toma de decisiones, fortalecimiento de la cooperación y la gobernanza y financiamiento de proyectos de conservación. Esta estrategia busca asegurar la protección y gestión sostenible de los humedales en la Unión Europea.



Normativa nacional

Los humedales, como elementos integrantes del medio ambiente, gozan de la tutela de la Constitución Española y encuentran su reflejo constitucional en los artículos 45 y 149.23.

El artículo 45 dice que: "*Toda persona tiene el derecho de disfrutar de un entorno adecuado para su desarrollo, y está comprometida con su conservación. Los poderes públicos se responsabilizarán de la gestión racional de los recursos naturales, con el propósito de preservar y mejorar la calidad de vida, proteger y restaurar el medio ambiente, basándose en la solidaridad colectiva esencial. Aquellos que infrinjan lo establecido en el párrafo anterior serán sancionados según los términos que determine la ley, pudiendo aplicarse sanciones penales o administrativas, y asumiendo la obligación de reparar los daños causados*".

Además, es importante mencionar que las sanciones penales por el incumplimiento de lo establecido en este precepto constitucional están contempladas en el Código Penal, en su Capítulo III, que aborda los delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente, específicamente en los artículos 325 a 331.

En España, la competencia del Estado para legislar esta materia se recoge en el artículo 149.23 de la Constitución Española que establece que: "*el Estado tiene competencia exclusiva sobre: la legislación básica sobre protección del medio ambiente, sin perjuicio de las facultades de las Comunidades Autónomas de establecer normas adicionales de protección*".

A nivel nacional se cuenta con un amplio marco normativo medioambiental que puede dividirse en tres categorías principales, como se resume en la Tabla 5.3. Estas categorías son:

a. Normas relacionadas con la política de aguas
b. Normas relacionadas con la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica, los espacios naturales y las especies de fauna y flora silvestres
c. Normas específicas referentes a la protección de humedales

Cada una de estas categorías abarca un conjunto de leyes y regulaciones que tienen como objetivo establecer políticas y medidas para la protección y gestión adecuada de los recursos hídricos, la conservación de la biodiversidad y los espacios naturales, así como la preservación de los humedales como ecosistemas de importancia ecológica.

Estas normas reflejan el compromiso de España en la protección del medio ambiente y la promoción de prácticas sostenibles para asegurar la preservación de estos recursos vitales (MITERD, 2023; CHG, 2023a).

La normativa de conservación de la naturaleza y los humedales a nivel nacional se compone de un considerable número de leyes, decretos y disposiciones específicas. Las dos de las principales disposiciones recogidas en la Tabla 5.3 son:

La Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad

La protección de los humedales en España está estrechamente relacionada con la Ley 42/2007, que establece el marco legal para la conservación y protección del patrimonio natural y la biodiversidad en el país, incluyendo los humedales como ecosistemas de especial relevancia.

Además, en el contexto de la Ley se establece la Red Natura 2000 como uno de los instrumentos fundamentales para la conservación de la biodiversidad en la Unión Europea. La Red Natura 2000 está compuesta por dos tipos de áreas protegidas:

1. *Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA)*: estas áreas están designadas para la conservación de aves silvestres y sus hábitats. La selección de las ZEPA se basa en criterios científicos y técnicos, identificando aquellas áreas que son importantes para la reproducción, alimentación, descanso o migración de las aves.
2. *Lugares de Importancia Comunitaria (LIC)*: seleccionados por su importancia para la conservación de hábitats naturales y especies de interés comunitario. Una vez aprobados por la Comisión Europea,

Tabla 5.3. Marco normativo nacional relacionado con la política medioambiental

MARCO NORMATIVO NACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS HUMEDALES DEL ESTADO ESPAÑOL	
Denominación	**Publicación**
NORMATIVA NACIONAL SOBRE POLÍTICA DE AGUAS Y ESPECÍFICA DE LA CUENCA DEL GUADIANA	
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 176, de 24 de julio de 2001, páginas 26.791 a 26.817. Última revisión vigente desde 13 de mayo de 2023.
Ley 10/2001, de 5 de julio de 2001, del Plan Hidrológico Nacional	Publicada en el BOE 161, de 6 de julio de 2001, páginas 24.228 a 24.250. Revisión vigente desde 21 de Octubre de 2015.
Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica que recoge y detalla las disposiciones del Texto Refundido de la Ley de Aguas	Publicado en el BOE 162, de 7 de julio de 2007, páginas 29.361 a 29.398. Revisión vigente desde 30 de diciembre de 2021.
Real Decreto 329/2002, de 5 de abril, por el que se aprueba el Plan Nacional de Regadíos	Publicado en el BOE 101, de 27 de abril de 2002, páginas 15.558 a 15.566.
Real Decreto 13/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el Plan Especial del Alto Guadiana	Publicado en el BOE 21, de 24 de enero de 2008, páginas 4.608 a 4.612. Vigencia desde 25 de enero de 2008.
Real Decreto 35/2023, de 24 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 35, de 10 de febrero de 2023, páginas 19.510 a 21.315. Vigente actualmente es el correspondiente al ciclo 2022-2027.
Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico	Publicado en el BOE 103, de 30 de abril de 1986, páginas 15.500 a 15.537. Modificado por Real Decreto 606/2003 y Real Decreto 9/2008, de 11 de enero.
NORMATIVA SOBRE PATRIMONIO NATURAL Y BIODIVERSIDAD	
Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Desarrolla la Red Natura 2000	Publicada en el BOE 299, de 14 de diciembre de 2007, páginas 51.275 a 51.327. Revisión vigente desde 1 de enero de 2021. Modificada por la Ley 33/2015.
Real Decreto 556/2011, de 20 de abril, para el desarrollo del Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad	Publicado en el BOE 112, de 11 de mayo de 2011, páginas 47.905 a 47.932.
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 46, de 23 de febrero de 2011, páginas 20.912 a 20.951.
Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras	Publicado en el BOE 185, de 3 de agosto de 2013, páginas 56.754 a 56.786.
NORMATIVA ESPECÍFICA SOBRE HUMEDALES	
Real Decreto 1057/2022, de 27 de diciembre, por el que se aprueba el Plan estratégico estatal del patrimonio natural y de la biodiversidad a 2030, en aplicación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad	Publicado en el BOE 313, de 30 de diciembre de 2022, páginas 190.647 a 190.716.
Real Decreto 435/2004, de 12 de marzo, por el que se regula el Inventario nacional de zonas húmedas	Publicado en el BOE 73, de 25 de marzo de 2004, páginas 12.962 a 12.968.
Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre, del Código Penal. Capítulo III. Delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente. Artículos 325 a 331	Publicado en el BOE 281, de 24/11/1995, páginas 33.987 a 34.058. Última actualización 28 de abril de 2023.

los LIC serán declarados *Zonas Especiales de Conservación (ZEC)* por las Administraciones competentes en un plazo máximo de seis años, junto con la aprobación del correspondiente plan o instrumento de gestión.

También, esta Ley establece las medidas necesarias para la conservación de los humedales y otros ecosistemas incluidos en la Red Natura 2000, como puede ser la delimitación de áreas protegidas, la regulación de actividades humanas dentro de estas áreas, la elaboración de planes de gestión, la participación de los interesados, la promoción de investigaciones científicas o programas de seguimiento.

En resumen, la Ley del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad proporciona el marco legal para la protección de los humedales y otros ecosistemas en España. Esta ley regula la declaración, gestión y protección de las ZEPA y los LIC, garantizando la conservación de los humedales y su biodiversidad asociada.

En la región de La Mancha, 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. También en esta CCAA se localiza la zona LIC y ZEPA, código ES4220001, denominada "Humedales de origen volcánico en las estribaciones de los Montes de Toledo".

Por otra parte, en la provincia de Ciudad Real, e igualmente dentro de la Red Natura 2000, se encuentra la ZEC denominada "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava", código ES4220005, de 1.905,55 ha de extensión, en la que quedan incluidas las lagunas de la Carrizosa, Peñarroya, Posadilla, del Prado, y el *maar* de la Hoya de Cervera.

Dentro de esta ZEC se encuentran varios espacios naturales protegidos con diferentes categorías. Entre ellos se incluyen monumentos naturales como la Laguna volcánica de La Alberquilla, la Laguna y volcán de la Posadilla, el *Maar* de la Hoya de Cervera, el *Maar* de la Hoya del Mortero y el Volcán y laguna de Peñarroya. También se encuentran la Microrreserva de la Laguna de Caracuel y la reserva natural de la laguna del Prado. La Laguna del Prado, el monumento natural de la Laguna y el volcán de la Posadilla, cuentan con Planes de Ordenación de los Recursos Naturales aprobados respectivamente.

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

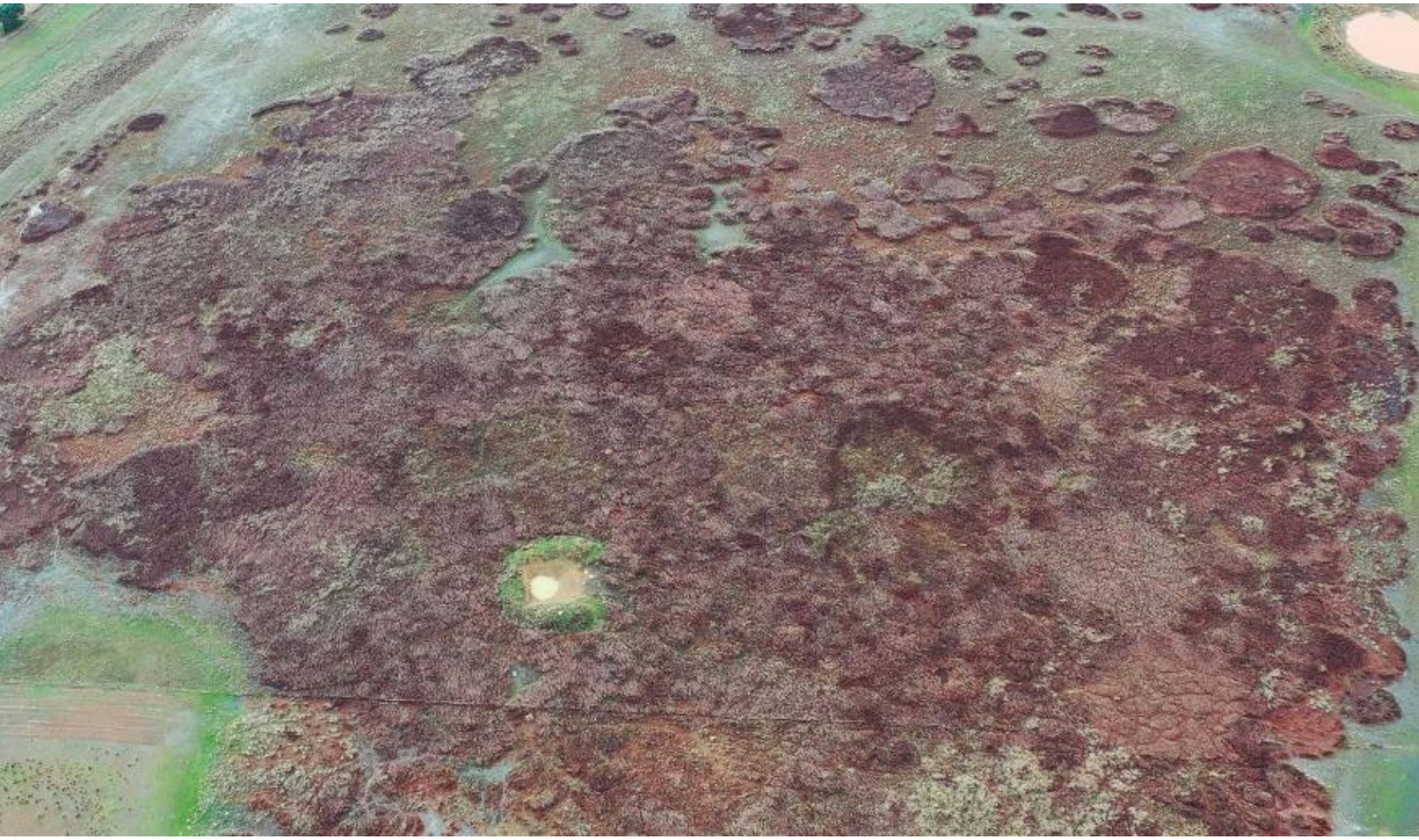
Por último, la Ley del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad incluye los Lugares de Interés Geológico como son las lagunas volcánicas, reguladas en el Inventario del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (Real Decreto 556/2011, de 20 de abril).

Los lugares incluidos en esta publicación que se encuentran en el Inventario Español de Lugares de interés Geológico (IELIG) son la **laguna de la Posadilla** (TM136), **laguna del Prado** (TM139), **Hervideros del Chorrillo** (TM143), ***maar* de Barondillo** (TM146), **laguna de la Hoya de Cervera** (TM148), **laguna Blanca** (TM151) y ***maar* de Almodóvar del Campo** (TM156).

El Real Decreto 435/2004, de 12 de marzo, tiene como objetivo establecer la regulación del Inventario Nacional de Zonas Húmedas en España

El objetivo del Real Decreto es regular el Inventario Nacional de Zonas Húmedas, que tiene como propósito conocer la evolución de las zonas húmedas y, en caso necesario, señalar las medidas de protección que deben incluirse en los planes hidrológicos de cuenca.

A pesar de las competencias de las comunidades autónomas en materia de inventario y catalogación de humedales, y las diferentes definiciones y clasificaciones que puedan existir en cada una de ellas, se han establecido criterios homogéneos para la elaboración del inventario nacional de zonas húmedas. Esto permite cumplir de manera efectiva con las obligaciones de información asumidas por el Estado español a través de compromisos internacionales y con la Unión Europea. Estos criterios de inclusión de humedales se basan en lo



Vegetación del vaso lagunar de la laguna de La Carrizosa (C. Lorenzo, STA CN IGME-CSIC)

establecido en el Plan Estratégico Español para la conservación y uso racional de los humedales, aprobado por la Comisión Nacional de Protección de la Naturaleza y consensuado por el Comité de Humedales.

Los humedales incluidos en esta publicación que se encuentran en el Inventario Nacional de Zonas Húmedas en España son la **laguna de Cervera** (IH422016), **laguna de Almodóvar** (IH422018), **laguna Blanca** (IH422022), **laguna de la Carrizosa** (IH422028), **laguna de Caracuel** (IH422034), **laguna de la Posadilla** (IH422035), **laguna de Peñarroya** (IH422037), **laguna de Luciánego** (IH422060) y **laguna del Prado** (IH422063).

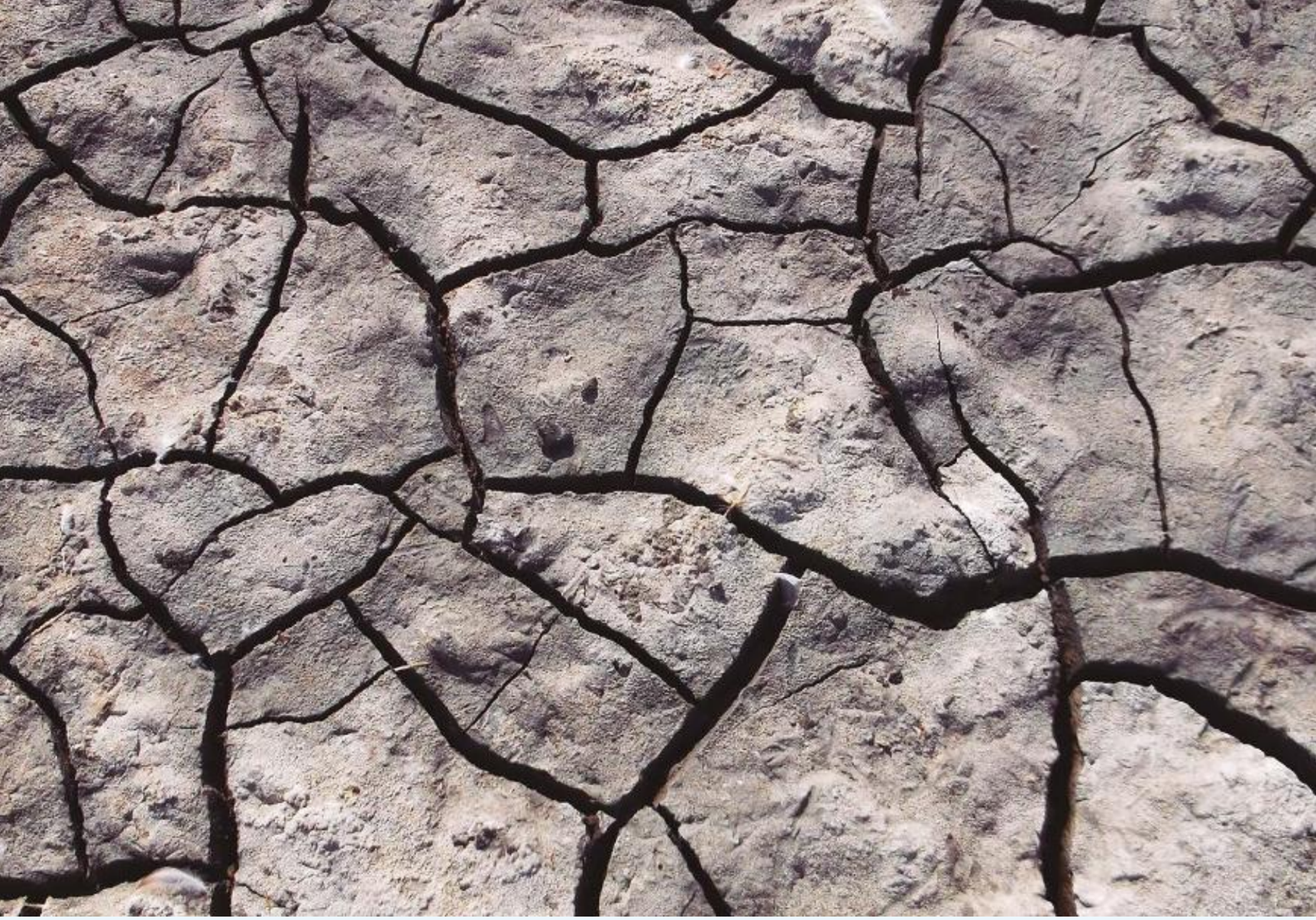
Normativa autonómica de Castilla-La Mancha

En la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha se encuentran ubicadas todas las lagunas, *maares*, hervideros y fuentes desarrollados en esta publicación. En la Tabla 5.4 se resumen las disposiciones principales relacionadas con la conservación y protección del medio natural y los humedales en dicha Comunidad (DOCM, 2023; RAP, 2023).

No se proporcionará un detalle exhaustivo de cada una de estas normas en este capítulo, ya que su aplicación específica y las figuras de protección asignadas a cada laguna se encuentran detalladas en los capítulos correspondientes a cada humedal.

Tabla 5.4. Marco normativo de Castilla-La Mancha sobre protección y conservación del medio natural y los humedales

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 Conservación de la Naturaleza	Publicada en el BOE 179, de 28 de julio de 1999, páginas 28.086 a 28.110. Última revisión vigente desde 15 de abril de 2018.
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 119, de 13 de noviembre de 2001, páginas 12.820 a 12.825.
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 22, de 15 de mayo de 1998, páginas 3.391 a 3.398.
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 119, de 13 de noviembre de 2001, páginas 12.825 a 1.2827.
TABLA DE PUBLICACIONES OFICIALES (BOE) DE INCLUSIONES DE HUMEDALES DE CASTILLA-LA MANCHA EN EL INVENTARIO ESPAÑOL DE ZONAS HÚMEDAS (IEZH)	
Resolución de 9 de octubre de 2018, de la Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental, por la que se incluyen en el Inventario español de zonas húmedas 86 nuevos humedales de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha (adscritos a la provincia de Ciudad Real, códigos IH422)	Publicado en el BOE 50, de 27 de febrero de 2019, páginas 18.776 a 18.864.
NORMAS DE DESARROLLO AUTONÓMICO DE LA RED NATURA 2000, EN RELACIÓN CON EL CAMPO DE CALATRAVA	
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, entre las que se incluye como ZEPA "Campo de Calatrava", con código ES0000157, con una superficie de 6.723,34 ha, en la provincia de Ciudad Real	Publicado en el DOCM 141, de 15 de julio de 2005, páginas 13.862 a 13.958.
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, entre ellos el Plan de Gestión de las Lagunas volcánicas del Campo de Calatrava	Publicada en el DOCM 91, de 12 de mayo de 2015, páginas 13.523 a 13.529.
Decreto 26/2015, de 7 de mayo de 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), entre ellos se encuentran las Lagunas volcánicas de Campo de Calatrava	Publicado en el DOCM 91, de 12 de mayo de 2015, páginas 13.434 a 13.444.
Decreto 20/2017, de 28 de febrero, por el que se propone a la Comisión Europea, entre otros, la modificación de los límites de 10 Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), incluidas las Lagunas volcánicas del Campo de Calatrava	Publicado en el DOCM 45, de 6 de marzo de 2017, páginas 5.653 a 5.658.
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.
Plan Director de la Red Natura 2000 en Castilla-La Mancha	Aprobado por Orden 155/2017, de 5 de septiembre.



5.2

Características climáticas y aspectos metodológicos

Bruno J. Ballesteros Navarro
Alberto Padilla Benítez





5.2. Características climáticas y aspectos metodológicos

Climatología

El estudio climático del territorio por la que se extienden las lagunas volcánicas analizadas se ha elaborado a partir de los datos diarios de precipitación y temperatura de 14 estaciones meteorológicas, pluviométricas y termopluviométricas para el periodo de 50 años comprendido entre 1972 y 2021 (Tabla 5.5).

La falta de datos existente en las distintas series de precipitación y temperatura se ha completado mediante regresión simple con las series disponibles de otras estaciones próximas de características similares, seleccionando la de mayor correlación. Para el análisis individualizado de cada laguna se han utilizado los datos de la estación meteorológica más representativa.

La precipitación global en la zona se ha calculado por ponderación de las 14 estaciones pluviométricas mediante polígonos de Thiessen. El análisis espacial ha permitido elaborar el mapa de isoyetas del año medio (Figura 5.1) para el periodo analizado (1972 a 2021) que, con una precipitación de 415 mm, presenta valores máximos y mínimos de 545 mm y 370 mm, respectivamente.

Por otra parte, mediante la distribución normal ajustada se han obtenido los años de tipo seco (Figura 5.2), correspondiente al de 2017, y húmedo, en este caso al de 1979 (Figura 5.3).

ESTACIÓN	COORDENADAS UTM Y m s.n.m.	TIPO	VALORES
4114 **Bolaños de Calatrava**	X: 442.055 Y: 4.305.970 Z: 650	Termopluviométrica	P media: 370,2 mm/a P máxima: 635,3 mm P mínima: 155,1 mm T media: 15,15 ºC
4117 **Pozuelo de Calatrava**	X: 427.227 Y: 4.307.200 Z: 624	Pluviométrica	P media: 367,8 mm/a P máxima: 702,7 mm P mínima: 164,5 mm
4120 **Carrión de Calatrava**	X: 429.357 Y: 4.319.150 Z: 615	Pluviométrica	P media: 391,5 mm/a P máxima: 727,6 mm P mínima: 157,3 mm
4121 **Ciudad Real**	X: 420.298 Y: 4.315.977 Z: 628	Termopluviométrica	P media: 403,8 mm/a P máxima: 709,3 mm P mínima: 168,3 mm T media: 14,66 ºC
4129 **Pantano Gasset**	X: 418.972 Y: 4.331.330 Z: 635	Pluviométrica	P media: 438,1 mm/a P máxima: 746 mm P mínima: 153,2 mm
4134 **Alcoléa de Calatrava**	X: 403.194 Y: 4.315.630 Z: 650	Pluviométrica	P media: 459,9 mm/a P máxima: 759,9 mm P mínima: 189,2 mm
4135 **Poblete**	X: 414.633 Y: 4.309.830 Z: 625	Pluviométrica	P media: 404 mm/a P máxima: 859,3 mm P mínima: 153 mm
4159 **Aldea del Rey**	X: 427.002 Y: 4.287.970 Z: 660	Pluviométrica	P media: 405,2 mm/a P máxima: 769,9 mm P mínima: 199,1 mm
4162 **Villar del Pozo**	X: 416.147 Y: 4.300.380 Z: 638	Pluviométrica	P media: 388,3 mm/a P máxima: 757,2 mm P mínima: 167,5 mm
4163 **Corral de Calatrava**	X: 406.082 Y: 4.301.510 Z: 593	Pluviométrica	P media: 439,4 mm/a P máxima: 823,6 mm P mínima: 188,3 mm
4202E **Piedrabuena (El Casarejo)**	X: 382.774 Y: 4.330.930 Z: 660	Termopluviométrica	P media: 545,2 mm/a P máxima: 951,9 mm P mínima: 207 mm T media: 14,71 ºC
4202U **Piedrabuena (Horcajuelos)**	X: 401.491 Y: 4.331.500 Z: 740	Pluviométrica	P media: 471,9 mm/a P máxima: 764,4 mm P mínima: 202,7 mm
4207 **Almodóvar del Campo**	X: 397.113 Y: 4.284.570 Z: 670	Termopluviométrica	P media: 421,6 mm/a P máxima: 891,9 mm P mínima: 172,9 mm T media: 15,06 ºC
4209Q **Almodóvar del Campo (La Ballestera)**	X: 377.913 Y: 4.289.840 Z: 650	Pluviométrica	P media: 506,2 mm/a P máxima: 892,8 mm P mínima: 221,2 mm

Tabla 5.5. Estaciones climáticas utilizadas. Principales características (Datum ETRS89)

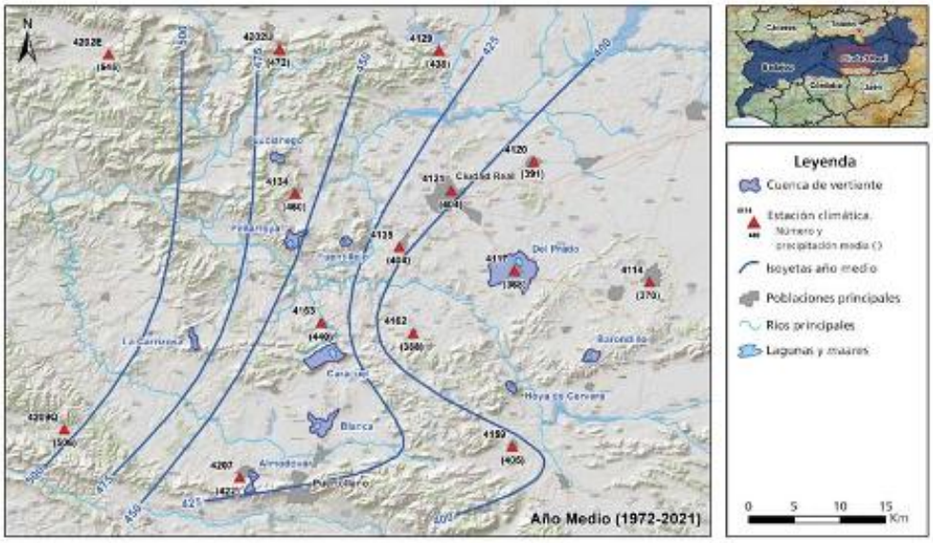


Figura 5.1. Isoyetas para la precipitación del año medio

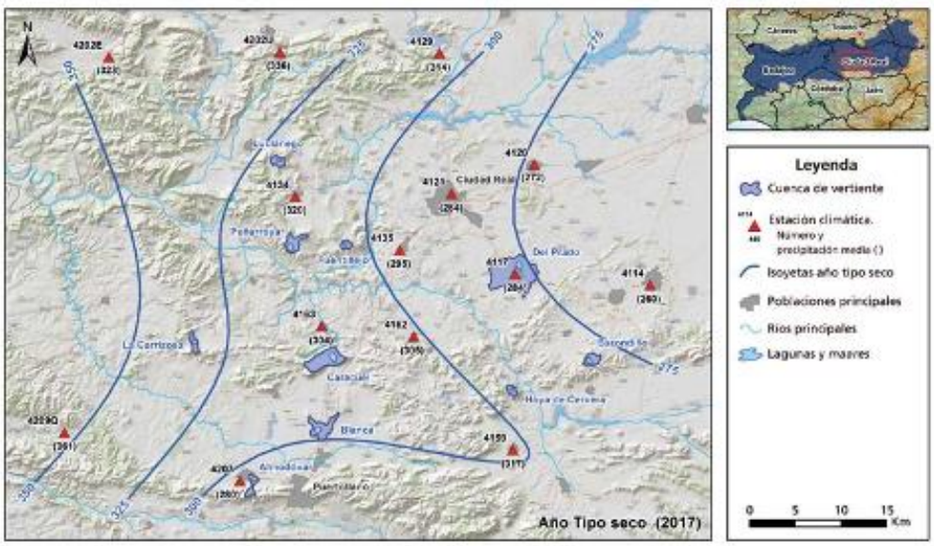


Figura 5.2. Isoyetas para la precipitación de los años tipo seco

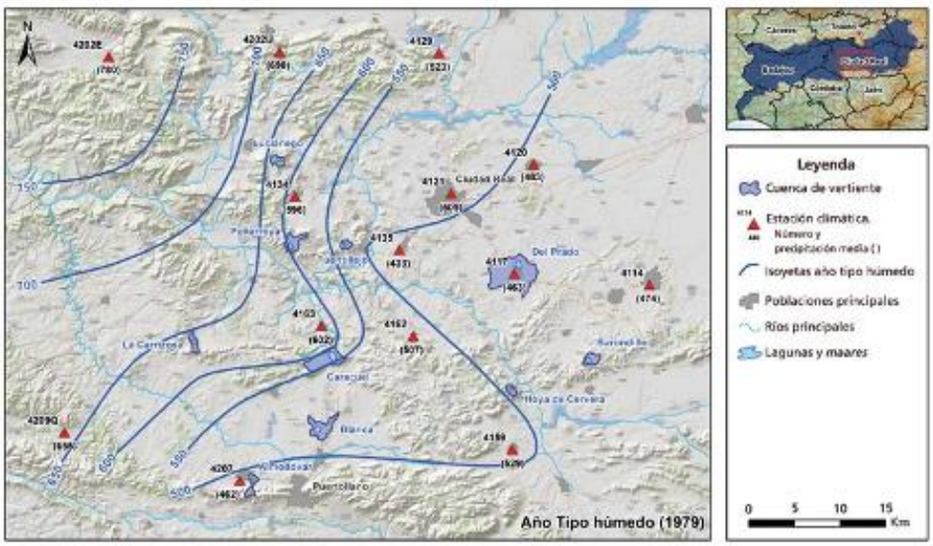


Figura 5.3. Isoyetas para la precipitación de los años tipo húmedo

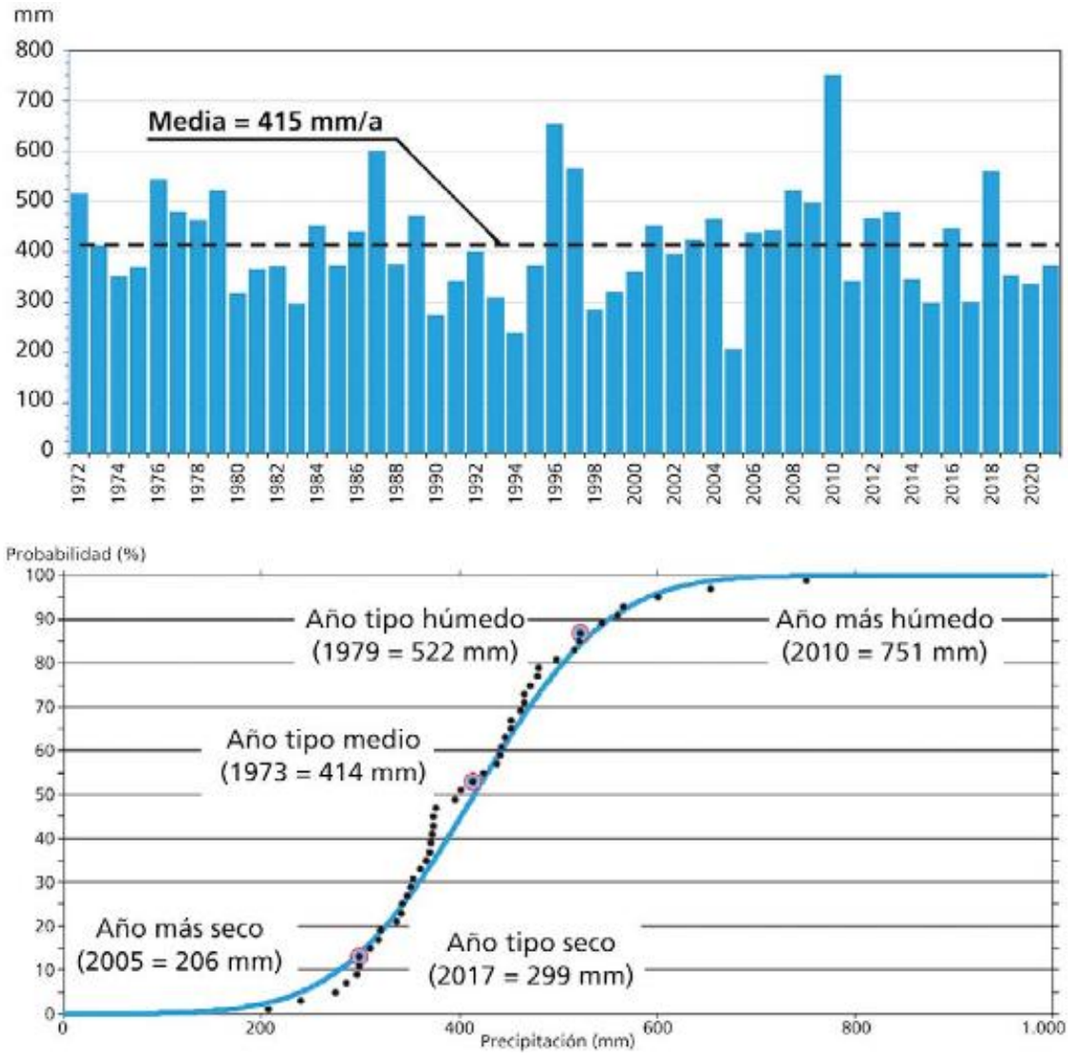


Figura 5.4. Arriba: hietograma anual de precipitación media. Abajo: distribución normal ajustada y años tipo

El hietograma anual y la distribución normal ajustada (Figura 5.4) arrojan los siguientes valores representativos de esta serie:

- Año de tipo medio: 1973, con 414 mm, ya que es el valor más cercano a la precipitación media
- Año de tipo húmedo: 1979, con 522 mm (más cercano a la precipitación con el 12,5% de probabilidad de ser mayor)
- Año de tipo seco: 2017, con 299 mm (más cercano a la precipitación con el 87,5% de probabilidad de ser menor)

También se obtiene que el año 2005 fue el más seco, con sólo 206 mm, y, por el contrario, el año 2010 ha sido el más húmedo de la serie, alcanzando los 751 mm. Por otro lado, el diagrama ombrotérmico elaborado con la precipitación y la temperatura media, establece un periodo de estiaje intenso entre los meses de junio a septiembre (Figura 5.5).

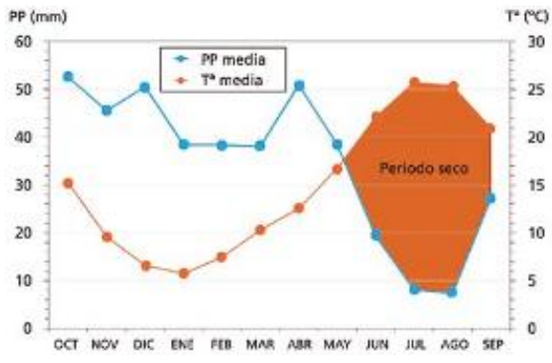


Figura 5.5. Diagrama ombrotérmico del año medio

Para identificar los periodos climáticos secos y húmedos se han representado las desviaciones acumuladas de las precipitaciones anuales respecto a la media del total de la serie analizada (Figura 5.6).

En los periodos secos, indicados con línea roja, el valor desciende, y en los húmedos la línea, en este caso azul, asciende. En los considerados como periodos medios la tendencia es subhorizontal y viene marcada en verde. Según este registro, la secuencia más seca se dio entre los años 1980 y 1995, con precipitaciones un 9% inferiores a la media, mientras que la más húmeda lo hizo entre 2006 y 2013, en las que fueron un 19% superiores (Tabla 5.6).

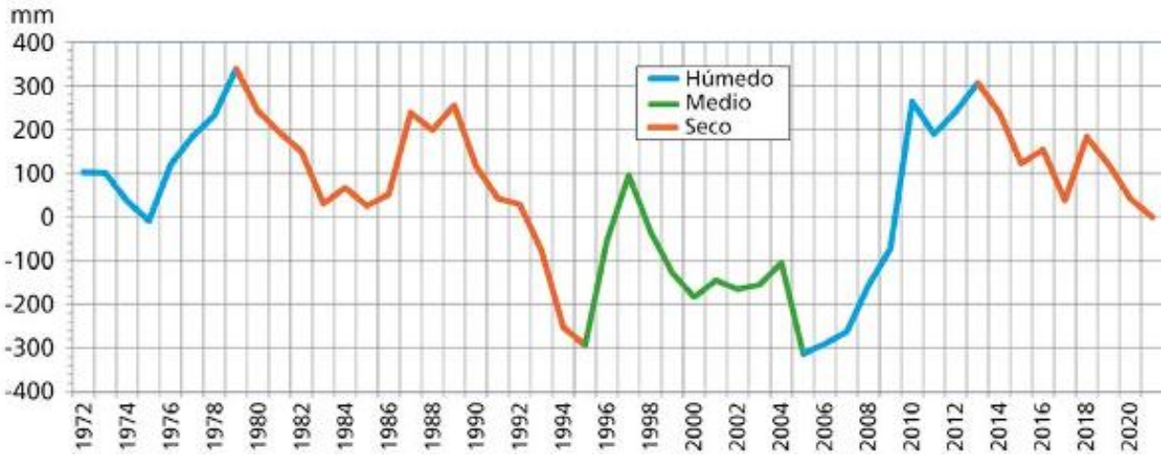


Figura 5.6. Tipo de periodo. Desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media

PERIODO	TIPOLOGÍA CLIMÁTICA	DURACIÓN (AÑOS)	PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN CON RESPECTO A LA MEDIA
1972 a 1979	Húmedo	8	8% superior
1980 a 1995	Seco	16	9% inferior
1996 a 2005	Medio	10	-
2006 a 2013	Húmedo	8	19% superior
2014 a 2021	Seco	8	8% inferior

Tabla 5.6. Análisis de los diferentes periodos climáticos entre 1972 y 2021

Metodología y cálculo del balance hídrico de las lagunas

La determinación del balance hídrico de una laguna presenta múltiples aspectos a considerar debido a la diversa variedad con la que pueden producirse las entradas y salidas de agua a su vaso. En el caso de las lagunas relacionadas con procesos volcánicos y asentadas en *maares*, su casuística se reduce al configurar zonas endorreicas en las que el término correspondiente a las salidas superficiales es nulo. A pesar de esto, la cuantificación de los restante factores es un proceso complicado y en muchas ocasiones sometido a indeterminaciones e interpretaciones, dependiendo del sistema de cálculo elegido.

De manera general, el balance hídrico de cualquier laguna implica establecer la variación del volumen de agua en ésta a lo largo del tiempo a partir del cálculo de las entradas y salidas a su vaso según la expresión:

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

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

En consecuencia, 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) y a los aportes subterráneos (A_{sub}) y antrópicos (A_{an}). Por la parte opuesta, las salidas son las debidas a la evaporación en la propia cubeta de la laguna (EVP_{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}).

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

Para los sistemas de carácter endorreico en los que no existen drenajes superficiales, así como tampoco aportes ni detracciones de carácter antrópico, como sucede en la totalidad de las lagunas descritas en este libro, excepto en laguna del Prado en Pozuelo de Calatrava que hasta principios de siglo tuvo aportes antrópicos, esta última expresión puede ser simplificada de la siguiente manera:

$$PP_{laguna} + ES + A_{sub} = EVP_{laguna} + S_{sub} \pm \Delta V_{laguna}$$

En estos casos, todas las variables pueden ser estimadas con medidas directas, o bien con diferentes sistemas de cálculo, a excepción de los aportes (A_{sub}) y salidas de aguas subterráneas (S_{sub}) al sistema. Ambos términos pueden ser integrados en uno solo que resume la relación de las lagunas con las aguas subterráneas (R_{sub}), cuyo valor para cada lapso temporal se obtendría como término residual o término de ajuste de la ecuación:

$$PP_{laguna} + ES - EVP_{laguna} \pm \Delta V_{laguna} = S_{sub} - A_{sub}$$

donde $S_{sub} - A_{sub} = R_{sub}$

por lo que: $PP_{laguna} + ES - EVP_{laguna} \pm \Delta V_{laguna} = R_{sub}$

La determinación del balance hídrico medio anual de cada una de las lagunas tratadas en esta publicación, con la excepción de la referida laguna del Prado, se ha obtenido a partir de esta última expresión y con balances a nivel diario (Figura 5.7).

De acuerdo con esta metodología, se han utilizado los datos climáticos de las estaciones de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y el valor de la evaporación se ha calculado a nivel diario por el método Penman (1948) para la extensión de la lámina de agua libre en cada momento.

Los aportes superficiales a las lagunas se han determinado por el método racional a partir 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.

Por otro lado, mediante el análisis geológico se ha establecido la extensión y distribución de las formaciones aflorantes en las cuencas hidrológicas de cada una de las lagunas, clasificadas según su permeabilidad (Tabla 5.7), con la obtención de la tipología y número de curva correspondiente a este factor.

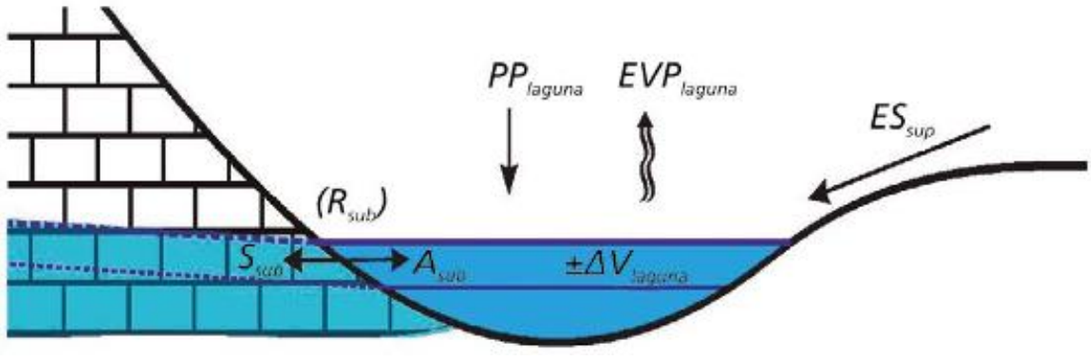


Figura 5.7. Esquema simplificado del balance de agua en lagunas endorreicas

TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS SEGÚN PERMEABILIDAD (K)				
Tipo	**K**	**Litología**	**Edad**	**Cuenca hidrológica de la laguna**
A	**Alta**	-	-	-
B	**Media**	Conglomerados, areniscas, pizarras y grauvacas	Cámbrico	Almodóvar
		Cuarcita armoricana (ortocuarcitas)	Ordovícico	Carrizosa, Luciánego, Peñarroya, Posadilla, Caracuel, Almodóvar, Hoya de Cervera
		Conglomerados, arenas y arcillas (*rañas*)	Plioceno	Carrizosa, Caracuel, Almodóvar
		Conglomerados, bloques, arenas y arcillas (*abanicos y glacis*)	Pleistoceno - Holoceno	Blanca, Almodóvar, Barondillo
		Cantos, gravas, arenas y arcillas (*coluvión*)	Pleistoceno - Holoceno	Carrizosa, Luciánego, Peñarroya, Posadilla, Caracuel, Blanca, Almodóvar, Hoya de Cervera, Barondillo
		Gravas y cantos, arenas, limos y arcillas (*conos de deyección*)	Holoceno	Peñarroya, Posadilla, Hoya de Cervera, Barondillo
		Gravas, arenas y limos (*fondo de valle*)	Holoceno	Caracuel, Blanca
C	**Baja**	Conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras	Ordovícico	Peñarroya, Luciánego, Posadilla, Caracuel, Blanca, Almodóvar, Barondillo
		Costras calcáreas, arenas y limos	Plioceno	Del Prado, Caracuel, Blanca
		Depósitos hidromagmáticos	Mioceno superior - Pleistoceno inferior	Luciánego, Posadilla, Del Prado, Caracuel, Blanca, Almodóvar, Hoya de Cervera, Barondillo
		Nefelinitas olivínicas. Piroclastos	Mioceno superior - Pleistoceno inferior	Peñarroya, Posadilla, Barondillo
		Nefelinitas olivínicas. Lavas	Mioceno superior - Pleistoceno inferior	Posadilla
		Melilitas olivínicas. Piroclastos	Mioceno superior - Pleistoceno inferior	Almodóvar
		Basaltos y basanitas. Piroclastos	Mioceno superior - Pleistoceno inferior	Peñarroya, Blanca
		Basaltos y basanitas. Lavas	Mioceno superior - Pleistoceno inferior	Peñarroya, Blanca, Barondillo
D	**Impermeable**	Margas yesíferas y yesos	Plioceno	Del Prado
		Limos y arcillas (*Fondo endorreico*)	Cuaternario	Carrizosa, Peñarroya, Luciánego, Posadilla, Del Prado, Caracuel, Blanca, Almodóvar, Hoya de Cervera, Barondillo

Tabla 5.7. Caracterización de la permeabilidad de las formaciones geológicas aflorantes en las cuencas hidrológicas de las lagunas

En cuanto a la pendiente media de la cuenca, se ha determinado mediante el análisis y el 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, su batimetría y el volumen almacenado para distintos niveles de inundación, con pasos de altura de 0,01 m, mediante la elaboración de un 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 CNIG. Esto ha permitido establecer y representar las funciones que definen en cada laguna las relaciones: altura lámina agua-superficie, altura lámina agua-volumen y superficie-volumen.

En tres de ellas también se ha dispuesto de registros limnimétricos entre diciembre de 2012 y septiembre de 2014 (Camuñas *et al.*, 2018), correspondiente al proyecto de investigación: "Patrones ecológicos en lagunas mesetarias: las claves para su conservación (ECOLAKE)", referencia CGL 2012-38909, liderado por la Universidad de Valencia, por lo que se ha podido contar con información real sobre la evolución del agua contenida 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.

A partir de aquí, la metodología utilizada considera dos casos: por un lado, aquellos humedales para los cuales

el análisis geológico/hidrogeológico concluye de forma fehaciente que no tienen 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.

En los casos en que no exista relación con las aguas subterráneas, el proceso de llenado/vaciado del vaso de la laguna, calculado de forma teórica para cada periodo, se ha contrastado con los registros limnimétricos obtenidos durante el desarrollo 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 tienen relación con las aguas subterráneas.

Con la simulación del llenado/vaciado, una vez calibrado con las medidas directas, se ha establecido 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 el periodo de 50 años transcurrido entre los años 1972 y 2021, lo que ha permitido reconstruir el comportamiento hidrológico de la laguna y su balance hídrico hiperanual a largo plazo.

En los casos en los que se dan procesos de intercambio entre el agua de las lagunas y las aguas subterráneas debido a la presencia de formaciones geológicas permeables en su vaso, esta relación quedaría reflejada por una diferencia residual del balance hídrico obtenido, tal y como se ha expuesto en la formulación desarrollada al inicio de este capítulo. De esta manera los valores positivos implicarían la existencia de un flujo subterráneo hacia la laguna, mientras que los valores negativos supondrían la perdida de agua a favor de los acuíferos con los que está interconectada. Este término de ajuste (R_{sub}) se ha obtenido mediante el diseño y calibración de un modelo de flujo subterráneo incorporado en el código RENATA.

Para la determinación del término R_{sub} en las lagunas que no cuentan con medidas limnimétricas, 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.

El código RENATA (REcarga NATural de Acuíferos)

Se trata de un código elaborado por el Ciclo Hidrológico de la Diputación Provincial de Alicante (DPA) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), con el apoyo de ALJIBE Consultores que facilita y automatiza el cálculo de los términos del balance hídrico de las lagunas según lo expuesto en el apartado anterior.

Aunque el objeto del código RENATA es la determinación de la recarga generada en los acuíferos por la infiltración del agua de lluvia a partir de la simulación de los diferentes factores y procesos hidrológicos que tienen lugar en el terreno, también permite establecer la escorrentía superficial generada en una cuenca hidrológica. Para este fin, la aplicación requiere la discretización superficial del sistema a analizar mediante el establecimiento, por filas y columnas georreferenciadas en coordenadas UTM, del número y tamaño de celdas más adecuado a su morfología.

En cuanto al sistema de cálculo, uno de los aspectos más interesantes de la aplicación es que permite obtener por distintos métodos, y a partir de las series climáticas, la evapotranspiración potencial (ETP), la evapotranspiración real (ETR), la lluvia útil (LLU), la infiltración profunda o recarga natural (INF) y la escorrentía superficial (ESC), por lo que, incluso, puede ser utilizada en otro tipo de estudios hidrológicos, como es este caso.

La ETP puede ser establecida por cinco métodos diferentes a elección del usuario: Thornthwaite, Hargreaves, Blaney-Criddle (evapotranspiración de referencia), Penman-Monteith y Blaney-Criddle. También incluye la posibilidad de estimar la evaporación directa de la lámina de agua por los métodos de Penman y Harbeck. La ETR se determina a partir de la ETP y de la asignación de las diferentes capacidades de campo, o de distintas reservas útiles, establecidas para cada tipología de suelo. Para ello se emplea el método del balance del suelo a nivel diario de Thornthwaite. Del

cálculo anterior se obtiene la lluvia útil, concepto que integra al agua de escorrentía superficial y a la infiltración profunda. Para la desagregación de este parámetro en sus dos componentes: superficial y subterránea, se ha utilizado el denominado método del Número de Curva del *Soil Conservation Service* de EEUU (USSCS). Dicho método evalúa la escorrentía superficial a partir de un umbral de escorrentía (P_0) o número de curva determinado en función de las características litológicas, de la pendiente, de la vegetación y de los usos del suelo. En consecuencia, la aplicación establece sectores con distinto comportamiento hidrológico.

Como resultado de la diferencia entre la LLU y la ESC, se obtiene el valor de la infiltración profunda en cada una de las celdas y sectores para los lapsos temporales considerados.

Finalmente, el código también incorpora la posibilidad de diseñar un modelo de flujo subterráneo para estimar el intercambio subterráneo y contrastar los resultados con series piezométricas o de aforos de manantiales o de ríos, si se dispone de ellas. Esta última opción permite, además, contrastar y calibrar los valores de infiltración y escorrentía hallados para la totalidad del sistema acuífero y sopesar la conveniencia de proceder o no a un mejor ajuste.

Una vez incorporada la información previa o de base (discretización, georreferenciación y periodo a simular), el programa sigue los siguientes pasos:

a. Inserción y modificación de series temporales
b. Definición de sectores para la recarga
c. Diseño del modelo de flujo, en su caso
d. Realización de cálculos
e. Visualización de resultados

Las series temporales introducidas corresponden a datos de precipitación, temperatura y dotaciones de riego, que permiten definir tres tipos de sectores: climáticos, de suelo y de riego. Los sectores climáticos están asociados a las series temporales de precipitación/temperatura y de ETP, cuya diferenciación puede hacerse automáticamente mediante el método de los polígonos de Thiessen. Los sectores de suelo requieren definir un límite inferior para su capacidad de almacenamiento de agua y, opcionalmente, otro superior en el caso de utilizar el método de Thornthwaite modificado por G. Girard (1981). Este último utiliza una capacidad de campo mínima y máxima entre cuyos límites se genera la lluvia útil (LLU), factor que depende del grado de saturación y del umbral de escorrentía o número de curva.

Por su parte, los sectores de riego quedan caracterizados por series temporales de dotación mensual, según tipo de cultivos y la aplicación de un porcentaje de retorno. La combinación o intersección de estos sectores da lugar a la zonificación del área en un conjunto celdas de características homogéneas.

Posteriormente, o alternativamente, se ajustan y calibran los resultados con las series de hidrometría y piezometría disponibles. Durante el proceso de calibración se pueden modificar los parámetros relativos al balance, infiltración profunda y escorrentía superficial, así como los hidráulicos propios del modelo de flujo subterráneo, hasta que el ajuste alcanzado entre los valores resultantes y los observados sea aceptado.



Capítulo 6

Laguna de La Carrizosa

Miguel Mejías Moreno
Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro





6. LAGUNA DE LA CARRIZOSA

Situación geográfica y accesos

La laguna de La Carrizosa se ubica a unos 5 km al este del núcleo urbano de Cabezarados (Ciudad Real) (Figura 6.1), su punto central tiene unas coordenadas aproximadas X: 392.115, Y: 4.299.795 (UTM ETRS89 H30) y una cota de 692,3 m s.n.m., según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

Este humedal es de los que cuentan con un acceso libre y sencillo. Desde la población de Cabezarados se toma la carretera CM-4112, que une el citado núcleo



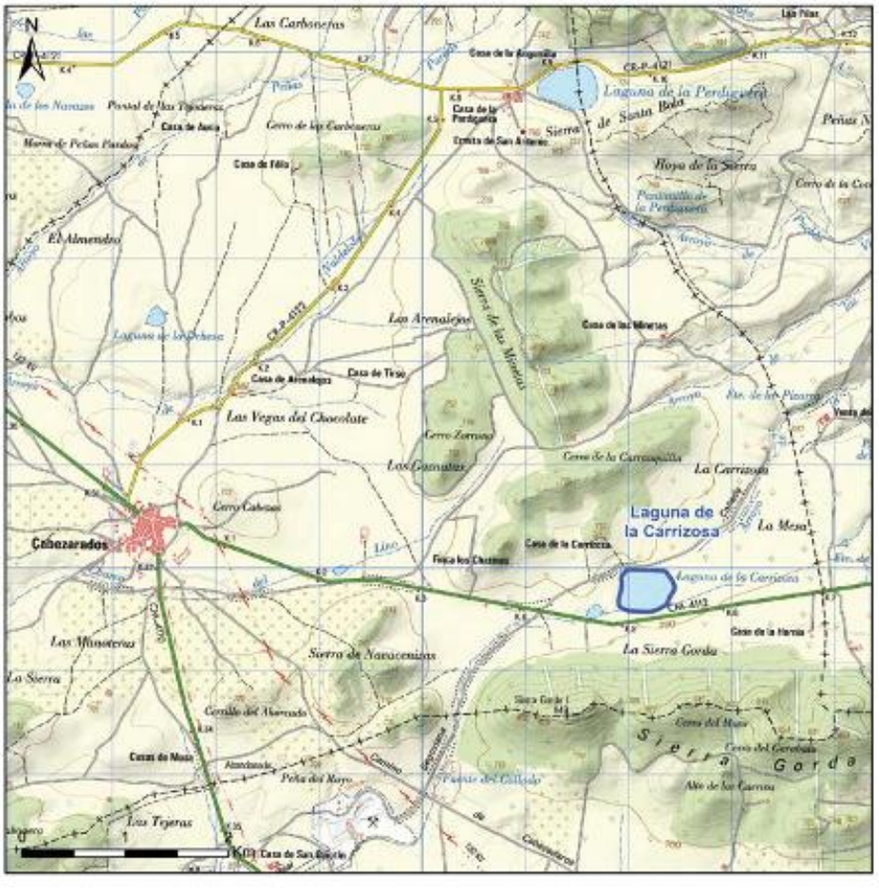


Figura 6.1. Situación geográfica de la laguna de La Carrizosa (hoja 783 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

urbano con la localidad de Corral de Calatrava, y en el lado izquierdo, en sentido Cabezarados a Corral de Calatrava, a unos 4 km se ubica un camino de tierra suficientemente acondicionado para el tránsito de vehículos que conduce al humedal. En las inmediaciones de la laguna se encuentra un área de recreo con un vallado de madera y una techumbre que ofrece algo de sombra a los posibles visitantes.

Características fisiográficas

La laguna de La Carrizosa es un humedal estacional, de origen volcánico. Se sitúa en una pequeña depresión que cuenta con un discreto resalte en el borde oriental relacionado con depósitos piroclásticos. Tiene una superficie inundable de 18,47 ha y un perímetro de 1,60 km de longitud. A grandes rasgos se asemeja a un paralelepípedo con el lado oriental de aspecto más irregular (Figura 6.2).



Figura 6.2. Vaso lagunar de La Carrizosa (ortofoto PNOA 2018. Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

Historia y cultura

Como se ha mencionado anteriormente, la laguna de La Carrizosa pertenece al término municipal de Cabezarados, y se encuentra a unos 11 km del núcleo urbano de Abenójar, el más importante de los ubicados en sus proximidades.

Las primeras referencias históricas de la actual población de Cabezarados están relacionadas con los castillejos o castellares, de época prerromana, que fueron utilizados posteriormente por otras culturas. El paso de la vía romana desde Mérida al Puerto de Almansa ha dado lugar a que se mencione la población por la presencia de restos arqueológicos de esta época en sus inmediaciones. Los vestigios anteriores a la época musulmana se atribuyen generalmente a restos cristianos primitivos. Por otra parte, en la dehesa de los Guijos se encontró un capitel jónico, lo que parece indicar la existencia de construcciones de los siglos V o VI.

No hay datos de la época musulmana, aunque la proximidad de Abenójar hace suponer que en esta época fuese una alquería dependiente de ella, que sólo adquirió independencia después de la Reconquista con la división estructural de la Orden de Calatrava. El Libro de Montería de Alfonso XI consigna que "…*El Serrejón de Cabeza Arados, que es entre Abenójar, et Almodóvar, es buen monte de oso en invierno*…".

El municipio aparece ampliamente recogido en las Relaciones Topográficas de Felipe II, donde se dice textualmente: "*I. En el primer capítulo dijeron que este pueblo se llama Cabezarados y que no se acuerdan haberse llamado de otra manera, y que el origen de haberse llamado ansí según han oído a sus pasados es porque está cerca de él un cerro redondo que se dice la Cabeza, y es bueno para labor y principio del pueblo para ella según se entiende, y es la mejor tierra de todo el pueblo para labor, y de aquí se entiende que tomó el origen esta villa para decirle Cabezarados. 2. Al segundo capítulo, que este pueblo es muy antiguo y no se sabe por su antigüedad quién fue el fundador*".

La población cuenta con una singularidad específica: el Rollo Jurisdiccional que, por sus detalles ornamentales, parece corresponder al siglo XV (Figura 6.3). En



Figura 6.3. Rollo Jurisdiccional, ubicado en la plaza de la población: remate apical (izquierda) y escudo (derecha) (L.A. Carreño)

1575 se menciona que hay una fuente con pilar junto al pueblo y que es camino de paso para Guadalupe y Portugal de los viajeros procedentes de La Mancha (Figura 6.4). En 1826 Cabezarados tenía 317 habitantes, 56 casas, 2 posadas y un pósito. En época contemporánea, el establecimiento minero de San Quintín supuso la creación de varios barrios en este término, que hicieron crecer considerablemente la población.

En la plaza del núcleo urbano se erige el Rollo Jurisdiccional, que data del año 1539, en el que la población obtendría el villazgo, según la inscripción que figura en el propio monumento. El Rollo fue desmontado a finales del siglo XIX o principios del XX y sus piezas repartidas entre algunos vecinos, siendo reconstruido en el año de 1982. La reconstrucción fue llevada a cabo por D. Manuel Corchado Soriano, investigador y con raíces en la comarca, quien tras largas gestiones consiguió que la Comisión Provincial de Monumentos se interesara por la obra. En una de sus piedras figura el escudo de la villa con sus armas: cabeza y dos arados, y en número romanos se especifica el año, 1539.

El Rollo es una columna de piedra, rematada por cuatro brazos del mismo material que probablemente coronaba el lugar de referencia para impartir justicia. Sobre los brazos descansa un friso decorado con cruces, al que se superpone un capitel rematado con la cruz de Calatrava en forja, todo ello asentado sobre un graderío de tres alturas de forma circular. Está cargado de símbolos de poder que informan a los forasteros que Cabezarados ejercía su propia justicia (Ayuntamiento de Cabezarados, 2023).

El Pilar sirvió de centro neurálgico a partir del cual se desarrolló la población. Comenzó siendo un abrevadero y se convirtió en lavadero, fuente de abastecimiento de agua y punto de reunión de los vecinos hasta bien entrado el siglo XX.



Figura 6.4. Pilar y fuente de Cabezarados con placa informativa (L.A. Carreño)

Un lugar reseñable del pueblo es la ermita de Ntra. Sra. de Finibusterre (Figura 6.5). Se trata de una ermita de una sola nave cuadrangular, cuyo acceso está porticado. El actual edificio fue reconstruido en el año 2007 sobre unos restos anteriores, posiblemente romanos, situado junto a la vía romana que atraviesa Cabezarados con destino a Extremadura (Edén de La Mancha, 2023). La Virgen de Finibusterre de Cabezarados tiene su origen en el periodo de la Reconquista, cuando los monjes miembros de la Orden de Calatrava consiguieron avanzar hasta esta posición, refiriéndose a él como el último lugar cristiano conocido. La ermita queda reseñada en las Relaciones Topográficas de Felipe II (Ortega, 1918):

> *"A los cincuenta y un capítulos, que hay una ermita dos tiros de ballesta de esta villa en los edificios antiguos que es su advocación de Nuestra Señora de Finibus Terrae; es ermita de mucha devoción y ha obrado algunos milagros, especialmente uno en veinte y seis días del mes de marzo del año pasado de mil y quinientos y cincuenta y cuatro, que viniendo a la dicha ermita a velar Isabel Martín, mujer de Pero Martín de Lorencio, vecina de la villa del Corral, la cual estaba tullida de pies y manos había más de un año, y estando velando en la dicha ermita y haciendo oración a Nuestra Señora, de repente se sintió sana, de manera que pudo andar y menear las manos muy bien, de lo cual se hizo información y averiguación muy bastante con número de testigos fidedignos por Mateo Muñoz, alcalde ordinario que a la sazón era de esta villa, de pedimento del bachiller Martín Alonso, cura que era en esta villa".*

Como punto de interés también cabe mencionar las minas de San Quintín, situadas en el cruce de carreteras Villamayor-Cabezarados y Almadén-Puertollano, las cuales dividen en dos a la concesión minera. Distan 2 km de Cabezarados, aunque las casas anexas a la mina empiezan a aparecer a tan solo 1 km. Fueron explotadas por primera vez por los romanos, con restos de trabajos encontrados hasta 100 metros de profundidad. La primera referencia documental de las minas de San Quintín es de 1559, al ser registradas



Figura 6.5. Vista exterior de la ermita de la Virgen de Finibusterre (L.A. Carreño)

algunas explotaciones en el vecino termino de Villamayor de Calatrava.

A finales del siglo XVI existe una referencia a una fundición en la mina de "El Viejo", que parece corresponder a los restos existentes junto al sitio denominado "Huerta del Collao". Estas fundiciones estaban emplazadas a media ladera, donde estaban bien aireadas para evitar los vapores nocivos de la fundición de plomo, cercanas a un curso de agua y con abundante leña en las inmediaciones para abastecer las necesidades de los hornos.

En el año de 1616 estas minas, de las que se sacó mucha plata, fueron explotadas por los Condes Fúcares, quienes tenían un crisol en Almagro. Posteriormente fueron abandonadas, debido a los numerosos pleitos que les ocasionó su explotación. En el Catastro del Marques de la Ensenada se reseña que a mediados del siglo XVIII las explotaciones debían estar totalmente abandonadas, sin conocerse su anterior explotación, ya que en la respuesta 17 del interrogatorio general de Villamayor no se hace mención alguna después de pedir la relación de minas del término.

En el siglo XIX, Pascual Madoz menciona la explotación de dos minas de galena en el término de Cabezarados, que corresponden a las minas de San Quintín. Estas dos minas fueron denunciadas y explotadas por D. Rafael Cabanillas, quien señala que existían restos de trabajos anteriores. Los principales metales obtenidos eran plomo, plata y zinc. En el último tercio del siglo XIX, coincidiendo con la reactivación de la minería y con el proceso de industrialización del país, se retoma su explotación por la Sociedad Minero y Metalúrgica de Peñarroya.

Contexto socioeconómico

El término municipal de Cabezados se extiende sobre una superficie de 80,36 km^2 y cuenta con 300 habitantes (INE, 2022), de los cuales 164 son hombres y los 136 restantes, mujeres; lo que supone una densidad de 3,73 hab/km^2. Hasta 1960 en la población estaban censados más de 1.000 habitantes, disminuyendo una década más tarde a poco más de 500, descenso que se prolonga hasta la actualidad.

La actividad económica se resume en la Tabla 6.1, observándose que la agricultura es la principal fuente de actividad económica, con el 47,37% de las empresas censadas en la población y 33 trabajadores afiliados al sector agrícola, seguido de cerca por el sector servicios con el 42,10% de las empresas y 30 trabajadores afiliados; ya de manera casi anecdótica la industria con 2 empresas y 13 trabajadores afiliados y la construcción con 3 trabajadores.

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	33	*37,93*	9	*47,37*
Industria	13	*14,94*	2	*10,53*
Construcción	3	*3,44*	0	*0,00*
Servicios	30	*34,48*	8	*42,10*
No consta	8	*9,21*	0	*0,00*
TOTAL	**87**	***100***	**19**	***100***

Tabla 6.1. Empresas y afiliación en Cabezarados (Tesorería General de la Seguridad Social, 2021)

La evolución ocupacional entre 2017 y 2022 (Tabla 6.2) presenta un descenso de desempleados entre los años 2017 y 2019, para incrementarse ligeramente en 2020 y 2021, volviendo a descender en 2022, para los datos correspondientes al 31 de marzo de 2022.

AÑO	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Nº de parados	49	40	34	45	48	33

Tabla 6.2. Desempleados en Cabezarados (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha, SEPE)

En cuanto a los aprovechamientos agrarios, los últimos datos disponibles corresponden al censo agrario de 2020 (Tabla 6.4), presentando, en las superficies labradas, un predominio de las explotaciones herbáceas con el 64,1% de las tierras cultivadas, seguida por los leñosos, con un 8,6%. Casi el 14% de la superficie rural se dedica a pastos y casi otro 14% a otros tipos de cultivos.

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos		4.168,91		*64,1*
	Leñosos	**5.613,14**	556,86	*86,3*	*8,6*
	Otros		887,37		*13,7*
Pastos		**887,35**		*13,7*	
TOTAL		**6.500,49**		***100***	

Tabla 6.3. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2020, INE)

Normativa específica y figuras de protección

Este ecosistema solo cuenta con la figura de protección Zona de Especial Conservación (ZEC), según Decreto 26/2015, de 7 de mayo, por el que se declaran las "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava" (DOCM, 2015a), anteriormente designada Lugar de Importancia Comunitaria (LIC). Tiene el código Natura 2000: ES4220005 y dispone de un plan de gestión aprobado mediante la Orden de 07/05/2015, de la Consejería de Agricultura de La Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (DOCM, 2015b). También está incluido en el Inventario Español de Zonas Húmedas con el código IH422028 (BOE, 2019).

En torno al humedal aparece una gran banda de vegetación acuática con especies presentes como *Scirpus lacustris*, *Myriophyllum alterniflorum* y comunidades de *Eleocharis palustris*. En la zona más próxima al agua aparecen comunidades anfibias temporales acompañadas de juncales churreros. En ella se desarrollan especies como *Juncus supinus*, *Lythrum borysthenicum*, *Elatine brochonii*, *Pulicaria paludosa* y *Preslia cervina*. La banda exterior seca está compuesta por vallicares de *Agrostis castellana,* muy deteriorados por la presencia de ganado (DOCM, 2019).

Las praderas sumergidas de *Charetum canniventis* tapizan el fondo de la cubeta en las zonas de mayor luminosidad, y son la principal fuente de alimentación de muchas de las aves del entorno (Velayos *et al*., 1989).

Cuando las condiciones climáticas favorecen el llenado del humedal, constituye un excelente hábitat de nidificación de la avifauna acuática, destacando la reproducción de *fumarel común* y *zampullín cuellinegro* (DOCM, 2019). Como dato a resaltar, durante el periodo del 2007 al 2012 supuso alrededor del 25% de la población reproductora en Castilla-La Mancha.

En algunas lagunas del Campo de Calatrava existen infraestructuras relacionadas con actividades ganaderas. Es el caso de este humedal, con la presencia de una pequeña charca colateral utilizada como abrevadero para el ganado (Figura 6.6).

Climatología

Por su representatividad, la descripción climática de esta laguna se apoya esencialmente en los datos suministrados por la AEMET de la estación de Alcolea de Calatrava (4134), cuya cota es de 650 m s.n.m. Para calcular la evaporación también se han utilizado datos procedentes de las estaciones más representativas del entorno. Su análisis se ha realizado a nivel diario y para el periodo de 50 años comprendido entre 1972 y 2021.

El hietograma (representación de la intensidad de la lluvia) de la estación 4134 muestra una precipitación media de 460 mm con una desviación típica de 129 mm. El valor mínimo, 189 mm, se dio en el año 2005 y el máximo, 760 mm, en 2010 (Figura 6.7). El diagrama ombrotérmico (representación de la precipitación de



Figura 6.6. Laguna ganadera en el extremo noroccidental de la laguna (C. Lorenzo, STA CN IGME-CSIC)

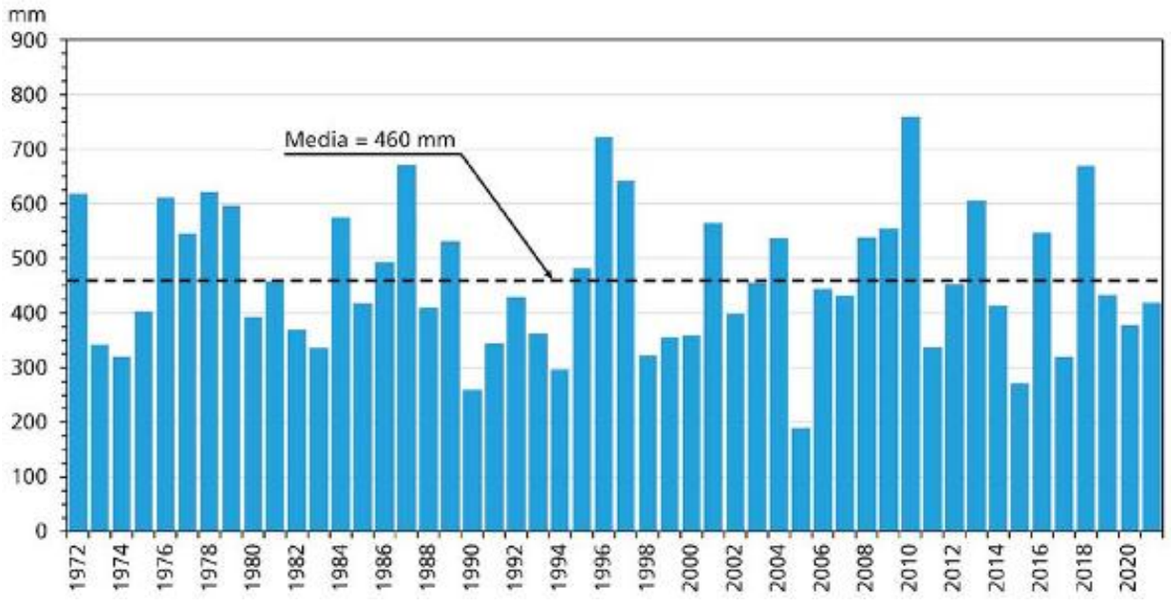


Figura 6.7. Hietograma de la precipitación anual en la estación de Alcolea de Calatrava (4134)



Figura 6.8. Diagrama ombrotérmico del año medio

la estación 4134 y la temperatura de la estación 4207) de la Figura 6.8 determina un periodo de estiaje bastante intenso entre los meses de junio a septiembre.

El análisis de la desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media de los 50 años de la serie climática, permite diferenciar 4 periodos húmedos, otros tantos secos y un periodo considerado como medio (Figura 6.9 y Tabla 6.4). De los periodos secos destaca por su intensidad el trascurrido entre los años 1990 y 1994, con una precipitación anual inferior al 26% de la media, y por su duración, el que va de 1998 a 2007.



Figura 6.9. Desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media

PERIODO	TIPOLOGÍA CLIMÁTICA	DURACIÓN (AÑOS)	PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN CON RESPECTO A LA MEDIA
1972 a 1975	Seco	4	11% inferior
1976 a 1979	Húmedo	4	29% superior
1980 a 1983	Seco	4	15% inferior
1984 a 1989	Húmedo	6	12% superior
1990 a 1994	Seco	5	26% inferior
1995 a 1997	Húmedo	3	34% superior
1998 a 2007	Seco	10	12% inferior
2008 a 2010	Húmedo	3	38% superior
2011 a 2021	Medio	11	-

Tabla 6.4. Análisis de los diferentes periodos climáticos entre 1972 y 2021

Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna de La Carrizosa tiene una extensión de 138,56 ha. Su forma es alargada, según una dirección norte-sur, en la que el eje mayor alcanza los 2 km de longitud. El área inundable se ubica en su zona central, y llega a ocupar el 14% de la superficie total de la cuenca (Figura 6.10). El área de la cuenca es solo 7 veces mayor que la superficie inundable de la laguna.

El relieve es relativamente suave. Al sur de la cuenca se encuentra la máxima altura, 840 m s.n.m. Desde aquí el terreno desciende progresivamente hasta el centro de la laguna, 692,30 m s.n.m., para elevarse de nuevo en dirección al extremo norte hasta alcanzar los 770 m s.n.m.

No existe ningún curso superficial reseñable, más allá de pequeñas vaguadas por las que solo discurre el agua tras eventos importantes de precipitación.

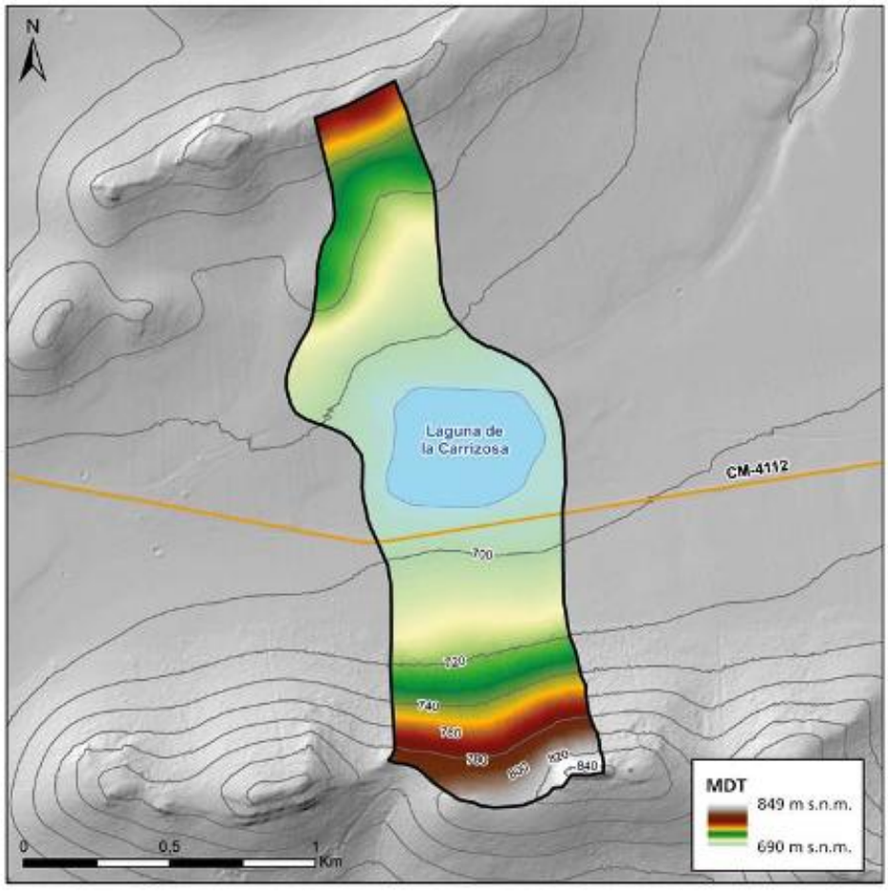


Figura 6.10. Cuenca hidrológica de la laguna de La Carrizosa

Geología

Las formaciones geológicas que afloran en el área vertiente de la laguna de La Carrizosa representan una geología relativamente poco complicada. En ambos extremos, norte y sur, de la cuenca hidrológica afloran cuarcitas armoricanas del Ordovícico, y los materiales sobre los que se asienta la laguna corresponden a materiales detríticos, de tipo raña, del Plioceno (Figura 6.11).

La laguna está relacionada con el sistema volcánico del anticlinal de Abenójar-Argamasilla. Las depresiones volcánicas ubicadas en las proximidades de Cabezarados son de escasa profundidad. La Carrizosa se sitúa en una de estas pequeñas depresiones, con un resalte en forma de arco en su borde oriental, que se corresponde con un depósito piroclástico.

El substrato geológico está formado por pizarras, cuarcitas y ortocuarcitas del Precámbrico y del Ordovícico. Las cuarcitas armoricanas, que dan lugar a los resaltes topográficos, no superan los 40 m de espesor (Figura 6.12). Estas se encuentran tapizadas por conglomerados de cantos cuarcíticos pertenecientes al Plioceno superior, sobre los que se asienta la laguna.

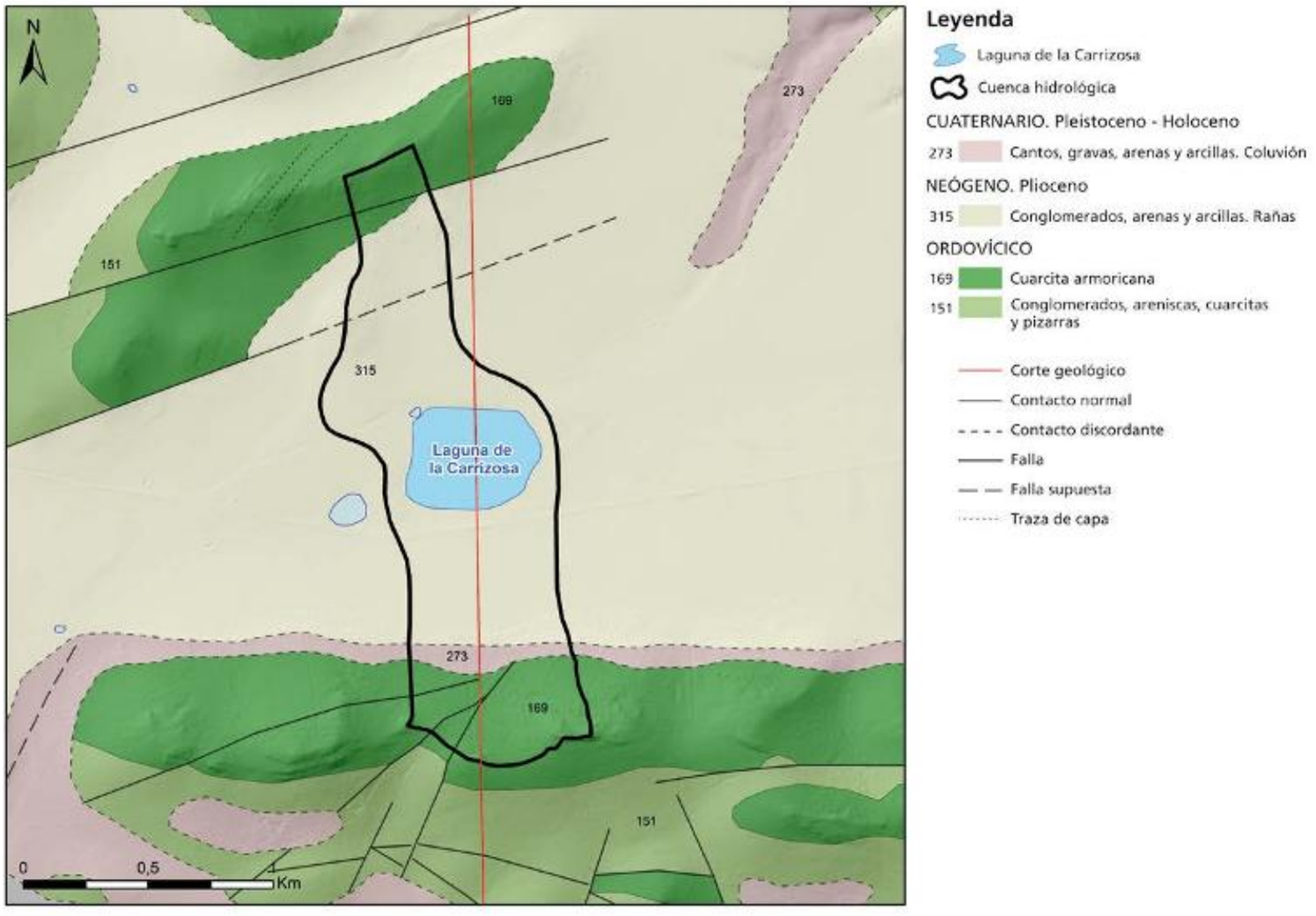


Figura 6.11. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de La Carrizosa (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Baquedano y C. Camuñas)

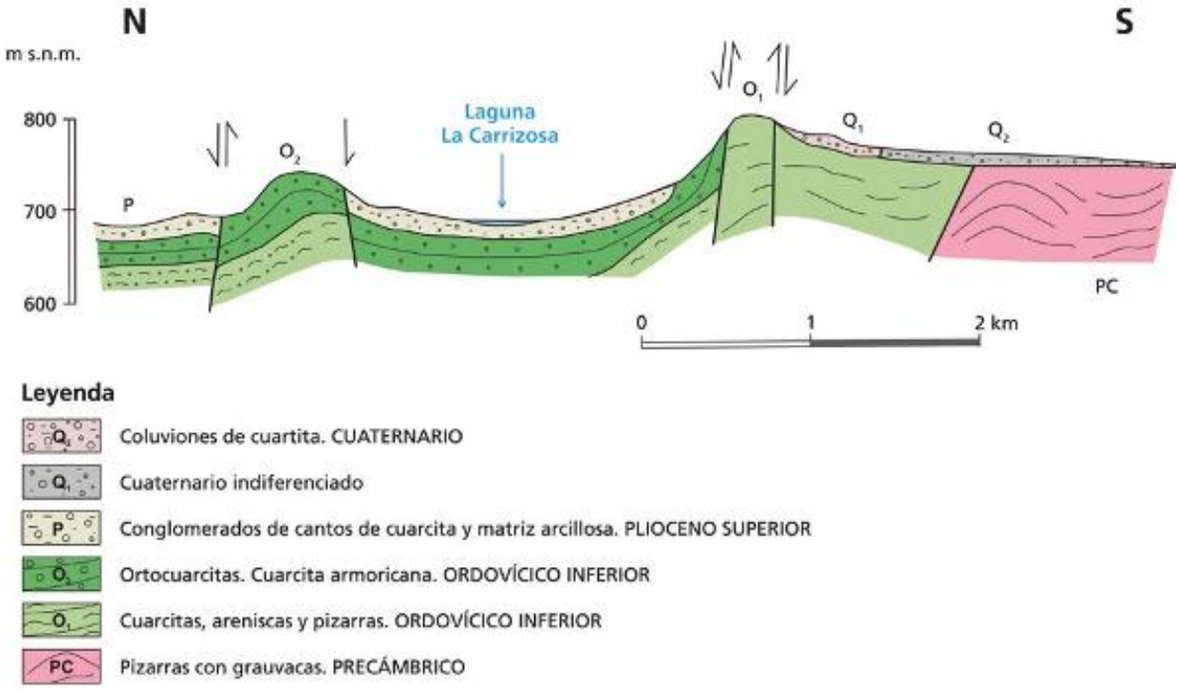


Figura 6.12. Corte geológico de la laguna de La Carrizosa

Hidrogeología

Respecto a su comportamiento hidrogeológico (Tabla 6.5), el predominio, con el 87% de la extensión de toda la cuenca, corresponde a los materiales de permeabilidad media (Tipología B) constituidos por la cuarcita armoricana, las rañas (conglomerados, arenas y arcillas) del Plioceno y los cantos, arenas y arcillas que constituyen los coluviones, con una edad geológica del Pleistoceno-Holoceno. El 13% restante lo constituyen los limos y arcillas del Cuaternario ubicados en el fondo endorreico de la laguna, considerados como materiales impermeables (Tipología D).

La laguna de La Carrizosa no responde a una morfología de tipo *maar*. La mayor parte de las formaciones de su entorno son de media o baja permeabilidad, y las únicas que presentan ciertas aptitudes hidrogeológicas son los conglomerados del Plioceno superior (P) y las cuarcitas ordovícicas (O_1 y O_2).

La cubeta de la laguna se encuentra sobre la formación detrítica del Plioceno superior: conglomerados con matriz arcillosa, que en secuencias húmedas podría actuar como nivel acuífero colgado y aportar algo de agua al humedal durante periodos muy breves de tiempo. El nivel piezométrico regional, relacionado con los materiales ordovícicos, se sitúa algunos metros por debajo del lecho del humedal, por lo que no hay aportes significativos de agua subterránea.

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
Formación geológica	**Edad**	**Tipología**	**%**
Cuarcita armoricana	Ordovícico	B	87
Conglomerados, arenas y arcillas	Pleistoceno-Holoceno	B	
Cantos, gravas, arenas y arcillas	Plioceno	B	
Limos y arcillas	Cuaternario	D	13
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Tabla 6.5. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de La Carrizosa

Hidroquímica

Durante los casi dos años de duración de los trabajos que han dado lugar a la presente publicación, y tras realizar en este tiempo 5 visitas al humedal, nunca se ha encontrado con agua. Tan solo en la pequeña charca ganadera que hay en sus proximidades se ha podido tomar algún dato *in situ* de escasa representatividad. En concreto, en agosto de 2022, se obtuvo un valor de conductividad eléctrica (CE) de 677 µS/cm, un pH de 9,71 y una temperatura de 30,5 °C; valores más relacionados con las características del agua de lluvia, o con las del relleno de la charca ganadera mediante cisternas. Como referencia bibliográfica, existe el dato aportado por Velayos *et al*., 1989, quien define sus aguas como escasamente mineralizadas, al no alcanzar los 0,05 gr/L de sales.

Balance hídrico

La determinación del balance hídrico de la laguna La Carrizosa, como se desarrolla en el capítulo de la metodología seguida para su estimación, se ha basado en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua al sistema. Las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento y a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (138,56 ha). El nivel piezométrico se encuentra en torno a 5 m por debajo del vaso, razón por la que no puede recibir recursos subterráneos. En cuanto a las salidas, al tratarse de una cuenca endorreica, son debidas exclusivamente a la evapotranspiración producida sobre la lámina de agua libre.

Por lo tanto, el balance hídrico queda simplificado en la siguiente expresión:

$$\Delta V_t = PPD_t + ESC_t - EVP_t$$

donde,

ΔV_t *variación del volumen de agua en el intervalo t*
PPD_t *precipitación directa en la lámina de agua*
ESC_t *escorrentía superficial a la laguna*
EVP_t *evaporación en la lámina de agua libre*

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del modelo digital del terreno (MDT), con tamaño de celda de 5x5 m, del Centro Nacional de Información Geográfica. El tratamiento de esta información ha permitido relacionar la superficie de la lámina de agua libre con el volumen total acumulado según distintos niveles de profundidad y en intervalos centimétricos (Figura 6.13).

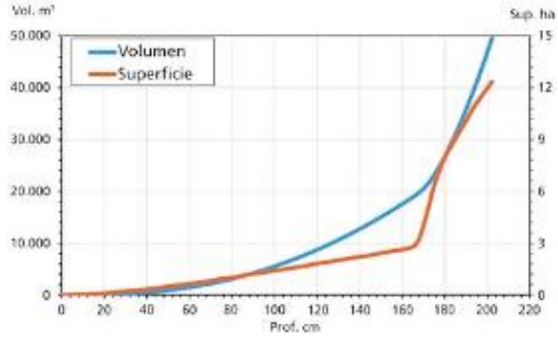


Figura 6.13. Curvas hipsométricas del vaso de la laguna de La Carrizosa: relación entre profundidad, volumen almacenado y superficie de la lámina de agua

La evaporación en la lámina de agua libre, establecida en cada momento por la curva hipsométrica, se ha calculado a nivel diario mediante la expresión de Penman (1948) a partir de las series de temperatura máxima y mínima, radiación solar y velocidad media del viento de la estación climática 4207 (Almodóvar del Campo) y la radiación solar y velocidad media del viento de la estación climática 4121 (Ciudad Real). Esta evaporación se ha aplicado a la superficie inundada calculada diariamente, aunque se han tenido en cuenta las diferencias entre la situación de la estación meteorológica, y la propia laguna, con los relieves circundantes.

La escorrentía superficial se ha estimado mediante la aplicación del código RENATA, para lo cual se ha discretizado la superficie vertiente a la laguna en celdas de 25x25 m (Figura 6.14). Este código utiliza el método del balance hídrico del suelo de Thornthwaite a nivel diario, modificado por G. Girard, para calcular la lluvia útil, y el método racional a partir del número de curva (NC) del USSCS para determinar la escorrentía superficial. La evapotranspiración se ha estimado mediante el de Hargreaves a partir de las series diarias de temperatura máxima y mínima de la estación 4207 y

LITOLOGÍA	SUPERFICIE ha	PARÁMETROS	ESCORRENTÍA m³/a
Cantos, gravas y arenas pliocuaternarias	87,63	RU_{min} = 75 mm RU_{max} = 100 mm P_0 = 20 mm NC = 72	817
Cuarcitas armoricanas	32,46	RU_{min} = 50 mm RU_{max} = 75 mm P_0 = 20 mm NC = 72	412
Vaso impermeable*	18,47		
Total	**138,56**		**1.229**

Tabla 6.6. Escorrentía superficial de la laguna de La Carrizosa. Parámetros y resultados (periodo 1972 a 2021)

** Contemplada en la precipitación directa caída sobre la lámina de agua*

de la precipitación de la 4134. El valor de los parámetros asignados (Tabla 6.6 y Figura 6.14) se ha obtenido a partir de las características de las distintas formaciones geológicas aflorantes en la cuenca y de su coherencia con las características hidrológicas de la zona, así como de los empleados para la estimación de la escorrentía en otras lagunas del Campo de Calatrava.

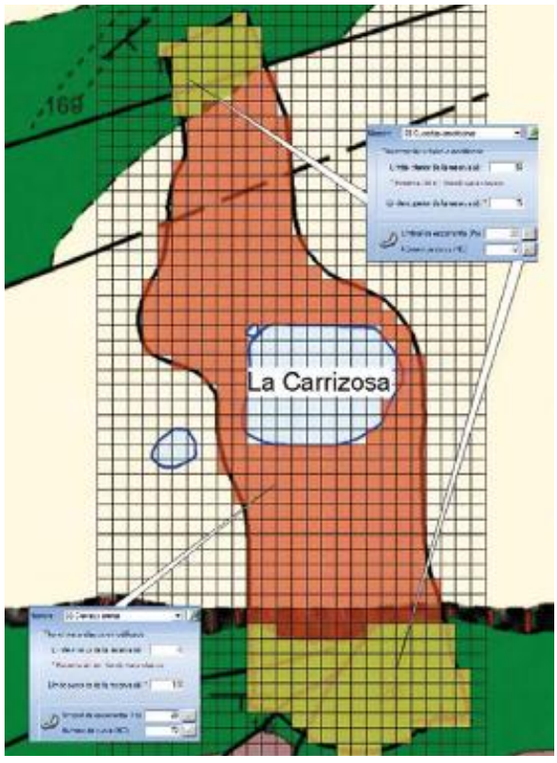


Figura 6.14. Modelo RENATA de la laguna de La Carrizosa para el cálculo de la escorrentía superficial.
En cuadros de color azul, parámetros del suelo asignados

Determinación del balance hídrico

Con los procedimientos y parámetros descritos, se ha determinado el balance hídrico del humedal a partir de la simulación diaria del periodo de 50 años analizado (1972 a 2021). Dicha simulación muestra que, al recibir sólo aportes de la escorrentía superficial y de la precipitación caída directamente sobre el vaso, se inundaría sólo en periodos con precipitaciones especialmente intensas, como la ocurrida en el año 1986, y casi el 85% del tiempo se encontraría seco o casi seco (Figura 6.15). No obstante, la evaporación es menor cuando la profundidad de la lámina de agua es inferior a 160 cm (Figura 6.16), por lo que tiende a permanecer más tiempo inundada.

De la simulación realizada también se obtiene que el volumen medio diario almacenado en el vaso del humedal es de unos 1.000 m³, algo más de 0,5 ha inundadas.

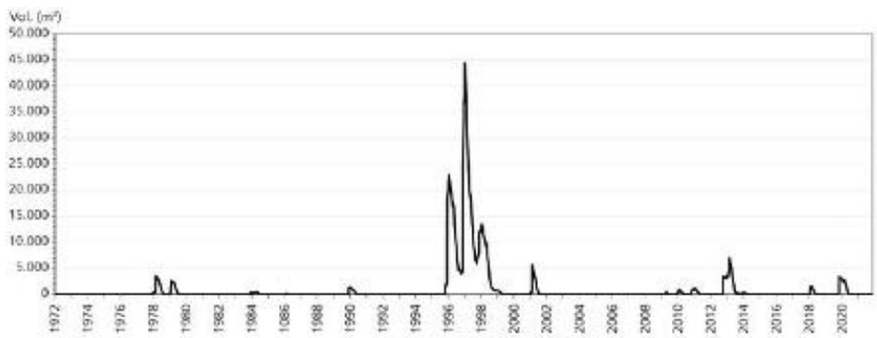


Figura 6.15. Simulación del volumen almacenado en la laguna de La Carrizosa (periodo 1972 a 2021)

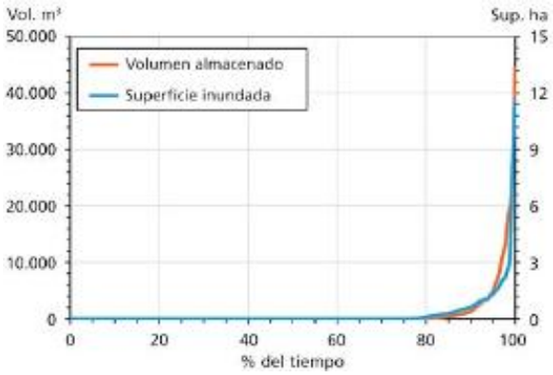


Figura 6.16. Distribución temporal (en %) de la superficie inundada y del volumen almacenado en la laguna de La Carrizosa

El balance hídrico obtenido muestra que la precipitación directa aportaría 1.556 m³/a, equivalente al 56% de los aportes totales, algo más que la escorrentía, cifrada en 1.229 m³/a, que correspondería al 44%. En este caso, comparado con el resto de las lagunas volcánicas del Campo de Calatrava, la aportación de precipitación directa es más significativa. En cuanto a las salidas, 2.785 m³/a, se producen en su totalidad por evaporación (Tabla 6.7 y Figura 6.17).

Tabla 6.7. Balance hídrico medio anual en la laguna de La Carrizosa (periodo 1972 a 2021)

PRECIPITACIÓN MEDIA mm	CUENCA VERTIENTE km²	ENTRADAS m³		SALIDAS m³
		Precipitación directa	Escorrentía superficial	Evaporación directa
460	1,39	1.556	1.229	2.785
		56%	44%	100%

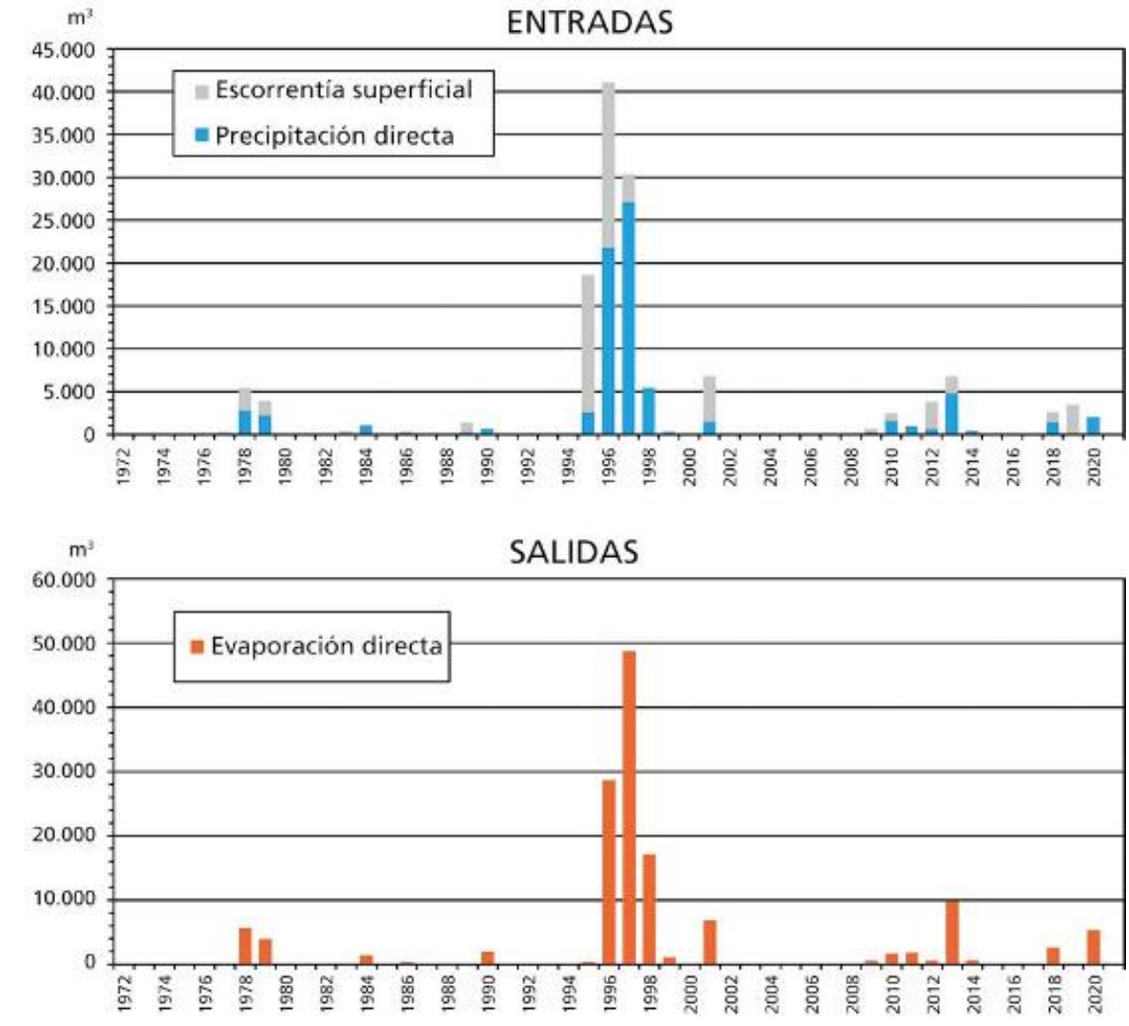


Figura 6.17. Balances hídricos anuales de la laguna de La Carrizosa

Evolución visual del territorio

Las imágenes aéreas de los años 1957 y 2018 (Figura 6.18) ofrecen dos perspectivas del entorno inmediato de la laguna y permiten analizar la trasformación territorial sufrida a lo largo de los 61 años que las separa. Como se puede observar, no se han producido cambios significativos durante esas seis décadas. Se mantienen en el entorno los cultivos tradicionales y el trazado de la carreta situada al sur del humedal, CM 4112, es prácticamente el mismo. No existen nuevas infraestructuras lineales ni crecimiento urbano.

En el conjunto de imágenes que se muestran a continuación (Figuras 6.19 a 6.23) se puede observar, desde diferentes perspectivas, el encuadre paisajístico de la laguna de La Carrizosa y su entorno.



Figura 6.18. Foto aérea comparativa del vuelo americano 1956-57 y ortofoto PNOA 2018 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 6.19. Panorámica del vallado perimetral norte durante el reconocimiento lagunar mediante dron (C. Camuñas)



Figura 6.20. Encinar que linda con el vaso lagunar a los pies de Sierra Gorda (C. Camuñas)



Figura 6.21. Vista general, en agosto de 2022, con los cerros del moro y del Garabato al fondo (C. Camuñas)



Figura 6.22. Vista general de la zona llana de dirección este-oeste entre sierras cuarcíticas (C. Lorenzo, STA CN IGME-CSIC)





Figura 6.23. Vallado perimetral y estado de la laguna en septiembre de 2022 (L.A. Carreño)



Capítulo 7

Laguna de Luciánego

Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno
Bruno J. Ballesteros Navarro





7. Laguna de Luciánego

Situación geográfica y accesos

La laguna de Luciánego está ubicada en el término municipal de Piedrabuena, a unos 4 km del centro urbano de la población, en dirección sureste. Las coordenadas de su punto central son X: 401.355, Y: 4.319.650 (UTM ETRS89 H30), y su altitud es de 685,9 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional (Figura 7.1).

Para llegar a la laguna de Luciánego, se debe tomar desde la capital provincial la carretera N-430 en dirección

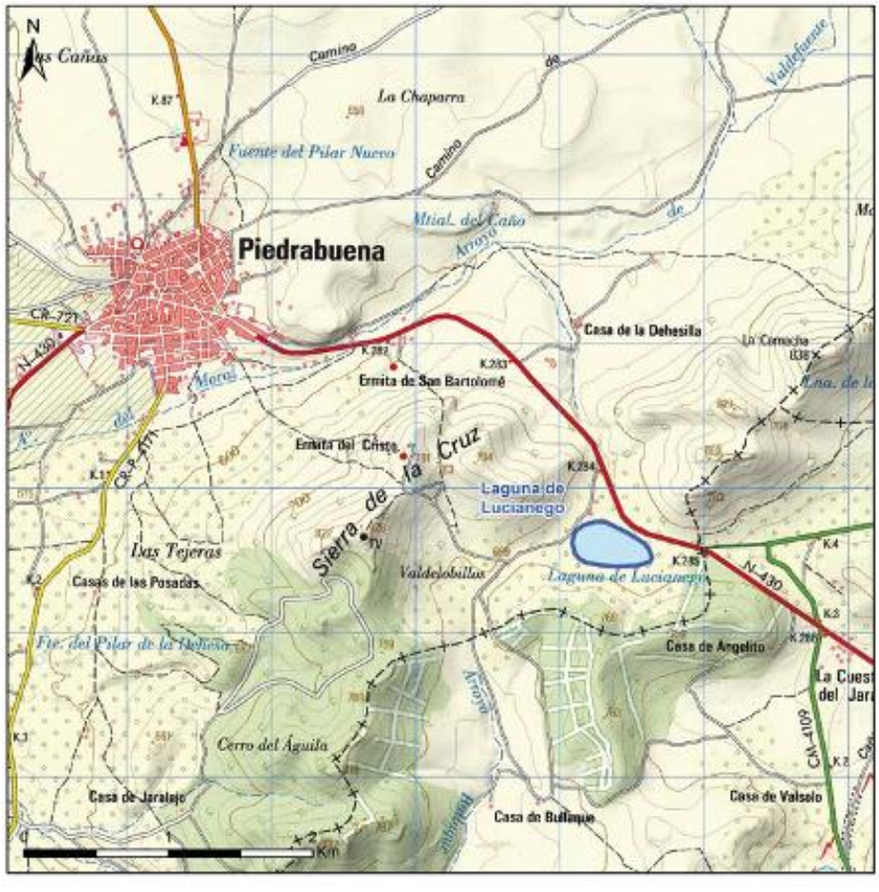


Figura 7.1. Situación geográfica de la laguna de Luciánego (hoja 759 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

Piedrabuena y tras recorrer 18 km, se alcanza el entorno lagunar, situado a la altura de los p.k. 285 y 284, donde nace el camino de la Cruz, que conduce a la sierra del mismo nombre; tras recorrer 400 m por esta pista semiasfaltada se llega al humedal, la pista bordea el flanco occidental de la laguna y continúa su recorrido hacia el oeste.

En la actualidad, la laguna se encuentra vallada en todo su perímetro, mediante postes de madera y malla metálica que en algunas zonas está muy deteriorada.

Continuando la misma pista y tomando la primera bifurcación a la derecha, bien señalizada, se asciende a la sierra de la Cruz salvando una diferencia de cota de más de 100 m, hasta llegar a la ermita del Cristo, levantada sobre cuarcitas ordovícicas (Figura 7.2), que son las responsables de los altos topográficos de la zona.

Características fisiográficas

Las 12,47 ha de superficie máxima inundable sitúan a la laguna de Luciánego como uno de los humedales con menor superficie de los incluidos en la presente publicación, su perímetro lagunar es de 1,39 km (Figura 7.3). Dibuja una clara forma elipsoidal, dispuesta en dirección noroeste-sureste, con un eje mayor que alcanza los 550 m y un eje menor perpendicular de 300 m.

Situada entre las estribaciones orientales de la sierra de la Cruz, en el paraje conocido como de Valdelobillos, reposa la laguna de Luciánego, con un marcado carácter estacional, similar al de sus lagunas hermanas de la Camacha y Peñas del Bú. Este entorno atrae a los amantes de las rutas de montaña, tanto en bici como senderismo, ya que es habitual cruzar por estas lagunas y ascender al collado de Carboneras y a la ermita del Cristo por pistas pedregosas de cierta dificultad.





Figura 7.2. Cartel (L.A. Carreño) y cuarcitas en la Ermita del Cristo (C. Camuñas)



Figura 7.3. Vaso lagunar de Luciánego (ortofoto PNOA 2021. Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

La gran mayoría de los terrenos que rodean al entorno lagunar tienen una topografía abrupta, se encuentran cultivados por olivares y aunque de forma casi testimonial, alguna de las parcelas está cultivada de cereal.

Historia y cultura

La primera referencia escrita sobre la villa de Piedrabuena data del siglo XII, donde se menciona la población en la Bula del Papa Gregorio VIII, conocida como la bula Audita Tremendi, promulgada el 29 de octubre de 1187, con el objetivo de convocar la Tercera Cruzada, tras la derrota que sufrieron los ejércitos cristianos en la Batalla de Hattin. El título de la bula proviene de las dos primeras palabras con que se inicia: *Audita tremendi severitatejudicii, quod superterram Jerusalem divina manusexercuit...* (*Oyendo el terrible y severo juicio con que ha sido golpeada la tierra de Jerusalén por la mano divina*…). La bula ofrecía a los participantes en la misma una indulgencia plenaria. Refiere la población de Piedrabuena en relación a las posesiones de la Orden de Calatrava, citando el castillo de esta población.

Los yacimientos arqueológicos ubicados en su término municipal indican un poblamiento continuo desde el Paleolítico inferior y medio, exceptuando el despoblamiento común a toda la región que tuvo lugar durante el Paleolítico Superior (Ayuntamiento de Piedrabuena, 2023).

Durante la Edad del Bronce, el término de Piedrabuena albergó poblaciones de entidad no determinada e insuficientemente estudiadas hasta el momento. Parecen responder a los poblamientos en altura, en torno a los 800 o 900 m, localizados en las sierras que circundan Piedrabuena. Los principales yacimientos de la Edad del Bronce son: Morro Pinto, Cerro Benavente, Hoya del Lobo y Morro de la Dueña. Todos ellos se encuentran catalogados en la Carta Arqueológica de Ciudad Real, en fases preliminares de estudio.

Existe un vacío de conocimiento durante los períodos posteriores: Edad del Hierro, pueblos prerromanos y romanización. Durante los siglos V al VIII, en la época visigoda, tiene lugar un despoblamiento que afecta a todas las comarcas de la provincia. Las referencias también son muy escasas, únicamente la conocida como Hitación de Wamba, documento que designaba el límite entre los obispados de Mentesa y Oreto, menciona a la población de Betra o Petra que se quiere identificar con la actual Piedrabuena.

La época de ocupación musulmana continuará con el asentamiento de numerosas comunidades beréberes, a las que estaba encomendada la salvaguarda de la Marca Media. Se les atribuye la construcción del Castillo de Mortara (Figura 7.4) actualmente convertido en plaza de toros, así como el castillo de Miraflores (Figura 7.5) mencionado y descrito en las Relaciones Topográficas de Felipe II. En este caso es indiscutible que su edificación corresponde a la Plena Edad Media, circunstancia constatable en los elementos arquitectónicos



Figura 7.5. Castillo de Miraflores (L.A. Carreño)

Figura 7.4. Aspecto exterior del castillo de Mortara, actualmente convertido en plaza de toros (L.A. Carreño)

utilizados, aunque no se puede afirmar si su construcción, llevada a cabo durante las diferentes etapas de la Reconquista, fue obra de musulmanes y/o de cristianos.

Hasta la batalla de las Navas de Tolosa, Piedrabuena no formó parte de la Orden de Calatrava como encomienda. Durante el reinado de Felipe II tuvo lugar la primera de las desamortizaciones, llevada a cabo en al siglo XVI, en la que la villa será vendida a Don Alonso de Mesa, capitán de la Armada española que destacó en las conquistas de Perú, quedando convertido así en el primer señor de Piedrabuena.

En el siglo XIX el término de Piedrabuena, al igual que el resto de la provincia, se verá afectado por las sucesivas desamortizaciones que se desarrollaron a lo largo de este siglo. La desamortización civil de Madoz de 1855 tuvo gran incidencia sobre el municipio, siendo la segunda población de la provincia de Ciudad Real con mayor superficie desamortizada.

Como dato curioso, citar que en 1913 el inventor y empresario Mónico Sánchez instaló una industria de productos eléctricos dedicados a la medicina y la enseñanza, fabricando, entre otra instrumentación, los primeros aparatos de Rayos X portátiles. En 1961 fallece el emprendedor y se cierra la industria (Ciudad-Real.es, 2003a).

Durante el siglo XX y XXI la villa se suma al progreso general de la sociedad española, desarrollando los servicios básicos, mejorando las condiciones de vida de sus vecinos y manteniendo una población que basa su economía en el sector servicios y la agricultura (Figura 7.6). En la década de los años veinte del siglo pasado se produce una notable sustitución de las viñas por los olivos, y, por lo tanto, la producción de aceite se convirtió en una de sus principales actividades económicas, que continúa en la actualidad.

La villa cuenta también con una denominada "Fuente Agria", relacionada con las manifestaciones volcánicas de Campo de Calatrava, y que supone un punto de encuentro y socialización de sus vecinos (Figura 7.7).



Figura 7.6. Vista general de la plaza, la iglesia de Nuestra Señora de la Asunción y grupo escultórico en homenaje a los mayores del pueblo (L.A. Carreño)



Figura 7.7. Vista general de la Fuente Agria de Piedrabuena (L.A. Carreño)

Contexto socioeconómico

En este apartado se resume el contexto socioeconómico del municipio de Piedrabuena, cuyo término municipal alberga el humedal, ya que es uno de los más extensos de la provincia de Ciudad Real, concretamente ocupa el quinto lugar, con una superficie de 565,36 km^2 y cuenta con un total de 4.363 habitantes (INE, 2022), de los que 2.213 son hombres y 2.150 mujeres, lo que supone una densidad de 7,71 hab/km^2. En el año 1960 la población ascendía a más de 6.210 habitantes y una década más tarde esta cifra había descendido hasta los 4.992 vecinos, manteniéndose en torno a los 5.000 habitantes hasta el año 2000, en el que se inicia un periodo de descenso continuado de la población hasta la cifra actual.

La actividad económica se resume en la Tabla 7.1, en la que se puede afirmar que el sector servicios es la principal fuente de actividad económica, con el 52,55% de las empresas censadas en la población y 613 trabajadores, seguido de la agricultura con el 22,96%; finalmente la construcción y la industria, con el 13,27% y el 11,22% de las empresas respectivamente. Pese a que el número de empresas incluidas en la industria es el menor, son 248 los trabajadores afiliados a este sector industrial, cifra muy superior a los afiliados a la agricultura o a la construcción.

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	149	*12,33*	45	*22,96*
Industria	248	*20,53*	22	*11,22*
Construcción	164	*13,58*	26	*13,27*
Servicios	613	*50,75*	103	*52,55*
No consta	34	*2,81*	-	-
TOTAL	**1.208**	***100***	**196**	***100***

Tabla 7.1. Empresas y afiliación en Piedrabuena (Tesorería General de la Seguridad Social, 2021)

La evolución ocupacional entre los años 2017 y 2022 (Tabla 7.2) presenta un descenso de desempleados desde el primer año de este registro y el 2019, con un ligero repunte en el año 2020; vuelve a descender marcando un mínimo en el año 2021, que es superado de forma más notable en 2022 (datos correspondientes al 31 de marzo de 2022).

AÑO	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Nº de parados	580	566	551	589	531	420

Tabla 7.2. Desempleados en Piedrabuena (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha, SEPE)

Las superficies labradas dentro de los aprovechamientos agrarios (Tabla 7.3), muestra un claro predominio de las explotaciones herbáceas con el 70,2% de las tierras cultivadas y los leñosos con un 21,4%, el poco más del 8% restante de la superficie rural, se dedica a pastos.

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	**13.720,45**	10.514,93	*91,6*	*70,2*
	Leñosos		3.205,52		*21,4*
Pastos		**1.257,75**		*8,4*	
TOTAL		**14.978,20**		***100***	

Tabla 7.3. Explotación agraria y forestal en Piedrabuena (Censo Agrario 2020, INE)

Por último, señalar como dato económico que el presupuesto del consistorio municipal para el año 2021 alcanzó la cantidad de 4.464.042 €.

Normativa específica y figuras de protección

Este humedal, a diferencia del resto de lagunas seleccionadas en la presente publicación, no cuenta con ninguna figura de protección, no está incluido en el Plan de Gestión de las lagunas volcánicas del Campo de Calatrava y tampoco forma parte del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico, del CN IGME-CSIC.

Ahora bien, esta laguna sí está catalogada con el código IH422060 en el Inventario Español de Zonas Húmedas (BOE, 2019).

El vallado perimetral con el que cuenta el vaso lagunar impide en cierta medida su antropización, aunque en su extremo norte y colindante a la laguna se encuentra una ganadería. Su régimen estacional condiciona la visita de aves, pero cuando la laguna alcanza cierta lámina de agua es común encontrarse con especies como *Anas platyrrhinchos*, *Ciconia ciconia* o *Ardea cinérea*.

Climatología

La descripción climática de esta laguna se ha obtenido esencialmente a partir de los datos de la estación de Alcolea de Calatrava (4134), perteneciente a la AEMET, situada a una cota de 650 m s.n.m. Sin embargo, para el cálculo de la evaporación también se han utilizado datos procedentes de otras estaciones cercanas. El análisis de sus condicionantes climáticos se ha realizado a nivel diario para el periodo de 50 años comprendido entre 1972 y 2021.

El hietograma (representación de la intensidad de la lluvia) de la estación más representativa (4134) muestra una precipitación media de 460 mm y una desviación típica de 129 mm (Figura 7.8), con un mínimo de 189 mm (año 2005) y un máximo de 760 mm (año 2010). El diagrama ombrotérmico (representación de la precipitación y temperatura de una estación meteorológica), en este

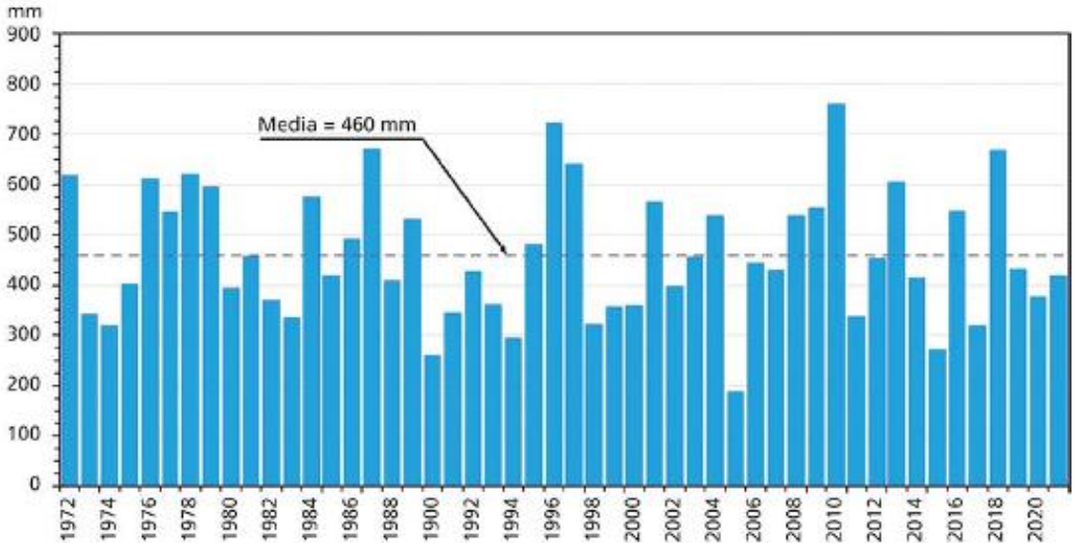


Figura 7.8. Hietograma de la precipitación anual en la estación de Alcolea de Calatrava (4134)

caso elaborado con la precipitación de la estación 4134 y la temperatura de la 4121 (Figura 7.9), determina un periodo de estiaje bastante intenso que ocupa los meses de junio a septiembre.

Figura 7.9. Diagrama ombrotérmico del año medio



El análisis de la desviación acumulada de la precipitación anual, respecto a la media de los 50 años de la serie climática estudiada, permite diferenciar 4 periodos húmedos, 4 secos y un último periodo medio (Figura 7.10 y Tabla 7.4).

Por su duración, como periodo seco destaca el trascurrido a lo largo de 10 años, que van desde 1998 a 2007, y por su intensidad es destacable el periodo seco que va desde 1990 a 1994, con una precipitación anual inferior al 26% con respecto a la media.

Figura 7.10. Desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media (1972 a 2021)



PERIODO	TIPOLOGÍA CLIMÁTICA	DURACIÓN (AÑOS)	PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN CON RESPECTO A LA MEDIA
1972 a 1975	Seco	4	11% inferior
1976 a 1979	Húmedo	4	29% superior
1980 a 1983	Seco	4	15% inferior
1984 a 1989	Húmedo	6	12% superior
1990 a 1994	Seco	5	26% inferior
1995 a 1997	Húmedo	3	34% superior
1998 a 2007	Seco	10	12% inferior
2008 a 2010	Húmedo	3	38% superior
2011 a 2021	Medio	11	-

Tabla 7.4. Análisis de los diferentes periodos climáticos entre 1972 y 2021

Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna de Luciánego, de 131,82 ha, se enmarca dentro de la cuenca alta del río Guadiana y se sitúa al norte del río Guadiana y al este del río Bullaque, separados de ellos unos 10 y 7 km, respectivamente. Desde un punto de vista administrativo, la cuenca se encuentra en su totalidad dentro del término municipal de Piedrabuena, marcando su límite territorial. La relación entre la superficie del área que vierte sus aguas hacia el humedal y la planta del vaso lagunar es de apenas 10 veces (Figura 7.11).

Su área vertiente presenta una morfología puntiaguda formando un pseudorectángulo, con dirección noroeste-sureste. La parte más estrecha coincide en su zona central y se amplía hacia los extremos occidental y oriental, ensanchamiento más acusado en el segundo.

El relieve de esta cuenca es suave, como la gran mayoría de estas lagunas, aunque son 106 m la diferencia entre las cotas más elevadas (791 m s.n.m. en la ermita del Cristo) y las más bajas, que corresponden al fondo de la cubeta de la laguna (685 m s.n.m.). Debido al encajamiento del humedal entre sierras cuarcíticas, los límites de la cuenca son de relativamente fácil definición, aunque en su extremo oriental y occidental las divisorias hidrológicas son difícilmente reconocibles, ya que las cotas topográficas son muy similares.

En relación a la red hidrográfica de la cuenca, teniendo en cuenta su tamaño pequeño y su encajonamiento, no alberga ningún curso superficial de características reseñables, nada más que las pequeñas vaguadas entre las sierras cuarcíticas que pueden aportar cierto caudal por escorrentía al vaso lagunar. El curso de agua más cercano a la laguna es el arroyo del Bullaque que los separan apenas unos 1,4 km al sur de la laguna, y recoge el agua de escorrentía del área meridional de la sierra de la Cruz.

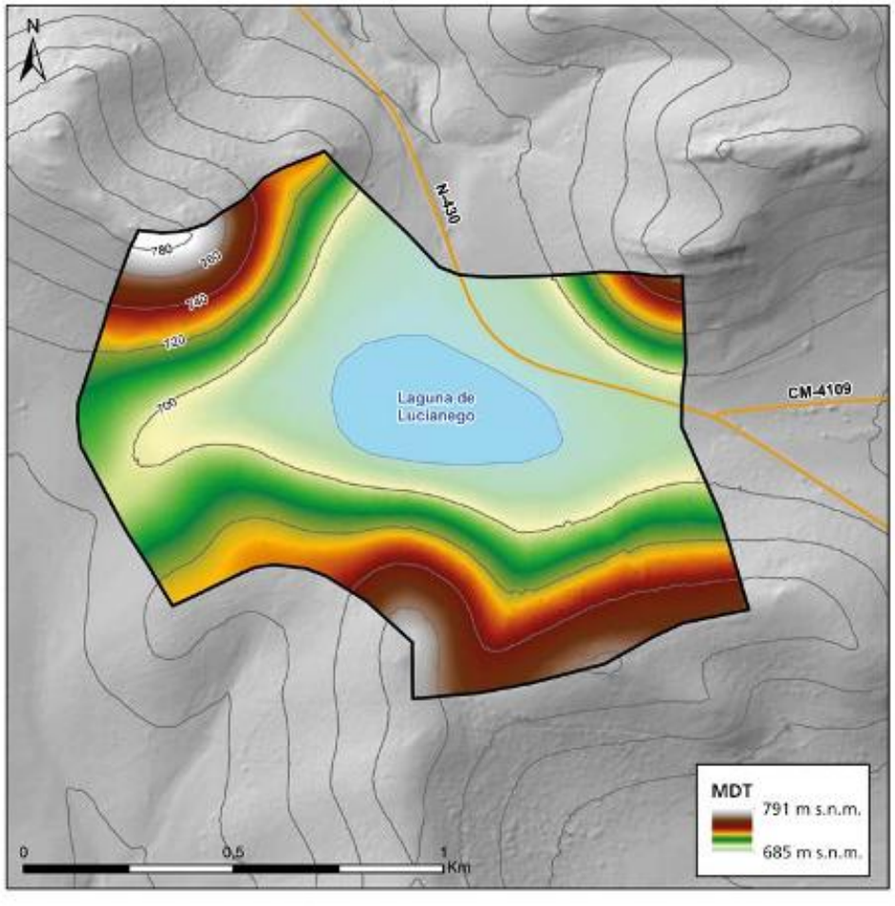


Figura 7.11. Cuenca hidrológica de la laguna de Luciánego

Geología

Los materiales más antiguos que afloran en la superficie de la cuenca vertiente de la laguna de Luciánego pertenecen al Ordovícico y, por orden cronológico, al Mioceno superior-Pleistoceno inferior y los más modernos al Cuaternario. Estos últimos, junto con los primeros, ocupan algo más del 80% de la superficie total de la cuenca (Figura 7.12).

Su origen, como la gran mayoría de las lagunas del Campo de Calatrava, fue una erupción hidromagmática ocurrida durante el Mioceno superior-Pleistoceno inferior. Su emplazamiento quedó confinado a los relieves de la sierra de la Cruz que la circunda, forzando la disposición de las brechas de explosión y de los depósitos de oleadas piroclásticas basales generados como consecuencia del evento eruptivo. Estos se emplazan dando lugar a un anillo de tobas de carácter discontinuo, que enlaza las laderas de las sierras y contribuye a crear la morfología típica de los *maares* y la estanqueidad que permite la formación de una laguna temporal ocupando el fondo del cráter. La presencia de lapillis acrecionales en los depósitos del fondo del *maar* atestiguan su génesis freatomagmática (González-Cárdenas, 2003). Como ya se ha citado, este cráter es similar en morfología y edad a los de Peñas del Bú y La Camacha, situados en sus inmediaciones.

El sustrato rocoso, por su resistencia a la erosión, constituye el principal elemento constructor del relieve de la región y, consecuentemente, del entorno lagunar. Así, los materiales de los cerros al sur de la laguna

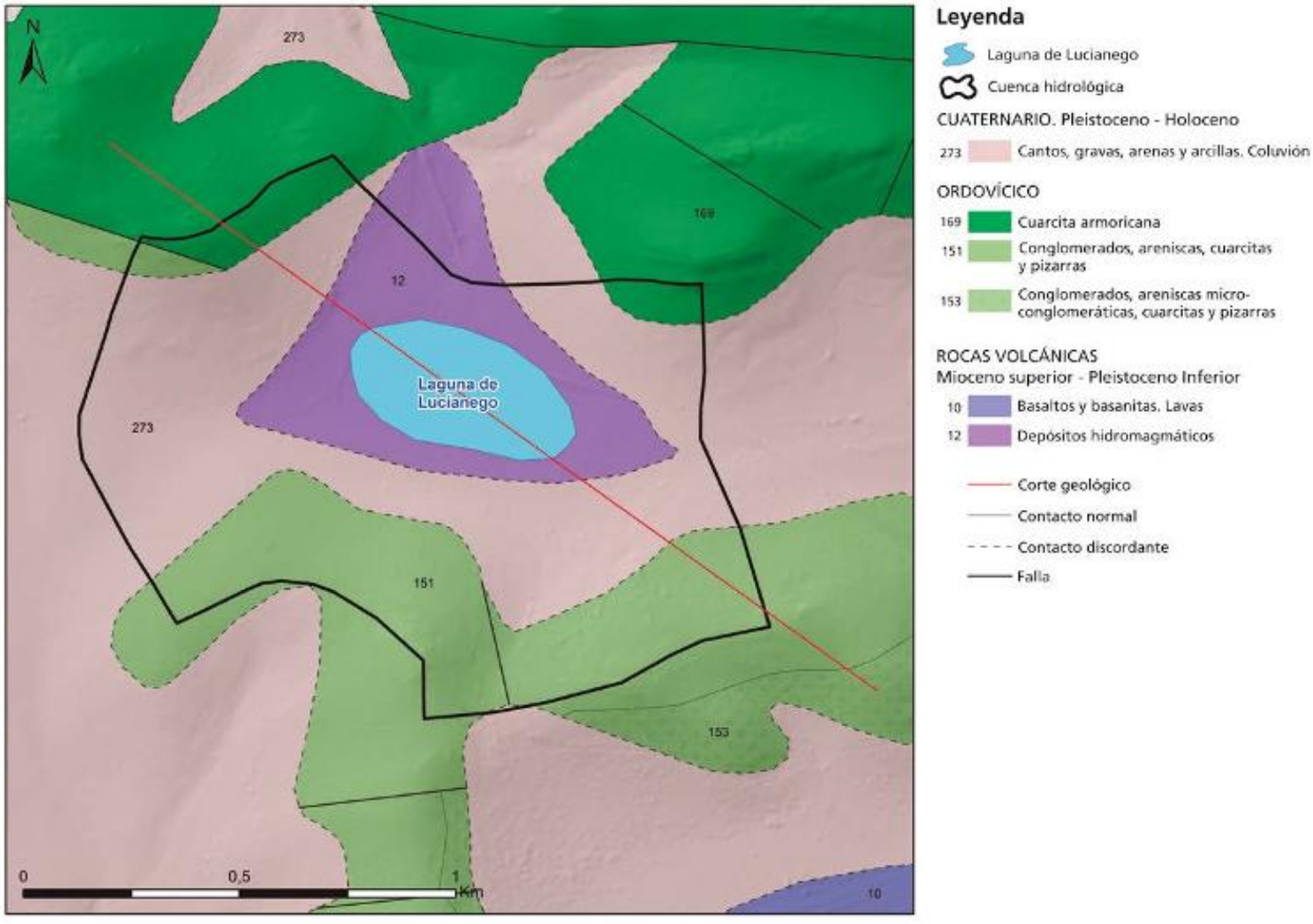
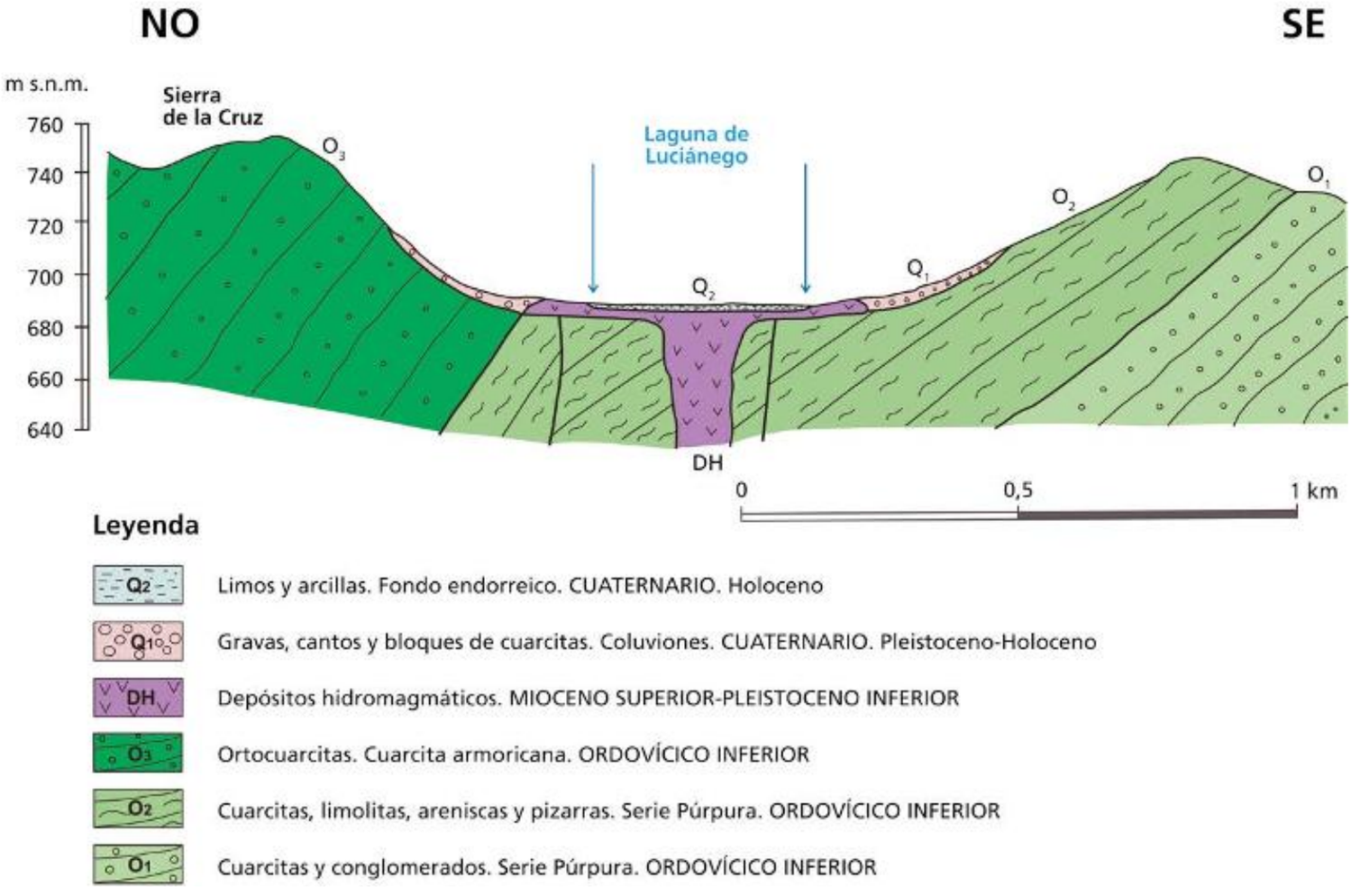


Figura 7.12. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de Luciánego (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Baquedano y C. Camuñas)

están formados por conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras del Ordovícico inferior, estas sucesiones de rocas se extienden ampliamente en profundidad y determinan el sustrato geológico de su cubeta, sin tener en cuenta la columna del material volcánico. Superpuesta al nivel anterior y de la misma edad geológica encontramos cuarcita armoricana, que aflora en menor proporción al noroeste y noreste de la laguna. Esta unidad se caracteriza por su dureza y compacidad, constituida por unos 400 m de potencia de cuarcitas blancas, cristalinas, estratificadas en capas decimétricas y ocasionalmente métricas, que se encuentran muy diaclasadas. Alrededor de la propia cubeta afloran los depósitos hidromagmáticos con una forma triangular en planta y de edad Mioceno superior-Pleistoceno inferior, que forman también la chimenea del aparato volcánico (Figura 7.13).

Los niveles rocosos competentes afloran bordeando toda la cuenca salvo en los extremos occidental y meridional, coincidiendo con las áreas topográficamente más llanas, en los que afloran los sedimentos detríticos que son producto de la erosión y deposición de los materiales anteriores. Están constituidos por cantos, gravas y bloques angulosos de cuarcita y en menor proporción pizarras con matriz de arena y limo-arcilla que tapizan estas vertientes de los relieves paleozoicos, constituyendo los conocidos coluviones, de edad Pleistoceno-Holoceno, con unos espesores que pueden alcanzar los 6 m. Por último, los depósitos holocenos de la zona lo forman litológicamente limos y arcillas de color gris y su disposición queda relegada a la propia cubeta deprimida topográficamente.

Figura 7.13. Corte geológico de la laguna de Luciánego



Hidrogeología

La cuenca vertiente de la laguna de Luciánego, al ser de reducidas dimensiones, es mínimo el volumen de agua que puede albergar, ya que se encuentra dentro de un contexto hidrogeológico condicionado por la presencia de las formaciones ordovícicas aflorantes o subaflorantes en toda su extensión.

En cuanto a sus características hidrogeológicas (Tabla 7.5) prevalecen los materiales de permeabilidad media y baja, en este orden. Dentro de los primeros (Tipología B: 48%) se incluyen la cuarcita armoricana del Ordovícico inferior y los coluviones, formados por cantos, gravas, arenas y arcillas del Pleistoceno-Holoceno. Las formaciones consideradas de permeabilidad baja (Tipología C: 43%) engloban por un lado a los conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras del Ordovícico que afloran al sur de la cuenca y por otro a los depósitos hidromagmáticos del Mioceno superior-Pleistoceno inferior que rodean el vaso lagunar. En menor proporción con respecto a las formaciones anteriores se encuentran los materiales calificados como impermeables (Tipología D: 9%) que están representados por limos y arcillas cuaternarios del fondo endorreico.

Del conjunto de materiales geológicos de esta cuenca, los que presentan unas mejores características hidrodinámicas corresponden a las cuarcitas armoricanas, que presentan una disposición verticalizada con un importante espesor, aunque estas condiciones dependen fundamentalmente de la fracturación y fisuración del macizo rocoso. También cabe destacar con cierta relevancia hidrogeológica los coluviones, constituidos por materiales detríticos con porosidad intergranular, pero carecen de relevancia hidrogeológica regional por su escaso espesor, aunque se han encontrado diversos pozos excavados sobre estos niveles, que captan sus aguas para aprovechamiento local.

A este respecto, como las lagunas cercanas, su nivel de agua depende de la precipitación y la evaporación, y en una proporción casi testimonial, del contacto con las formaciones de cierta permeabilidad en profundidad, aunque no existen evidencias de aporte de aguas subterráneas a la laguna.

Tabla 7.5. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de Luciánego

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
Formación geológica	**Edad**	**Tipología**	**%**
Cuarcita armoricana	Ordovícico	B	48
Cantos, gravas, arenas y arcillas	Pleistoceno-Holoceno	B	
Conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras	Ordovícico	C	43
Depósitos hidromagmáticos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	
Limos y arcillas	Cuaternario	D	9
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Balance hídrico

La determinación del balance hídrico de la laguna de Luciánego, como se cita en el capítulo que desarrolla la metodología seguida para su estimación, se ha basado en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua al sistema. En este caso, las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento y a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (131,82 ha). No parecen existir entradas de aguas subterráneas significativas asociadas a acuíferos colindantes, dado que el nivel piezométrico se encuentra en torno a 5 m bajo el nivel de base de la laguna. En cuanto a las salidas, al tratarse de una cuenca endorreica, son debidas exclusivamente a la evaporación generada sobre la zona inundada.

Según lo expuesto, el balance hídrico de la laguna queda simplificado en la siguiente expresión:

$$\Delta V_t = PPD_t + ESC_t - EVP_t$$

donde,

ΔV_t *variación del volumen de agua en el intervalo t*
PPD_t *precipitación directa en la lámina de agua*
ESC_t *escorrentía superficial a la laguna*
EVP_t *evaporación en la lámina de agua libre*

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del modelo digital del terreno (MDT), con tamaño de celda de 5x5 m, del Centro Nacional de Información Geográfica. El procesamiento de toda esta información ha permitido relacionar la superficie de la lámina libre con el volumen total de agua acumulada en la laguna en intervalos centimétricos, según distintos niveles de profundidad (Figura 7.14). Hay que indicar que en la zona central y sureste del vaso existen dos pozas de dimensiones entre 0,04 y 0,05 ha y aproximadamente 1 m de profundidad (Figura 7.15), por lo que la laguna propiamente dicha comienza a inundarse cuando el nivel sobrepasa la cota de rebose de estas pozas.

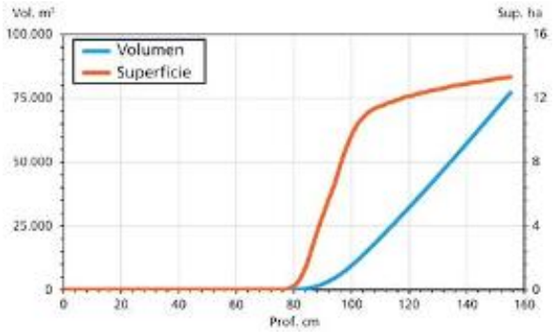


Figura 7.14. Curvas hipsométricas en el vaso de la laguna de Luciánego. Relación entre profundidad, volumen almacenado y superficie de la lámina de agua

La evaporación en la lámina de agua libre, establecida en cada momento por la curva hipsométrica, se ha calculado mediante la expresión de Penman (1948) a partir de las series de temperatura máxima y mínima, radiación solar y velocidad media del viento de la estación climática 4121 (Ciudad Real). Esta evaporación se ha aplicado a la superficie inundada calculada diariamente, aunque se tienen que tener en cuenta las diferencias entre la situación de la estación meteorológica y la propia laguna, con los relieves circundantes.

El balance hídrico de la laguna se ha determinado mediante el código RENATA, de tal manera que se ha discretizado la cuenca vertiente en celdas de 25x25 m (Figura 7.16). El cálculo de la lluvia útil se ha realizado a partir del método del balance hídrico del suelo de Thornthwaite, a nivel diario, modificado por G. Girard. A partir de este término se ha calculado la

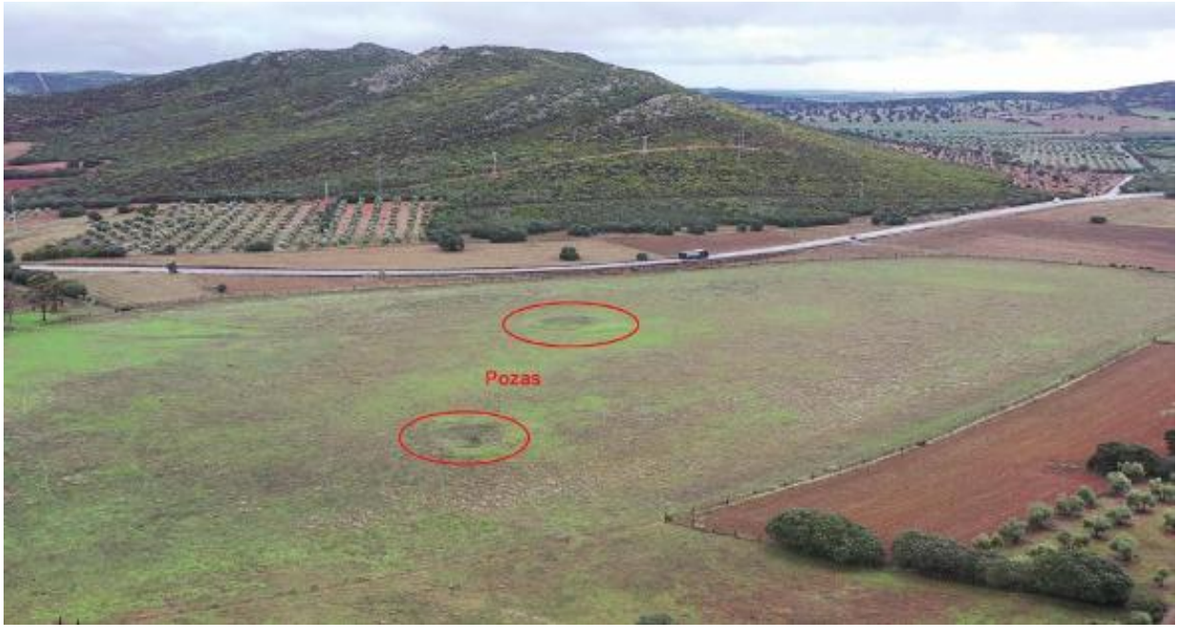


Figura 7.15. Localización de las pozas en el interior de la laguna Luciánego (C. Lorenzo, STA CN IGME-CSIC)

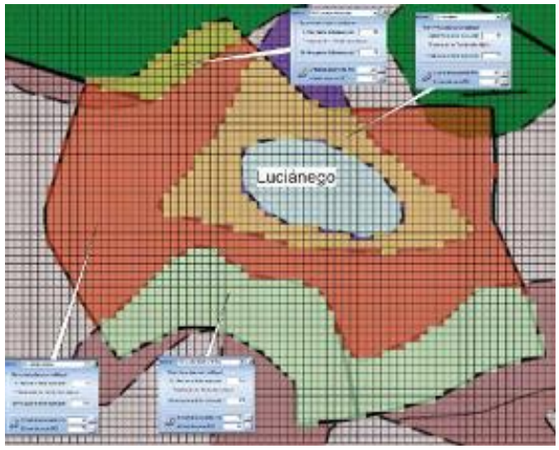


Figura 7.16. Modelo RENATA de la laguna de Luciánego para el cálculo de la escorrentía superficial. Los parámetros del suelo asignados se exponen en los cuadros azules

escorrentía generada en la cuenca con el método racional a partir del número de curva (NC) del USSCS. Para la evapotranspiración se ha aplicado el de Hargreaves a las series diarias de temperatura máxima y mínima de Ciudad Real (4121) y la precipitación se ha tomado de la estación de Alcolea de Calatrava (4134). El valor de los parámetros asignados (Tabla 7.6) se ha determinado a partir de las características de los afloramientos de las distintas formaciones geológicas y de los empleados para la estimación de la escorrentía en otras lagunas del Campo de Calatrava; en todo caso, verificando su coherencia con las características hidrológicas de la zona.

Tabla 7.6. Parámetros y resultados de la escorrentía superficial de la laguna de Luciánego (periodo 1972 a 2021)

LITOLOGÍA	SUPERFICIE ha	PARÁMETROS	ESCORRENTÍA m³/a
Gravas y arenas pliocuaternarias	60,67	RU_{min} = 75 mm RU_{max} = 100 mm P_0 = 20 mm NC = 72	524
Cuarcitas armoricanas	4,44	RU_{min} = 50 mm RU_{max} = 75 mm P_0 = 20 mm NC = 72	54
Conglomerados y areniscas	33,69	RU_{min} = 100 mm RU_{max} = 125 mm P_0 = 10 mm NC = 84	1.082
Piroclastos	20,55	RU_{min} = 50 mm RU_{max} = 70 mm P_0 = 10 mm NC = 84	1.218
Vaso impermeable(*)	12,47		
Total	**131,82**		**2.878**

** Contemplada en la precipitación directa caída sobre la lámina de agua*

Determinación del balance hídrico

Con el procedimiento y los parámetros descritos, la determinación del balance hídrico del humedal se ha realizado a partir de la simulación diaria de un periodo de 50 años (1972 a 2021).

Dicha simulación muestra que, al recibir sólo aportes de la escorrentía superficial y de la precipitación caída directamente sobre su vaso, la laguna contendrá algo de agua durante la época invernal en años medios y húmedos, permaneciendo seca el resto del año. Sólo en los inviernos excepcionalmente lluviosos, como los acaecidos en los años 1996 a 1998, podría inundarse casi en su totalidad (Figura 7.17). Se puede determinar, por tanto, que cerca del 80% del tiempo, el humedal se encontraría seco o casi seco.

Otro dato de interés que se obtiene de la simulación realizada es el volumen medio diario almacenado en el vaso, que ronda los 1.650 m³, lo que equivale en extensión a algo más de 3 hectáreas inundadas (Figura 7.18).

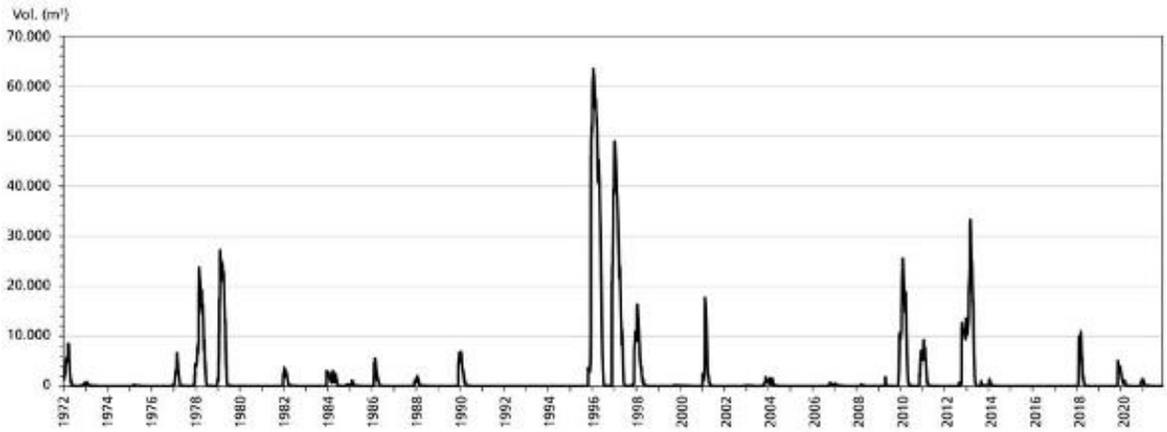


Figura 7.17. Simulación del volumen almacenado en la laguna de Luciánego (periodo 1972 a 2021)

El balance hídrico medio anual determina que la laguna se alimenta principalmente por la precipitación directa caída sobre la propia cubeta, cifrada en unos 8.500 m³/a, equivalente al 74,7% de los aportes totales, y, en menor medida, por la escorrentía superficial, con 2.880 m³/a, que en este caso corresponde al 25,3% restante. En cuanto a las salidas, 11.380 m³/a, se producen en su totalidad por evaporación (Tabla 7.7 y Figura 7.19).

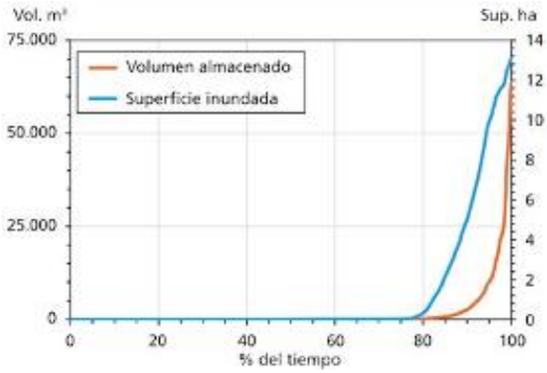


Figura 7.18. Distribución temporal (en %) de la superficie inundada y del volumen almacenado en la laguna de Luciánego

PRECIPITACIÓN MEDIA mm	CUENCA VERTIENTE km²	ENTRADAS m³		SALIDAS m³
		Precipitación directa	Escorrentía superficial	Evaporación directa
460	2,32	8.500	2.880	11.380
		74,7%	25,3%	100%

Tabla 7.7. Balance hídrico medio anual. Periodo 1972 a 2021

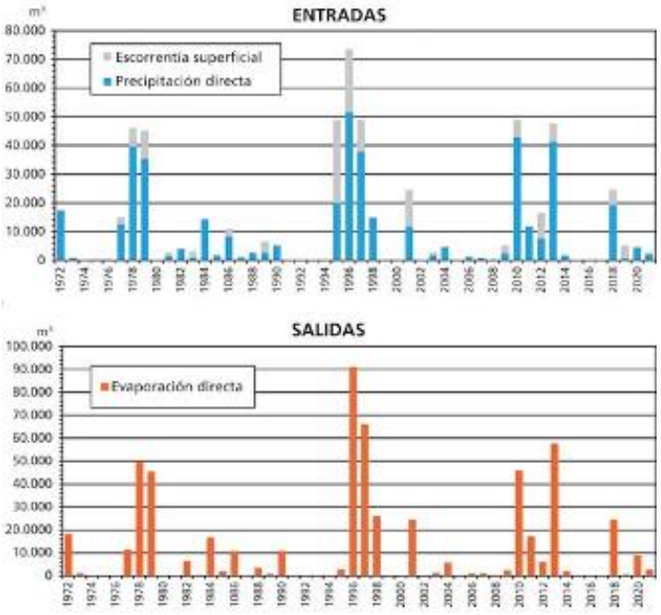


Figura 7.19. Balances hídricos anuales de la laguna de Luciánego (1972 a 2021)

Evolución visual del territorio

Los más de 60 años que separan las imágenes de la Figura 7.20, dan cuenta del paso del tiempo y la aplicación de nuevas normativas en el entorno, como es la mejora de la red de comunicaciones, en concreto la carretera N-430 que discurre tangente al flanco noreste del humedal, como los caminos, y también la creación de los cortafuegos tanto en la sierra de la Cruz al oeste y sur del humedal, como en el collado de Carboneras al norte.

En cuanto al aprovechamiento del suelo, se aprecian modificaciones entre las parcelas de cultivo y el monte bajo, así como la ganadería que existe en la actualidad. En la foto correspondiente al vuelo americano, se aprecia un cierto parcelario dentro del vaso lagunar, probablemente debido al cultivo de cereal.

Al igual que en las demás lagunas de esta publicación, el periodo de sequía que se prolonga desde el año 2014 condiciona que la laguna permanezca seca casi la práctica totalidad de los meses del año, tintando de amarillo el vaso lagunar y dejando a los pozos excavados sin agua (Figuras 7.21 a 7.24). Los tonos verdosos oscuros corresponden a la vegetación del monte bajo de las sierras que rodean al humedal, así como a los olivos dispuestos en líneas paralelas en algunas parcelas.



Figura 7.20. Foto aérea comparativa del vuelo americano 1956-57 y ortofoto PNOA 2018 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 7.21. Vista de la laguna de Luciánego desde la sierra de la Cruz (C. Camuñas)



Figura 7.22. Vallado perimetral y finca ganadera aledaña al vaso lagunar (L.A. Carreño)





Figura 7.23. Pozo seco, cercano al humedal en agosto de 2022 (C. Camuñas)



Figura 7.24. Panorámica de la laguna desde el collado de Carboneras (C. Lorenzo, STA CN IGME-CSIC)

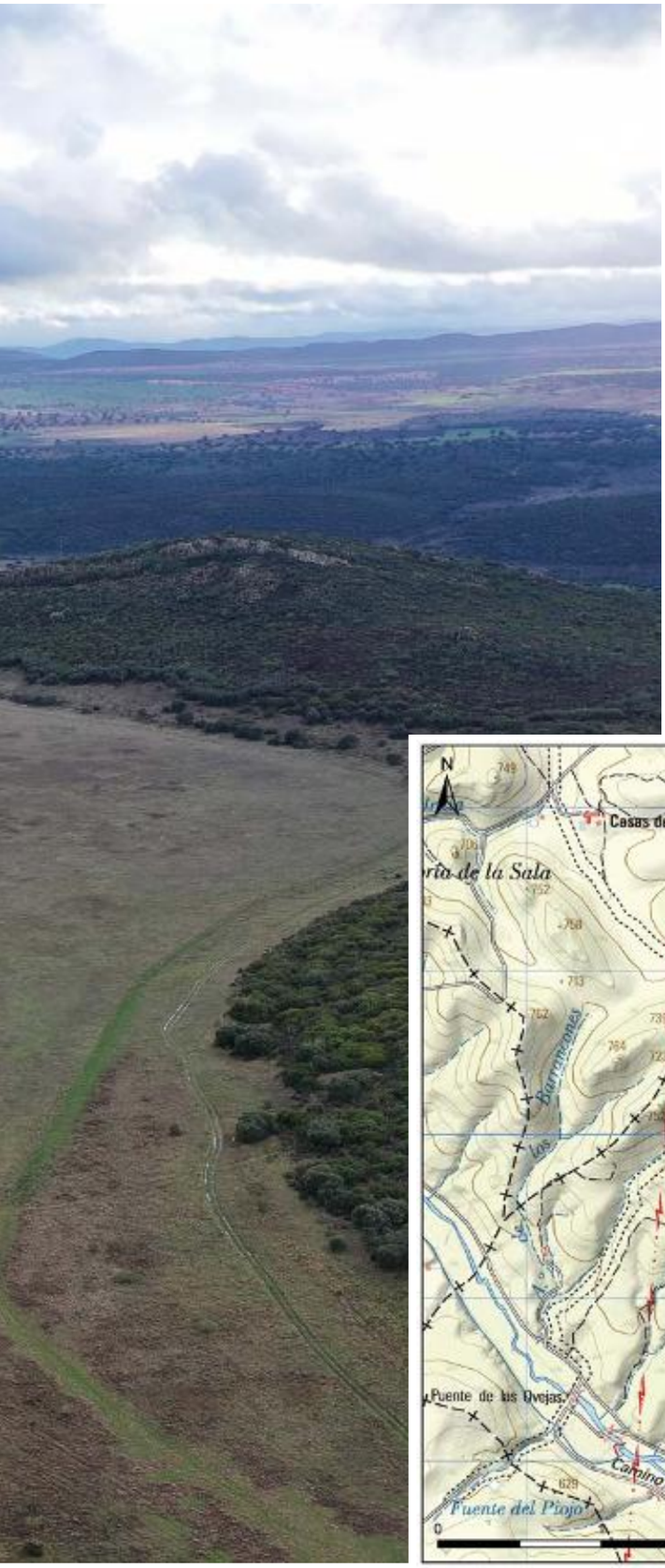


Capítulo 8

Laguna de Peñarroya

Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno
Bruno J. Ballesteros Navarro





8. Laguna de Peñarroya

Situación geográfica y accesos

La laguna de Peñarroya, es uno de los humedales con mayor superficie de los incluidos en la presente publicación, pertenece al término municipal de Corral de Calatrava, siendo unos 12 km la distancia que separa el entorno lagunar de esta población. En cambio, las localidades de Alcolea de Calatrava, al norte del humedal, y Pozuelos de Calatrava, al suroeste del mismo, se encuentran en torno a 6 km del entorno lagunar y a unos 17 km de la capital provincial. Las coordenadas de su punto central (Figura 8.1) son X: 402.385, Y: 4.310.130 (UTM ETRS89 H30), y su altitud es de



Figura 8.1. Situación geográfica de la laguna de Peñarroya (hoja 784 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

682,4 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

El acceso a la zona es libre y la manera más sencilla para su visita es tomar una de las múltiples vías en sentido sur que nacen en Alcolea de Calatrava y que intersectan entre sí tras recorrer algún kilómetro. El sendero más recomendado es el conocido como camino de Zapata, el cual toma sentido sur y suroeste hasta transcurridos unos 5 km, que se cruza con la Cañada Real Soriana y, a partir de aquí, después de recorridos 2,3 km en sentido sureste, se alcanza el humedal.

El río Guadiana discurre a unos 2 km al sur y suroeste de la laguna, con una diferencia de cota de hasta 130 metros por debajo de la altura del humedal, dejando entre ambos la sierra de las Medias Lunas y el Cerro de los Conejos, que se elevan hasta una cota de 779 m s.n.m. Otro de los atractivos de este entorno es el volcán de Peñarroya, situado a 2,3 km al noreste del humedal, que se alza hasta una altura de 815 m s.n.m. y es accesible por sendas de cierta dificultad.

El perímetro lagunar no está protegido por ningún tipo de vallado en la actualidad y cuenta con un panel explicativo muy deteriorado por las inclemencias meteorológicas. Por último, por este humedal transcurre la Ruta 2 (Puente de la Ovejas) del Trail Running Center TRC-018 "Entre volcanes", que es un itinerario de carácter turístico-deportivo, acreditado por la Real Federación Española de Atletismo (RFEA) y vinculado con el vulcanismo del Campo de Calatrava, con un nivel de dificultad medio (Figura 8.2).

Características fisiográficas

La laguna toma su nombre del cercano volcán de Peñarroya, haciendo alusión al color rojizo de los materiales volcánicos del borde del cráter principal. Su formación está relacionada con la obstrucción del drenaje de arroyos debido a coladas (Hernández, 1932a y 1932b; Gosálvez, 2011), en el caso que nos ocupa, el arroyo del Lobo, por tanto, la laguna se encuentra en el interior de un *maar* o cráter explosivo.





Figura 8.2. Señalización oficial de Trail Running Center (L.A. Carreño)



Figura 8.3. Vaso lagunar de Peñarroya (ortofoto PNOA 2021. Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

Como la mayoría de estos humedales, la zona inundable tiene una forma ovalada totalmente encajada en la sierra de las Medias Lunas salvo en su borde oriental. La dirección de este óvalo es norte-sur, con ejes menor y mayor de 700 y 800 m respectivamente, con una superficie máxima inundable de 35,19 ha y un perímetro lagunar de 2,22 km de longitud sin apenas irregularidades (Figura 8.3).

Este humedal es de tipo endorreico y también tiene un marcado carácter estacional, condicionado por su encajamiento entre sierras cuarcíticas y las pequeñas dimensiones de su cuenca. Los suelos de la cubeta lagunar están formados a partir de depósitos aluviales más o menos recientes, que presentan agua en el perfil en forma semipermanente con fluctuaciones de nivel (Cubero, 2015).

Historia y cultura

Varios testimonios epigráficos refieren la existencia de un núcleo de población romano altoimperial al pie del cerro volcánico. El más relevante es una inscripción funeraria hallada en el paraje de Los Villares, en Corral de Calatrava (Ciudad Real), a pocos kilómetros de distancia. Se trata de una posible necrópolis del asentamiento. También se encuentra inventariada otra inscripción dedicada a una divinidad, procedente del propio Caracuel, y depositada actualmente en el Museo de Ciudad Real. Esta última fue formulada por dos *magistri*, uno de los cuales perteneció a la tribu Galeria, por lo cual se ha mantenido que el lugar pudo alcanzar categoría municipal en época del emperador Augusto (Almagro, 2012).

La siguiente referencia histórica se produce en época musulmana, haciendo alusión al nombre de Dar Albacar. No aparecen referencias al actual nombre de la población hasta finales del siglo XIII o principios del XIV, cuando surgió Corral de Caracuel, dentro de la Encomienda de Caracuel, ubicada junto al Castillo de Caracuel, en cuya proximidad se situaba un corral que servía de herradero de vacas y que dio nombre al lugar.

A finales del siglo XIV, Corral recibió el beneficio de Villa, produciéndose la separación de Caracuel en 1822. Está división favoreció notablemente al pueblo de Corral, pues obtuvo más superficie, del orden de 14.700 ha; le correspondió el Castillo de Caracuel, la Encomienda de Herrera y la de Corral de Caracuel. El castillo de Caracuel supone una referencia emblemática para la población, se alza sobre el monte Nogales y se caracteriza por su torre pentagonal de diez metros de altura (Figura 8.4). Una de las encomiendas más antiguas del Campo de Calatrava es la de Caracuel, fundada en 1170 en este castillo. Aunque aún volvió a posesión musulmana, pues no sería definitivamente conquistado hasta 1212 por el rey Alfonso VIII (Melero, 2003).

Actualmente el castillo es de propiedad privada y, dada su situación de ruina, su acceso está prohibido si no es con permiso de la propiedad. Se accede por un camino que nace en la parte posterior de la Ermita del Santo Cristo de Caracuel de Calatrava.

Durante los siglos XVII y XVIII se manifiesta una notable desigualdad en la distribución de la tierra y el ganado, que se encontraba en manos de la Orden de Calatrava y la Iglesia, y de una minoría de propietarios, asimismo el desarrollo de otras actividades complementarias de servicios o de la industria no fue la alternativa para la mayoría de la población.

En el siglo XIX se produjeron dos importantes desamortizaciones, la de Mendizabal, entre 1835 y 1836, y la de Madoz, entre 1854 y 1856. Estos procesos de incautación



Figura 8.4. Vista panorámica del castillo de Caracuel de Calatrava (C. Lorenzo, STA CN IGME-CSIC)

y venta de bienes supusieron la puesta en pública subasta de más de 9.500 ha, que fueron adquiridas por un número pequeño de compradores de Corral de Calatrava, pero también de inversores venidos de Madrid, en menor número, pero con una fuerte inversión económica. Esta desamortización provocó una mayor concentración de la tierra que no facilitó la modernización de la agricultura y provocó un grave desequilibrio social entre propietarios y jornaleros, lo que desembocó en fuertes tensiones sociales (Ayuntamiento de Corral de Calatrava, 2022).

El principio del siglo XX no supuso para Corral de Calatrava novedades importantes, pues la estructura socioeconómica siguió siendo similar; eminentemente agrícola, latifundista y con alguna industria de transformación del vino y el aceite. La Guerra Civil y la posterior dictadura no mejoraron tampoco la estructura socioeconómica de la localidad. Solo en las últimas décadas de la dictadura se deja sentir una mejora en los niveles de alfabetización, el paso a una pobreza más soportable y la mejora de los equipamientos e infraestructuras de la localidad.

Desde el punto de vista arquitectónico cabe destacar la Ermita de Nuestra Señora de la Paz (Figura 8.5). Se trata de un edificio barroco del siglo XVIII, con planta de cruz latina, de una sola nave y cúpula sobre el crucero, de brazos poco desarrollados y cabecera poligonal.

Actualmente, como iniciativa cultural popular, merece la pena mencionar el proyecto "Titanes" que tiene como objetivo promover la inclusión social a través del arte y dar una nueva vida a los antiguos silos de la provincia. Esta iniciativa, respaldada por la Diputación Provincial de Ciudad Real, ha dado lugar a un museo al aire libre con obras de artistas internacionales, constituyendo la denominada "Ruta de los Silos" (Figura 8.6), en las que se enmarca el silo de Corral de Calatrava (Figura 8.7), con unos sorprendentes murales que ponen una nota de color en el paisaje calatravo.



Figura 8.5. Detalle de la zona apical de la torre de la Ermita de Nuestra Señora de la Paz (L.A. Carreño)



Figura 8.6. Cartel anunciador de la "Ruta de los Silos" (L.A. Carreño)



Figura 8.7. Vista del silo de Corral de Calatrava, decorado por artistas locales (L.A. Carreño)

Contexto socioeconómico

En este apartado se resume el contexto socioeconómico del municipio de Corral de Calatrava, cuyo término municipal se extiende sobre una superficie de 148,77 km^2 y contaba (INE, 2022) con 1.089 habitantes, de los que 535 son hombres y los 554 restantes, mujeres, lo que condiciona una densidad de 7,3 hab/km^2. Hasta el año 1960 la población era superior a los 2.000 habitantes, cifra que ha ido descendiendo paulatinamente hasta la casi la mitad en el pasado 2022.

La actividad económica se resume en la Tabla 8.1, el sector servicios es la principal fuente de actividad económica, con casi el 52% de las empresas censadas en la población y 129 trabajadores afiliados, seguido de la agricultura, con el 23% de las empresas pero con apenas 35 trabajadores afiliados al sector. Y de manera menos importante, la industria y la construcción con el 15% y casi el 10% de las empresas restantes, respectivamente.

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	35	*11,78*	12	*23,08*
Industria	87	*29,29*	8	*15,38*
Construcción	32	*10,77*	5	*9,62*
Servicios	129	*43,43*	27	*51,92*
No consta	14	*4,73*	0	*0,00*
TOTAL	**297**	***100***	**52**	***100***

Tabla 8.1. Empresas y afiliación en Corral de Calatrava (Tesorería General de la Seguridad Social, 2021)

La evolución ocupacional entre 2017 y 2022 (Tabla 8.2) marca un descenso de desempleados entre los años 2017 y 2020, se produce un ligero repunte en 2021, para volver a descender notablemente en 2022 (datos correspondientes al 31 de marzo de 2022).

AÑO	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Nº de parados	158	137	108	110	118	82

Tabla 8.2. Desempleados en Corral de Calatrava (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha, SEPE)

En cuanto a los aprovechamientos agrarios, los últimos datos disponibles corresponden al censo agrario de 2020 (Tabla 8.3), presentando, en las superficies labradas, un predominio de las explotaciones herbáceas con el 67,4% de las tierras cultivadas, relegando a un 8,7% la superficie destinada a los leñosos. Casi el 12% de la superficie rural se dedica a pastos y el 12% restante a otros tipos de cultivos.

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	**9.247,45**	7.081,82	*88,1*	*67,4*
	Leñosos		909,37		*8,7*
	Otros		1.256,26		*12,0*
Pastos		**1.256,15**		*11,9*	
TOTAL		**10.503,60**		***100***	

Tabla 8.3. Explotación agraria y forestal en Corral de Calatrava (Censo Agrario 2020, INE)

Normativa específica y figuras de protección

La laguna de Peñarroya cuenta con algunas figuras de protección; por un lado, fue declarada Monumento Natural por Decreto 176/2000 (DOCM, 2000a) por el que se declara esa figura de protección al volcán y a la laguna y, por otro lado, cuenta con la declaración de Zona de Especial Conservación (ZEC) "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava" (DOCM, 2015a), anteriormente designada Lugar de Importancia Comunitaria (LIC).

Este humedal también tiene el código Natura 2000: ES4220005 y cuenta con un plan de gestión aprobado mediante la Orden de 07/05/2015, de la Consejería de Agricultura de La Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (DOCM, 2015b).

Finalmente cabe apuntar que esta laguna está catalogada con el código IH422037 en el Inventario Español de Zonas Húmedas (BOE, 2019).

En el entorno de la laguna está presente un matorral termófilo de lentisco abundante en sus laderas, y en las que aparecen también algunos canchales silicícolas. En su interior se ubican varias parcelas dedicadas al cultivo agrícola, y ya en su extremo suroccidental se encuentra la laguna mesotrófica; dentro del vaso se da una sucesión de vegetación en relación directa con el grado de encharcamiento o de desecación. Esta laguna estacional posee una pradera predominante de *Lythrum tribracteatum* apareciendo otras especies como *Eleocharis palustris*, *Damasonium polyspermum*, *Lythrum acutangulum* y *Spergularia purpurea*. También cabe destacar la existencia de algunas formaciones de castañuela en la parte noroeste de la laguna, así como las formaciones de juncales en la zona perilagunar.

Climatología

La descripción climática de la laguna se apoya esencialmente en los datos suministrados por la AEMET de la cercana estación de Alcolea de Calatrava (4134), localizada a una cota de 650 m s.n.m. Aunque para analizar el contexto regional y calcular la evaporación también se han utilizado datos procedentes de otras estaciones del entorno. El análisis se ha realizado a nivel diario para el periodo de 50 años comprendido entre 1972 y 2021.

El hietograma (representación de la intensidad de la lluvia) de la estación más representativa (4134) muestra una precipitación media de 460 mm y una desviación típica de 129 mm (Figura 8.8), con un rango que oscila entre un mínimo de 189 mm (año 2005) y un máximo de 760 mm (año 2010). El diagrama ombrotérmico (representación de la precipitación y temperatura de una estación meteorológica) elaborado con la precipitación de la estación 4134 y la temperatura de la 4121 (Figura 8.9) determina un periodo de intenso estiaje durante los meses que van desde junio a septiembre.

La desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media de los 50 años de la serie climática, permite diferenciar 4 periodos húmedos, 4 periodos secos y un último periodo medio (Figura 8.10 y Tabla 8.4). Como periodos secos destacan, por los 10 años de su duración, el trascurrido entre el 1998 a 2007 y, por su intensidad con una precipitación anual inferior al 26% de la media, el desarrollado entre 1990 y 1994.

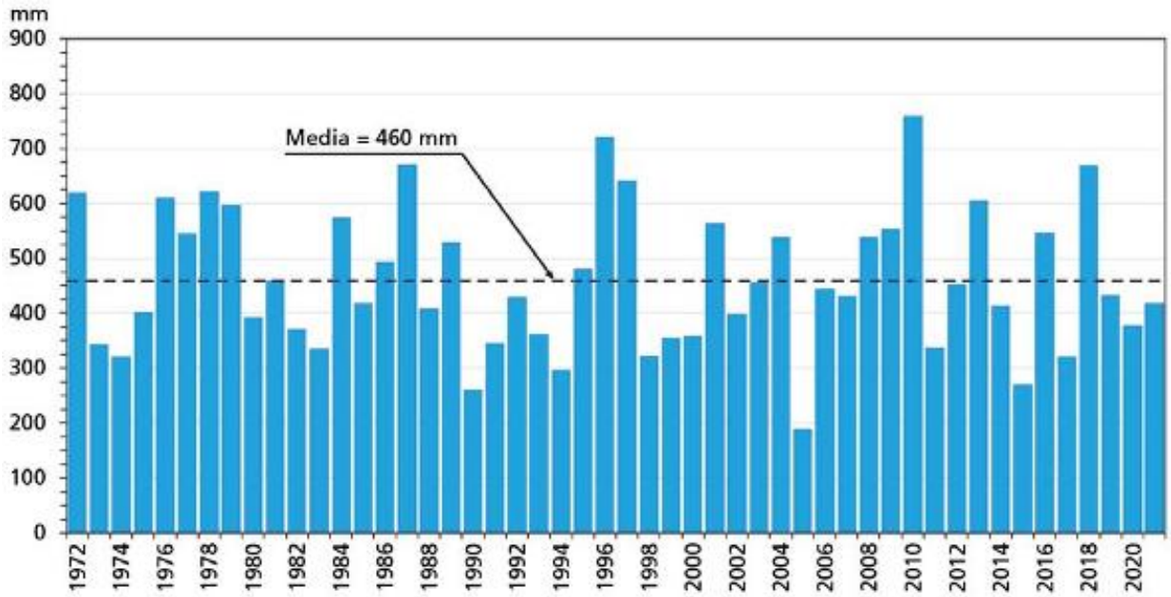


Figura 8.8. Hietograma de la precipitación anual en la estación de Alcolea de Calatrava (4134)

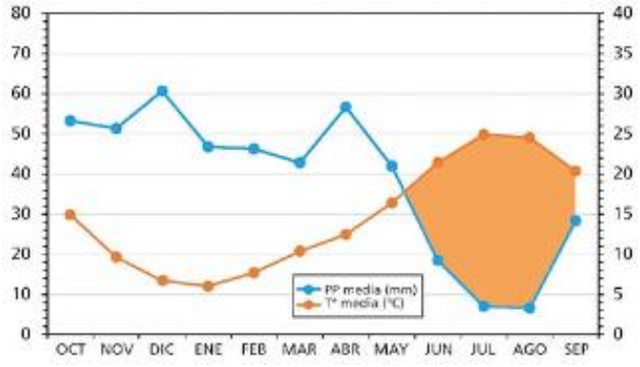


Figura 8.9. Diagrama ombrotérmico del año medio



Figura 8.10. Desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media (1972 a 2021)

PERIODO	TIPOLOGÍA CLIMÁTICA	DURACIÓN (AÑOS)	PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN CON RESPECTO A LA MEDIA
1972 a 1975	Seco	4	11% inferior
1976 a 1979	Húmedo	4	29% superior
1980 a 1983	Seco	4	15% inferior
1984 a 1989	Húmedo	6	12% superior
1990 a 1994	Seco	5	26% inferior
1995 a 1997	Húmedo	3	34% superior
1998 a 2007	Seco	10	12% inferior
2008 a 2010	Húmedo	3	38% superior
2011 a 2021	Medio	11	-

Tabla 8.4. Análisis de los diferentes periodos climáticos entre 1972 y 2021

Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna de Peñarroya se enmarca en la cuenca alta del Guadiana, es de carácter endorreico y se encuentra casi encerrada, salvo por su flanco este, entre la sierra de las Medias Lunas que la bordea desde el norte hasta el sur, pasando por todo su flanco occidental, y el volcán de Peñarroya al noreste del humedal.

Su área vertiente es de pequeñas dimensiones, 276,12 ha, y se extiende íntegramente sobre el término municipal de Corral de Calatrava con una morfología semicircular, con su extremo nororiental que alcanza la cima del volcán de Peñarroya (Figura 8.11). La diferencia entre las cotas más elevadas (814 m s.n.m. del volcán de Peñarroya) y las más bajas, que corresponden al fondo del vaso de la laguna (682,4 m s.n.m.) es de 131,6 m. La relación entre la superficie total y la superficie de la propia laguna es de 8, una de las menores relaciones entre las lagunas incluidas en la presente publicación.

En cuanto a la red hidrográfica de la cuenca, su reducido tamaño y su encajonamiento, no permiten albergar ningún curso superficial de características reseñables, destacando las pequeñas vaguadas en su flanco occidental que pueden aportar cierto caudal por escorrentía al vaso lagunar que se encuentra posicionado en la parte suroeste de la cuenca. Cabría mencionar el arroyo del Lobo que discurre al este de la laguna hasta su confluencia con el arroyo de la Zarza, que vierte sus aguas al río Guadiana por su margen izquierda.

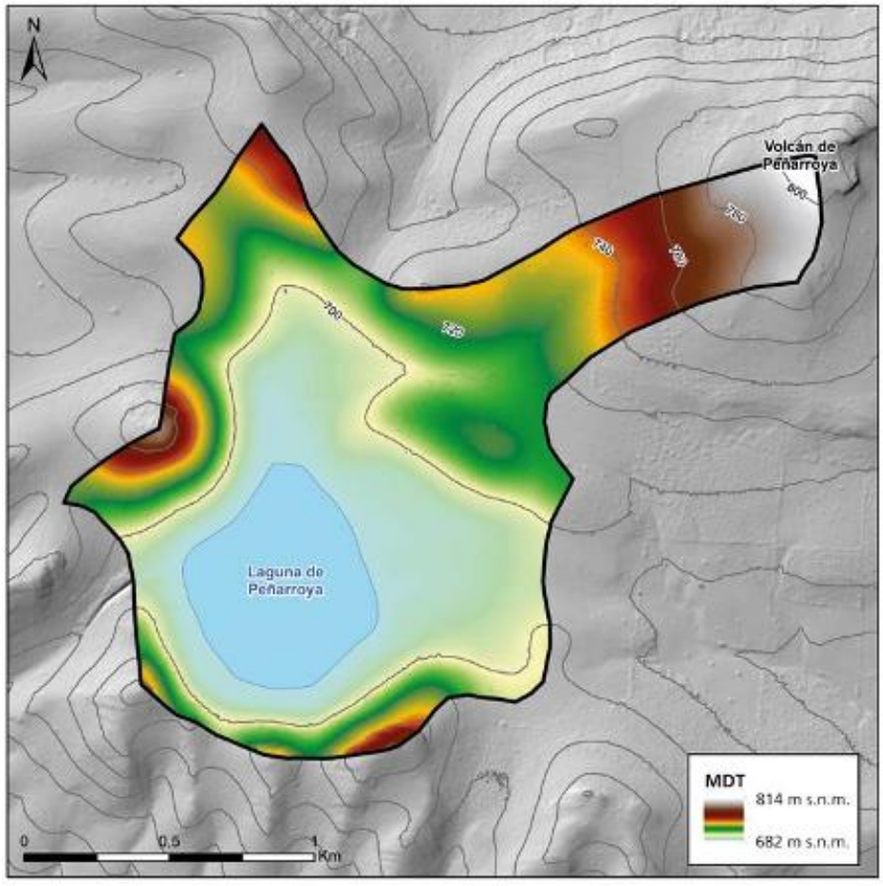


Figura 8.11. Cuenca hidrológica de la laguna de Peñarroya

Geología

La geología de la cuenca hidrológica de esta laguna está condicionada por su origen, una explosión hidromagmática, que se abrió paso entre las rocas duras ordovícicas de la sierra de las Medias Lunas, dando lugar a un *maar*, a lo largo del Mioceno superior-Pleistoceno inferior. Los materiales aflorantes tienen una naturaleza y comportamiento desigual, así como un lapso de tiempo geológico muy dilatado, ya que los materiales más antiguos pertenecen al Ordovícico inferior y los más modernos, que se ubican en el entorno lagunar, al Cuaternario (Figura 8.12).

Sin tener en cuenta la actividad volcánica, el sustrato rocoso es el responsable de las crestas en las sierras, formado fundamentalmente por conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras del Ordovícico inferior que bordean el *maar* y forman la base de apoyo del mismo, junto con la cuarcita armoricana, también de la misma edad geológica, que afloran en menor proporción al sur de la cuenca de la laguna.

Como ocurre en otras lagunas de la región, la interacción entre el magma y los pequeños acuíferos formados a partir de la fractura de desgarre de componente E-O que atraviesa la sierra de las Medias Lunas, provocaron la erupción hidromagmática que desencadenó el nacimiento de la actual laguna de Peñarroya (Figura 8.13).

Petrográficamente y en referencia a las rocas volcánicas que afloran y discurren en la mitad oriental de la

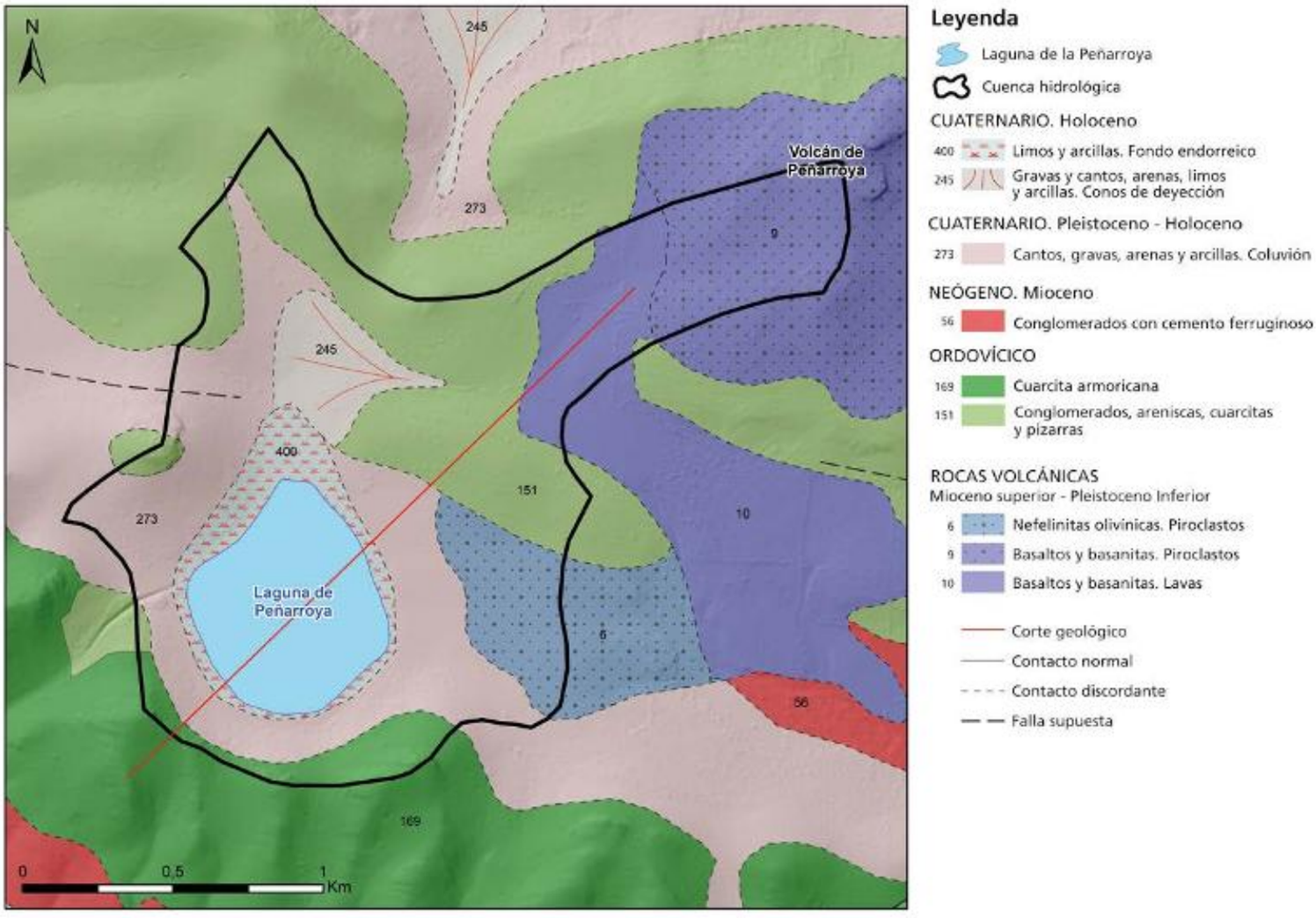


Figura 8.12. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de Peñarroya (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Baquedano y C. Camuñas)

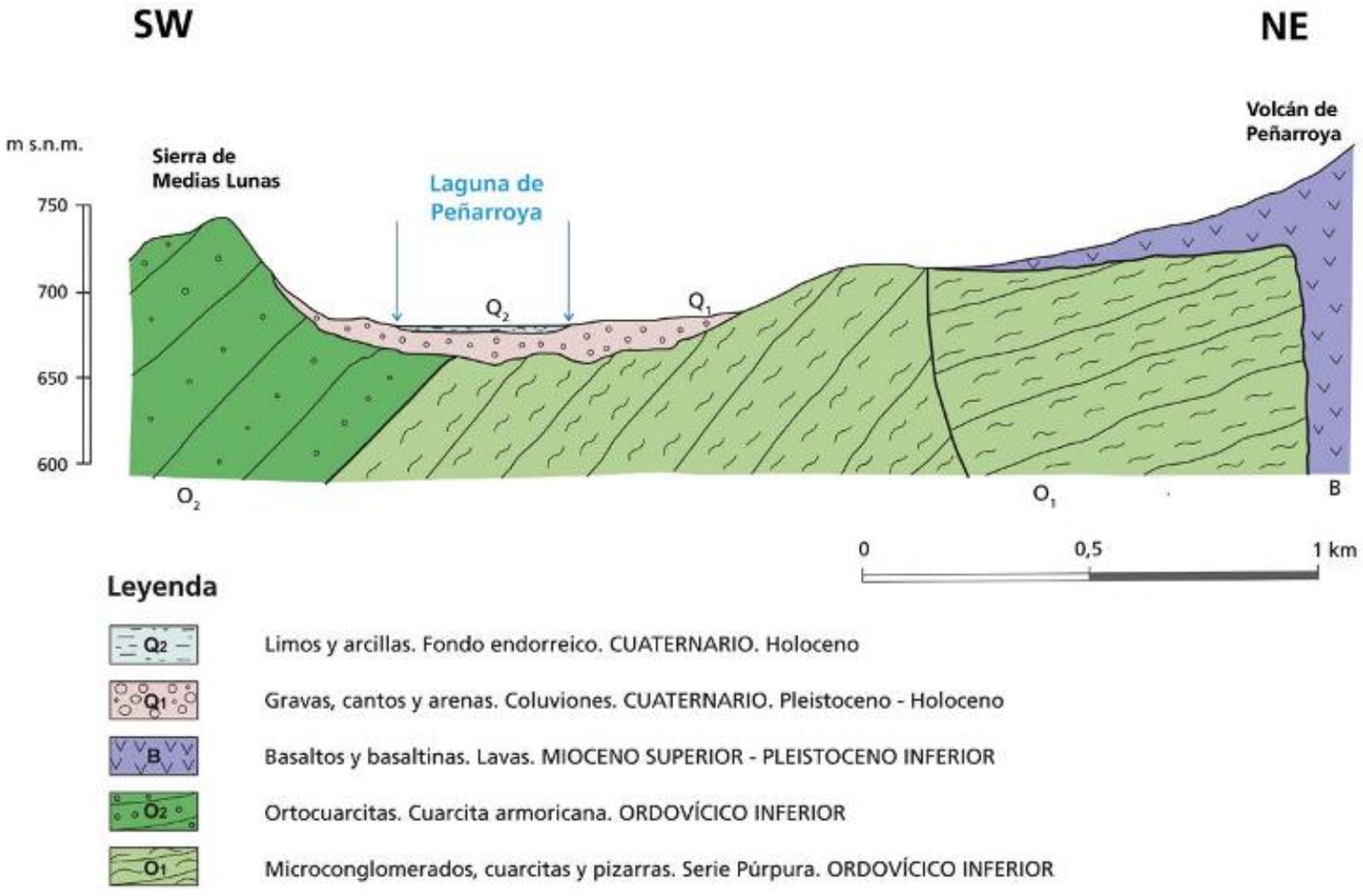


Figura 8.13. Corte geológico de la laguna de Peñarroya

cuenca, aparecen por un lado lavas basálticas que dibujan un abanico descendente desde el volcán de Peñarroya hacia el sur, aflorando a mitad de la falda del mismo dentro de la cuenca. Por otro lado, afloran dos tipos de materiales piroclástico: los que están constituidos por basaltos y basanitas, y se encuentran más cercanos al cono del volcán y los constituidos por nefelinitas olivínicas, que quedan circunscritos en el extremo este de la cuenca.

Al pie de los relieves paleozoicos afloran los materiales más modernos que, en conjunto, suman la mitad de los materiales aflorantes dentro de esta cuenta vertiente, producto de la erosión y deposición de los niveles que los rodean y que se encuentran en la mitad occidental y al sur de la citada cuenca.

Los de mayor representación están constituidos por cantos y gravas angulosas de cuarcita, pizarra y en menor proporción arenas y arcillas de tonos rojizos, de edad Pleistoceno-Holoceno, que son consecuencias de los derrubios o coluviones. Con menor representación, y anclados al norte del humedal, afloran los mismos materiales de características geológicas e hidrogeológicas similares, pero formados mediante conos de deyección, en un periodo posterior y más reciente, Holoceno, y dispuestos sobre los coluviones anteriores. Por último, y constituyendo casi la quinta parte de la superficie de la cuenca, se encuentran los depósitos de zonas endorreicas, de edad Holoceno, y litológicamente caracterizados por la presencia de material granular fino, limos y arcillas de tonalidades grises y negruzcas. Su disposición queda relegada al vaso lagunar y su perímetro más cercano.

Hidrogeología

Esta laguna se encuentra ubicada muy cerca, pero fuera de los límites que perfilan la Masa de Agua Subterránea 040.009, Campo de Calatrava y, como ya se ha descrito en apartados anteriores, las aguas que alcanzan la laguna de Peñarroya proceden de una cuenca vertiente de limitadas dimensiones.

Por su parte, el *maar* se encuentra prácticamente aislado por las elevaciones cuarcíticas que lo rodean, que dibujan ciertas vaguadas que son las responsables de la escorrentía superficial al mismo. Este entorno dibuja un contexto hidrogeológico condicionado fundamentalmente por las formaciones de rocas duras ordovícicas aflorantes.

Respecto a sus características hidrogeológicas (Tabla 8.5) predominan los materiales de permeabilidad media y baja. Los primeros (Tipología B: 36%) están constituidos por los afloramientos rocosos de cuarcita armoricana del Ordovícico inferior, y por los materiales detríticos procedentes del derrubio de las sierras adyacentes, constituidos por cantos, gravas, arenas y limos del Cuaternario que constituyen los conos de deyección y los coluviones.

En cuanto a las formaciones con permeabilidad baja (Tipología C: 45%) mayoritariamente situadas en la mitad este de la cuenca, están constituidas por los conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras del Ordovícico y por las rocas volcánicas, piroclastos y lavas, del Mioceno superior-Pleistoceno inferior. Por último, y en una menor proporción, se encuentran los materiales calificados como impermeables (Tipología D: 19%) que están representados por limos y arcillas cuaternarios del fondo endorreico.

Las formaciones que presentan unas mejores condiciones hidrodinámicas corresponden a las cuarcitas armoricanas, que presentan una disposición verticalizada con un importante espesor, aunque estas condiciones están sujetas a la fracturación y fisuración del macizo.

Las otras litologías con cierta relevancia hidrogeológica tienen una edad más moderna, y son producto del desmantelamiento de las sierras cuarcíticas (coluviones y conos de deyección), pero su escaso espesor condiciona la inexistencia de acuíferos de interés.

A este respecto, el nivel del agua en la laguna depende fundamentalmente de la simbiosis precipitación y evaporación, y, por lo tanto, no existen evidencias de aporte por aguas subterráneas, tratándose de un sistema lacustre cerrado.

Tabla 8.5. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de Peñarroya

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
Formación geológica	**Edad**	**Tipología**	**%**
Cuarcita armoricana	Ordovícico	B	36
Cantos, gravas, arenas y arcillas	Pleistoceno-Holoceno	B	
Gravas y cantos, arenas, limos y arcillas	Holoceno	B	
Conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras	Ordovícico	C	45
Nefelinitas olivínicas. Piroclastos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	
Basaltos y basanitas. Piroclastos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	
Basaltos y basanitas. Lavas	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	
Limos y arcillas	Cuaternario	D	19
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Balance hídrico

La determinación del balance hídrico de la laguna de Peñarroya, tal y como se expone en el capítulo donde se desarrolla la metodología seguida para su estimación, se ha basado en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua al sistema. Las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento y a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (276,12 ha). No parecen existir entradas subterráneas significativas asociadas a acuíferos subyacentes, dado que el nivel piezométrico en su entorno se encuentra habitualmente a más de 20 m por debajo del nivel de base del humedal. En cuanto a las salidas, al tratarse de una cuenca endorreica, son exclusivamente debidas a la evaporación producida sobre la lámina de agua libre.

Por consiguiente, el balance hídrico de la laguna puede quedar simplificado en la siguiente expresión, cuyos términos deberán ser determinados:

$$\Delta V_t = PPD_t + ESC_t - EVP_t$$

donde,

ΔV_t *variación del volumen de agua en el intervalo t*
PPD_t *precipitación directa en la lámina de agua*
ESC_t *escorrentía superficial a la laguna*
EVP_t *evaporación en la lámina de agua libre*

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del modelo digital del terreno (MDT), con tamaño de celda de 5x5 m, del Centro Nacional de Información Geográfica. El procesamiento de toda esta información ha permitido relacionar la superficie de la lámina libre con el volumen total de agua acumulada en la laguna, según distintos niveles de profundidad y en intervalos centimétricos (Figura 8.14).

La evaporación en mm de la lámina de agua libre, establecida en cada momento por la curva hipsométrica, se ha calculado mediante la expresión de Penman (1948) a partir de las series de temperatura máxima y mínima, radiación solar y velocidad media del viento de la estación climática 4121 (Ciudad Real) y, posteriormente, esta evaporación se ha aplicado a la

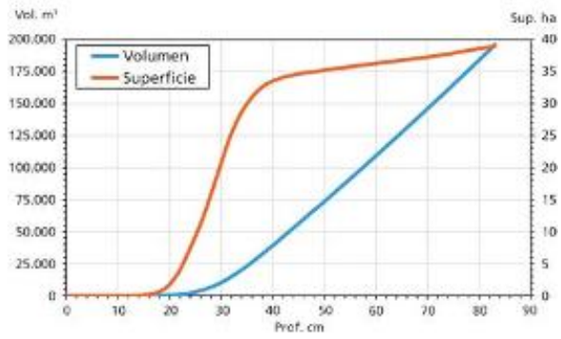


Figura 8.14. Curvas hipsométricas en el vaso de la laguna de Peñarroya. Relación entre profundidad, volumen almacenado y superficie de la lámina de agua

superficie inundada calculada diariamente, aunque se tienen que tener en cuenta las diferencias entre la situación de la estación meteorológica y la propia laguna, con los relieves circundantes.

La estimación de la escorrentía superficial, cifrada en 8.315 m^3/a, se ha determinado mediante el código RENATA, para lo cual se ha discretizado la superficie de la cuenca vertiente en celdas de 50x50 m (Figura 8.15). Esta aplicación utiliza el balance hídrico del suelo diseñado por Thornthwaite a nivel diario, modificado por G. Girard, para el cálculo de la lluvia útil. Para obtener la escorrentía se ha utilizado el método racional a partir del número de curva (NC) del USSCS, y para la evapotranspiración el de Hargreaves a partir de las series diarias de temperatura máxima y mínima de Ciudad Real (4121) y con la precipitación de la estación de Alcolea de Calatrava (4134). El valor de los parámetros asignados (Tabla 8.6) se ha determinado a partir de las características de los afloramientos de las distintas formaciones geológicas y de los empleados

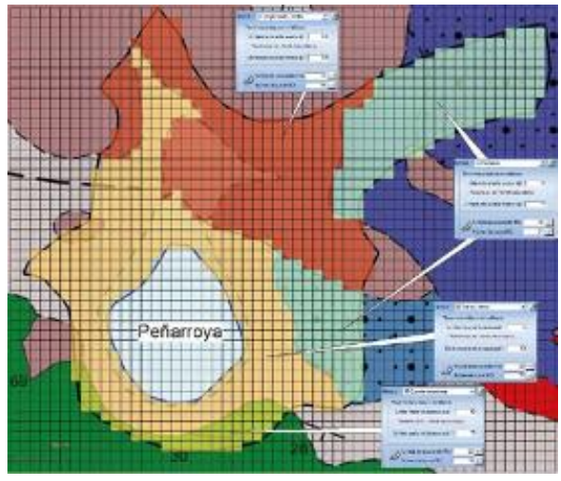


Figura 8.15. Modelo RENATA de la laguna de Peñarroya para el cálculo de la escorrentía superficial.
Los parámetros del suelo asignados se exponen en los cuadros azules

Tabla 8.6. Parámetros y resultados de la escorrentía superficial de la laguna de Peñarroya (periodo 1972 a 2021)

LITOLOGÍA	SUPERFICIE ha	PARÁMETROS	ESCORRENTÍA m^3/a
Gravas y arenas pliocuaternarias	90,26	RU_{min} = 75 mm RU_{max} = 100 mm P_0 = 20 mm NC = 72	2.950
Cuarcitas armoricanas	11,89	RU_{min} = 50 mm RU_{max} = 75 mm P_0 = 20 mm NC = 72	4.462
Conglomerados, microconglomerados y areniscas	74,00	RU_{min} = 100 mm RU_{max} = 125 mm P_0 = 10 mm NC = 84	104
Piroclastos	64,78	RU_{min} = 50 mm RU_{max} = 70 mm P_0 = 10 mm NC = 84	799
Vaso impermeable(*)	35,19		
Total	**276,12**		**8.315**

** Contemplada en la precipitación directa caída sobre la lámina de agua*

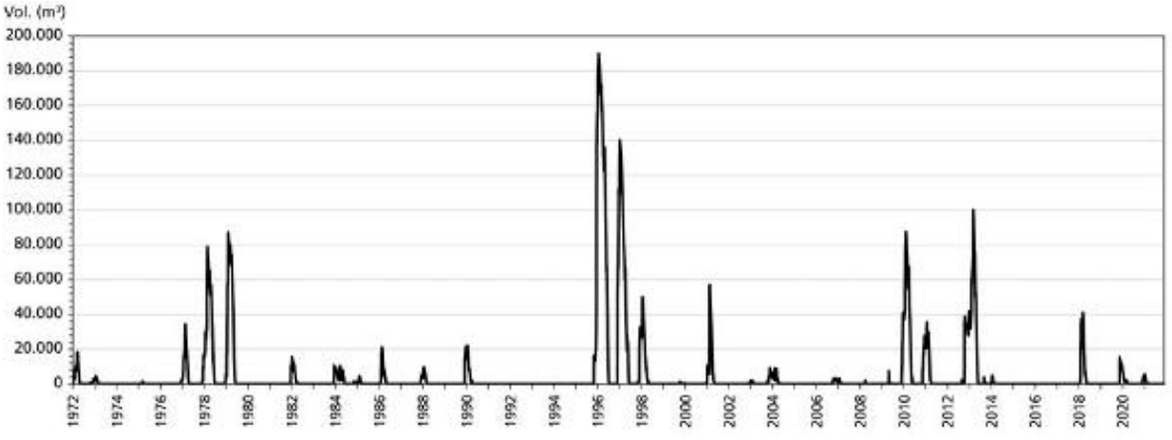
para la estimación de la escorrentía en otras lagunas del Campo de Calatrava. Verificando, siempre, su coherencia con las características hidrológicas de la zona.

Determinación del balance hídrico

Con los procedimientos y parámetros descritos, la determinación del balance hídrico del humedal se ha realizado a partir de la simulación diaria de un periodo de 50 años (1972 a 2021). Dicha simulación muestra que, al recibir sólo aportes de la escorrentía superficial y de la precipitación caída directamente sobre la lámina de agua, la laguna contendrá algo de agua durante la época invernal en años medios y húmedos, permaneciendo seca el resto del tiempo. Sólo en los inviernos excepcionalmente lluviosos, como entre los años 1996 a 1998, podría inundarse casi en su totalidad (Figura 8.16).

En definitiva, casi el 80% del tiempo el humedal se encontraría seco o casi seco (Figura 8.17). El volumen medio diario almacenado en el vaso de la laguna es de unos 5.200 m^3, algo más de 1 ha inundada.

Figura 8.16. Simulación del volumen almacenado en la laguna de Peñarroya (periodo 1972 a 2021)



Así, el balance hídrico medio anual indica que la laguna se alimenta esencialmente de la precipitación directa caída sobre la lámina de agua, cifrada en 29.452 m³/a, equivalente al 78% del total de los aportes, y, en menor medida, de la escorrentía superficial, con tan solo 8.315 m³/a, correspondiente al 22%. En cuanto a las salidas, 37.767 m³/a, se producen en su totalidad por evaporación (Tabla 8.7 y Figura 8.18).

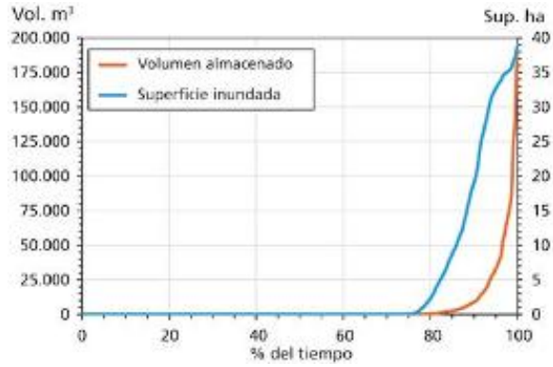


Figura 8.17. Distribución temporal (en %) de la superficie inundada y del volumen almacenado en la laguna de Peñarroya

PRECIPITACIÓN MEDIA mm	CUENCA VERTIENTE km²	ENTRADAS m³		SALIDAS m³
		Precipitación directa	Escorrentía superficial	Evaporación directa
460	2,76	29.452	8.315	37.767
		78%	22%	100%

Tabla 8.7. Balance hídrico medio anual. Periodo 1972 a 2021

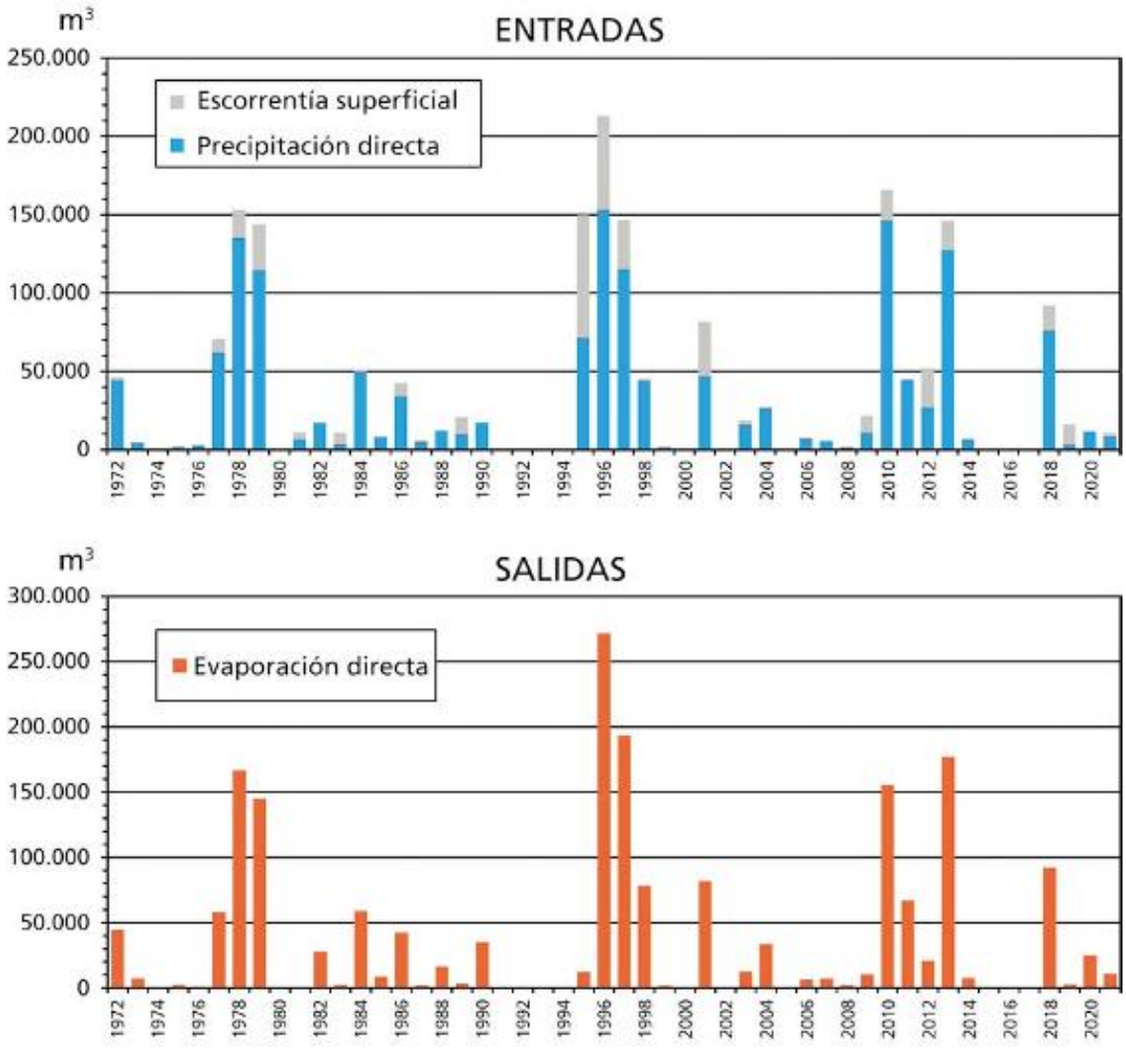


Figura 8.18. Balances hídricos anuales de la laguna de Peñarroya (1972 a 2021)

Evolución visual del territorio

Al estar alejada de centros urbanos, el paso del tiempo apenas ha modificado el entorno del humedal ni el perímetro lagunar, como se refleja en las imágenes aéreas (Figura 8.19), con unas mínimas diferencias, siendo el cambio más destacable el trazado de alguno de los caminos al oeste de la laguna de Peñarroya y los cortafuegos de la sierra, propios de las actuales normativas y preservación del monte bajo circundante.

Las siguientes figuras (Figuras 8.20 a 8.23) muestran, a vista de dron, el estado actual de la laguna en diciembre de 2022, así como de su entorno. Tras un periodo prolongado de sequía, el vaso lagunar se encuentra completamente seco, rodeado de cimas cuarcíticas que se imponen sobre la zona endorreica y de los suelos rojizos circundantes. El volcán de Peñarroya, con sus 814 m de altitud, observa el paisaje y el paso del tiempo ajeno a la escasez de lluvias.



Figura 8.19. Foto aérea comparativa del vuelo americano 1956-57 y ortofoto PNOA 2018 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 8.20. Vaso lagunar con el volcán de Peñarroya al fondo (C. Camuñas, STA CN IGME-CSIC)



Figura 8.21. Suelos rojizos próximos al entorno lagunar (C. Camuñas, STA CN IGME-CSIC)



Figura 8.22. Crestas de cuarcitas de la sierra de las Medias Lunas (C. Lorenzo, STA CN IGME-CSIC)



Figura 8.23. Panorámica de la laguna en septiembre de 2022, sin lámina de agua (L.A. Carreño)



Capítulo 9

Laguna de Fuentillejo

Carlos Camuñas Palencia
Juana Vegas Salamanca





9. Laguna de Fuentillejo

Situación geográfica y accesos

La laguna de Fuentillejo, conocida también como La Posadilla por el topónimo de la finca en la que se ubica, se encuentra a escasos 12 km al suroeste de Ciudad Real. En concreto, está situada al pie del pico de Malosaires (780 m s.n.m.), a 3 km al suroeste de la pedanía de Valverde (urbe de la capital) desde donde se accede por caminos sin asfaltar (Figura 9.1). Las coordenadas de su punto central son X: 408.690, Y: 4.310.455 (UTM ETRS89 H30), y su altitud es de 637,1 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

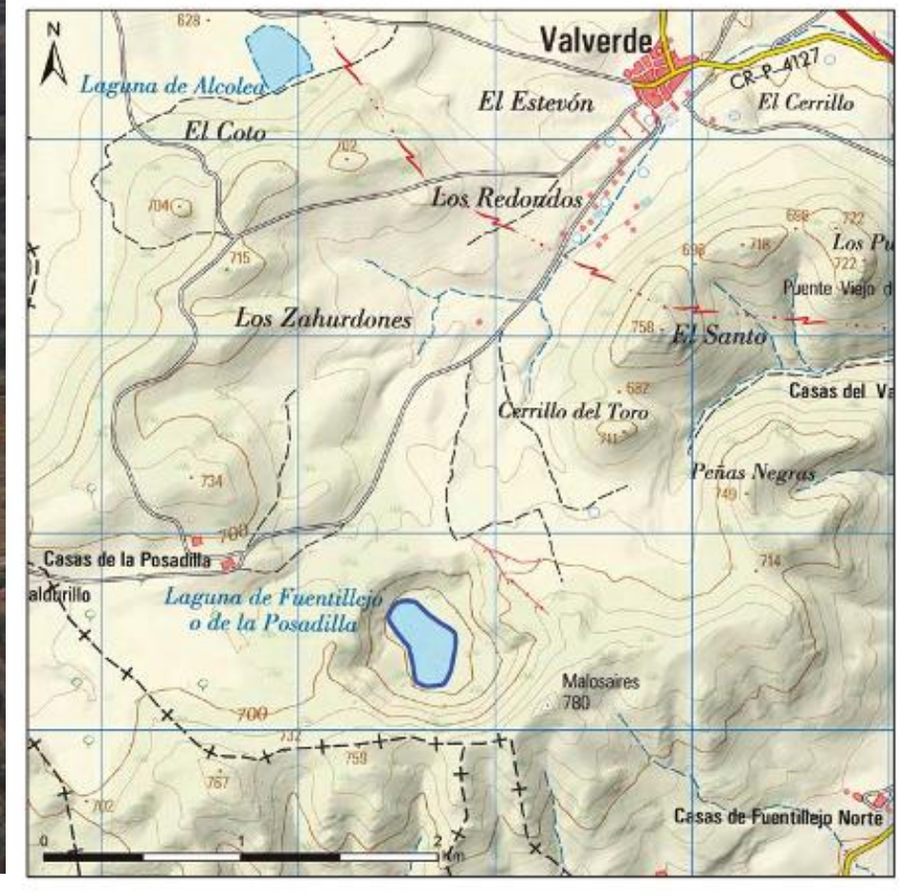


Figura 9.1. Situación geográfica de la laguna de Fuentillejo (hoja 784 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

Desde la capital provincial se accede por la carretera nacional N-430 en dirección a Piedrabuena, que pasa por el yacimiento arqueológico de Alarcos y se toma el primer cruce hacia Valverde. Una vez en la pedanía, hay dos accesos posibles para su visita, uno de ellos es por el camino de los Labradores hasta llegar a la finca de La Posadilla, pero es necesario pedir permiso al ser propiedad privada. El segundo de los accesos, y más recomendable para una visita libre, se inicia desde Valverde por la Ronda del Prado: tras recorrer algo más de 1,5 km por este camino, comienza un sendero en dirección sur, que debemos tomar para recorrer los últimos 1.000 metros. El último tramo está señalizado (Figura 9.2) por formar parte del Camino Natural del Guadiana (Red de Caminos Naturales) y solo se puede realizar caminando. La laguna está completamente vallada en la actualidad y cuenta con un panel explicativo situado en un punto estratégico para contemplar la laguna, aunque la cartelería está muy deteriorada por las inclemencias meteorológicas.



Figura 9.2. Cartelería de señalización a la laguna de La Posadilla. Agosto de 2022 (C. Camuñas)

Características fisiográficas

Fuentillejo es uno de los ejemplos más representativos y mejor conservados de lagunas de origen volcánico en la región del Campo de Calatrava, ya que se originó en el interior de un cráter explosivo de tipo hidromagmático, que se denomina *maar* en terminología científica. Por su excelente estado de conservación y las inmejorables condiciones de observación de los edificios volcánicos tiene un gran valor como patrimonio geológico, que ha sido reconocido como lugar de interés geológico (*Geosite*) de relevancia internacional para España.

Este humedal es de tipo endorreico y tiene un marcado carácter estacional, fundamentalmente condicionado por la pequeña dimensión de su cuenca de drenaje al estar dentro de un antiguo cráter volcánico (Figura 9.3). La laguna tiene una forma ovalada con una superficie de 9,06 hectáreas y un perímetro de 1,22 km.

El suelo circundante sobre las laderas sustenta la vegetación potencial de la zona, fundamentalmente un encinar silicícola con piruétano y lentisco, que es mucho más denso en la ladera sur sobre un sustrato de cuarcitas.



Figura 9.3. Vaso lagunar de Fuentillejo (ortofoto PNOA 2021. Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

El estado ecológico de esta laguna es óptimo desde su declaración como Monumento Natural en 1999. No hay presencia significativa de fertilizantes ni de aguas residuales debido a su aislamiento (ubicada en la vertiente norte de la sierra de las Medias Lunas) y a las pequeñas dimensiones de su cuenca.

Historia y cultura

La laguna de Fuentillejo pertenece a la pedanía de Valverde, pero al ser una pedanía de la capital de provincia, la gran mayoría de los datos estadísticos correspondientes a su población están incluidos en dicha capital, por lo que las características a resaltar quedan enmascaradas en los del núcleo de población significativamente más grande. De manera que, para los objetivos de esta publicación, se considera más adecuado referirse a la cercana población de Alcolea de Calatrava, con nexos históricos y sociales con el humedal.

El núcleo urbano de Alcolea de Calatrava se ubica entre el valle de Alcudia y los Montes de Toledo, en la margen derecha del río Guadiana, en una planicie rodeada de pequeñas sierras. Existen referencias históricas relativas a que la ciudad ya existía en época musulmana, de la que heredó el nombre, que significa "el castillejo". Desde entonces ha estado habitada de manera ininterrumpida.

En este término, y en el vecino de Picón, se encuentran numerosos restos de pequeños castillos y torreones, probablemente por su cercanía al valle del río Guadiana. También en su término se ubica el topónimo Hombría de la Sala, indicativo de posibles raíces íberas.

En las cercanías del núcleo urbano confluyen dos importantes ramales de cañadas ganaderas, la Segoviana y la Soriana, que, tras salir unidas del término, viajan hacia el sur atravesando el río Guadiana por el puente de las Ovejas, cuya construcción, en parte, se atribuye a época romana.

Distintas alcoleas o castillejos se señalan en varios puntos de este municipio en época musulmana, tal y como se recogen en las Relaciones Topográficas de Felipe II, donde se dice que "*...había siete poblaciones en el término.... en tiempo de moros.... que eran pequeñas según parece por los edificios antiguos, y se llamaban las siete Alcoleas...*" (Ortega, 1918).

Del siglo XII data el castillo de Benavente, ubicado al lado opuesto del castillo de Alarcos, dejando el río Guadiana entre ambos, lo que indica la importancia estratégica de este paso. En los inicios de la Orden de Calatrava, el desarrollo del núcleo urbano estuvo condicionado por la importancia de este castillo. En 1329, con ocasión de un pleito entre la Orden de Calatrava y el concejo de Villa Real, figuraba Alcolea como una de las aldeas del castillo de Benavente.

Alcolea de Calatrava se ve afectada en el siglo XVII por el descenso de la población, que repercute a nivel general en todo el territorio, pasando de 184 vecinos en el año 1575 a 80 en el año 1652, según las Relaciones Topográficas de Felipe II (Campos, 2003); que refiere también que vivían fundamentalmente de la agricultura y la ganadería. En esta época el pueblo contaba ya con la actual iglesia parroquial y las ermitas de San Bartolomé, San Sebastián y San Antón, así como con un hospital de beneficencia.

En el siglo XVIII la población registra un aumento, presentando una línea ascendente continua que se verá interrumpida a mediados del siglo XX, cuando se inicia otro descenso demográfico como consecuencia de la emigración de sus habitantes a zonas industrializadas en busca de trabajo y nuevas oportunidades.

Paleontología

En su término municipal se encuentra el yacimiento paleontológico de Las Higueruelas, emplazado a 2 km de distancia del núcleo urbano. Constituye uno de los más importantes del Cenozoico en Europa, tanto por su riqueza faunística como por su entorno ecológico, y del que se han recuperado restos de grandes mamíferos del Cuaternario entre los que destaca el *Anancus arvernensis*, considerado como el antepasado de los actuales elefantes. Todos estos restos se exponen en el Museo Provincial de Ciudad Real (Figura 9.4).

Las investigaciones geológicas y paleontológicas sitúan el yacimiento en el borde de una antigua laguna

instalada en un cráter volcánico. Los restos acumulados en las orillas de la laguna comprenden mastodontes, rinocerontes, caballos, gacelas, ciervos, aves y tortugas terrestres.



Figura 9.4. Vista general del esqueleto del mastodonte ubicado en el Museo Provincial de Ciudad Real (L.A. Carreño)

Contexto socioeconómico

El término municipal de Alcolea de Calatrava se extiende sobre una superficie de 70,79 km² y cuenta con 1.370 habitantes: 693 hombres y 677 mujeres (INE, 2022), lo que supone una densidad de 19,35 hab/km². La población se sitúa por encima de los 1.600 habitantes desde 1986 hasta el 2011, año en el que va descendiendo progresivamente hasta alcanzar la cifra del 2022.

El sector servicios constituye el principal eje de la actividad económica (Tabla 9.1) con el 52,93% de las empresas censadas en la población y 111 trabajadores; seguido de la construcción, con el 23,53% de las empresas y 77 trabajadores afiliados al sector. Completa la economía la agricultura y la industria, con el mismo número de empresas y con 20 y 13 trabajadores afiliados respectivamente.

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	20	*8,62*	4	*11,77*
Industria	13	*5,60*	4	*11,77*
Construcción	77	*33,19*	8	*23,53*
Servicios	111	*47,85*	18	*52,93*
No consta	11	*4,74*	0	-
TOTAL	**232**	***100***	**34**	***100***

Tabla 9.1. Empresas y afiliación en Alcolea de Calatrava (Tesorería General de la Seguridad Social, 2021)

La evolución ocupacional entre 2017 y 2022 (Tabla 9.2) presenta un descenso de desempleados entre los años 2017 y 2019, para incrementarse ligeramente en 2020 y que vuelve a descender en los 2 últimos años registrados.

AÑO	2017	2018	2019	2020	2021	2022
N.º de parados	203	157	126	148	130	119

Tabla 9.2. Desempleados en Alcolea de Calatrava (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha, SEPE)

En cuanto a los aprovechamientos agrarios, los últimos datos disponibles corresponden al censo agrario de 2020 (Tabla 9.3), presentando, en las superficies labradas, un predominio de las explotaciones herbáceas con el 67,2% de las tierras cultivadas, seguida por los leñosos con un 23,0%. El 9,8% restante se lo reparten a partes iguales la superficie rural dedicada a pastos y a otros tipos de cultivos.

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	**3.116,63**	2.202,95	*95,1*	*67,2*
	Leñosos		753,97		*23,0*
	Otros		159,71		*4,9*
Pastos		**159,58**		*4,9*	
TOTAL		**3.276,21**		***100***	

Tabla 9.3. Explotación agraria y forestal en Alcolea de Calatrava (Censo Agrario 2020, INE)

Por último, cabe destacar que el presupuesto de la entidad local para el año 2021 alcanzó la cifra de 1.389.263 €.

Normativa específica y figuras de protección

La laguna de Fuentillejo cuenta con varias figuras de protección (Tabla 9.4); la primera como Monumento Natural mediante Decreto 207/1999, de 5 de octubre (DOCM, 1999a), por el que se declara esa figura de protección al volcán y a la laguna y se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la laguna. También cuenta con la declaración de Zona de Especial Conservación (ZEC) "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava", Decreto 26/2015, de 7 de mayo (DOCM, 2015a), anteriormente designada Lugar de Importancia Comunitaria (LIC). La laguna tiene el código Natura 2000: ES4220005 y cuenta con un plan de gestión aprobado mediante la Orden de 07/05/2015, de la Consejería de Agricultura de La Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (DOCM, 2015b).

Finalmente, este humedal está, por un lado, catalogado con el código IH422035 en el Inventario Español de Zonas Húmedas (BOE, 2019); y, por otro, está incluido en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico, identificado con el código TM136 (*Maar* y su registro sedimentario lacustre de La Posadilla o Fuentillejo), por ser el geosite VU010 que está incluido en el contexto de relevancia internacional 'Vulcanismo neógeno y cuaternario de la Península Ibérica', de la Ley 42/2007 (BOE, 2007).

Este enclave tiene un gran valor geomorfológico, paleoclimático y paisajístico, junto con un notable interés faunístico por ser zona de nidificación y de alimentación de numerosas aves y pequeños invertebrados.

Las laderas interiores del antiguo cráter volcánico que forma el vaso de la laguna están tapizadas por el encinar silicícola con piruétano (*Pyrus bourgaeanae*) y lentisco (*Pistacia lentiscus*). La vegetación marginal de la laguna está representada por algunas pequeñas zonas con castañuela (*Hercircus maritimus*) y este litoral tiene una segunda banda de vegetación formada por el junco churrero (*Scirpus holoschoenus*) y el junco merino (*Juncus accutus*) condicionados por el pastoreo.

La avifauna acuática de esta laguna solo tiene importancia a nivel local. Las especies nidificantes de forma habitual son el zampullín chico (*Tachybaptus ruficollis*), el ánade real (*Anas platyrhynchos*), la polla de agua (*Gallinula chloropus*) y la focha común (*Fulica atra*).

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA DE FUENTILLEJO
MONUMENTO NATURAL
Decreto 207/1999, de 05 de octubre de 1999, por el que se declara Monumento Natural el Volcán y la Laguna de La Posadilla
ESPACIO RED NATURA 2000
Lugar de Importancia Comunitaria L.I.C. "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava", código ES4220005
PLAN DE GESTIÓN
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 (DOCM n.º 91, de 12 de mayo de 2015)

Tabla 9.4. Figuras y herramientas de protección de la laguna de Fuentillejo

Climatología

Las características climáticas de esta laguna se han obtenido a partir de los datos suministrados por la AEMET de la cercana estación de Poblete (4135), localizada a una cota de 625 m s.n.m. Aunque para el cálculo de la evaporación también se han utilizado datos procedentes de otras estaciones de su entorno. El análisis se ha realizado a nivel diario para el periodo de 50 años comprendido entre 1972 y 2021.

El hietograma de esta estación 4135 muestra una precipitación media de 404 mm y una desviación típica de 127 mm (Figura 9.5), con un rango que oscila entre un 153 mm (año 2004) y 859 mm (año 2009). El diagrama ombrotérmico, elaborado con la precipitación de la estación 4135 y la temperatura de la 4121 (Figura 9.6), determina un periodo de estiaje intenso que ocupa los meses de junio a septiembre.

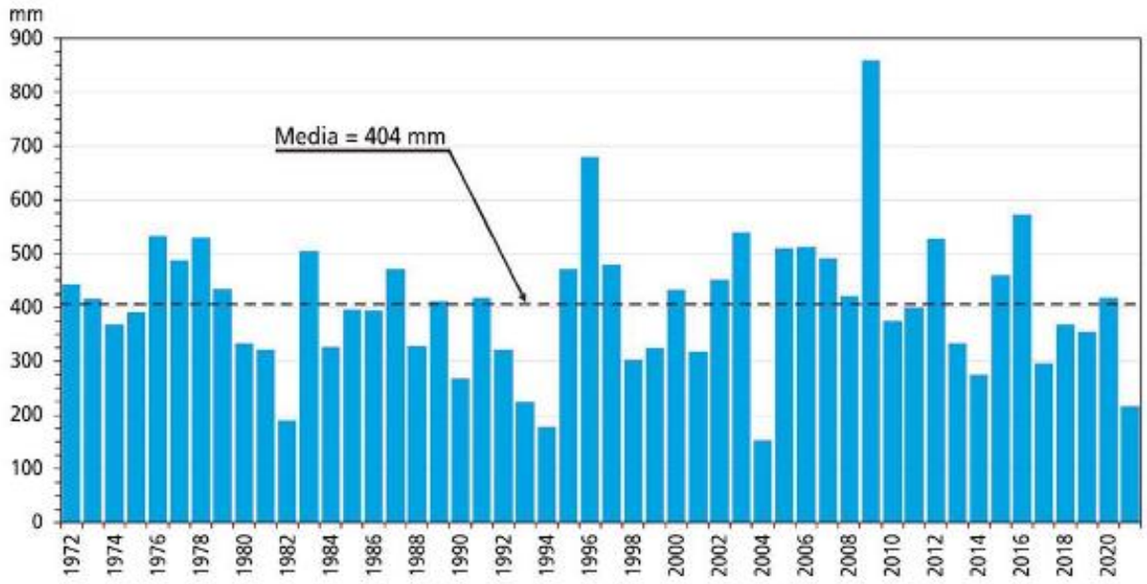


Figura 9.5. Hietograma de la precipitación anual en la estación de Poblete (4135)

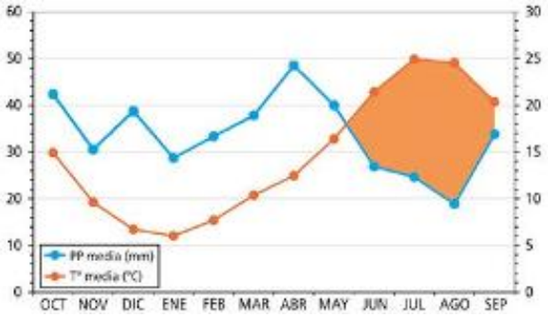


Figura 9.6. Diagrama ombrotérmico del año medio

La desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media de los 50 años de la serie climática permite diferenciar 3 periodos húmedos, 3 periodos secos y 4 medios (Figura 9.7 y Tabla 9.5). De los húmedos destaca el trascurrido entre el 2005 a 2009 y, entre los secos, el comprendido entre los años 1980 a 1982, que, tras 7 años medios, vuelve a reproducirse entre 1990 y 1995.



Figura 9.7. Desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media (1972 a 2021)

PERIODO	TIPOLOGÍA CLIMÁTICA	DURACIÓN (AÑOS)	PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN CON RESPECTO A LA MEDIA
1972 a 1975	Medio	4	-
1976 a 1979	Húmedo	4	23% superior
1980 a 1982	Seco	3	31% inferior
1983 a 1989	Medio	7	-
1990 a 1994	Seco	5	30% inferior
1995 a 1997	Húmedo	3	34% superior
1998 a 2004	Medio	7	-
2005 a 2009	Húmedo	5	38% superior
2010 a 2016	Medio	7	-
2017 a 2021	Seco	5	18% inferior

Tabla 9.5. Análisis de los diferentes periodos climáticos entre 1972 y 2021

Hidrología

Esta zona se halla incluida en la Cuenca Alta del Guadiana, río que discurre al norte de Valverde de Calatrava, encajonado entre relieves paleozoicos y volcánicos, hasta divagar por la llanura que se extiende hacia el este, a partir del puente de Alarcos, con lentitud, debido a su baja pendiente (0,5-2%) y a su escaso caudal.

La cuenca hidrológica de la laguna de Fuentillejo se caracteriza por su pequeño tamaño (94,12 hectáreas), que define una cuenca endorreica totalmente cerrada con una alimentación principal por agua de lluvia (Figura 9.8). Este hecho condiciona su carácter estacional, donde en épocas de mayor precipitación tiene una lámina de agua que no supera los 50-75 cm de profundidad y se deseca totalmente en la época estival. Puede permanecer seca durante periodos plurianuales si las precipitaciones no son significativas. La red fluvial, poco reseñable, queda circunscrita al río Guadiana que discurre a unos 2,5 km hacia el sur, ya que la laguna no tiene afluentes ni efluentes y es de tipo efímero (Vegas *et al*., 2013).

La morfología del área vertiente es casi circular, con un relieve más abrupto y de mayor pendiente en la ladera sur, donde alcanza las cotas más elevadas (Pico Malosaires con 780 m s.n.m.). La ladera norte tiene una diferencia de altura de 40 m, mientras que el borde sur está limitado por una pared de cuarcitas de más de 120 m de altura desde la base de la laguna.

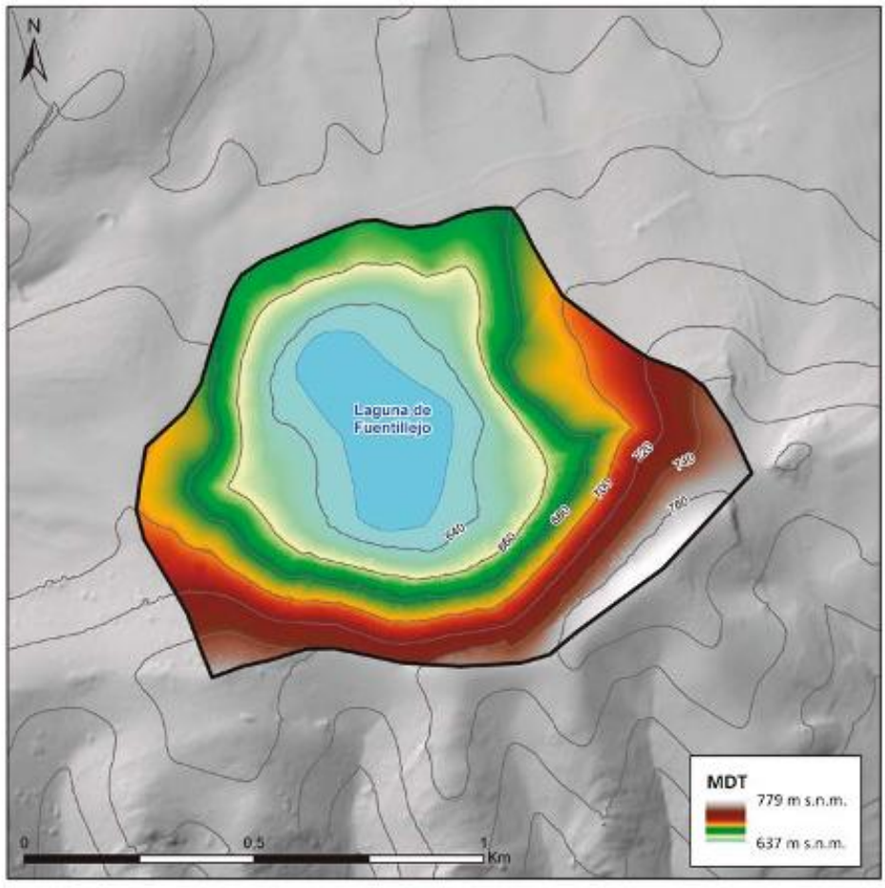


Figura 9.8. Cuenca hidrológica de la laguna de Fuentillejo

Geología

Fuentillejo se localiza en el centro de la provincia de Ciudad Real, dentro de la Región Volcánica Central de España, conocida como zona volcánica de Campo de Calatrava, que se sitúa en el extremo sureste del Macizo Ibérico (Zona de Ossa-Morena). La geología de la cuenca hidrológica de esta laguna está condicionada por el episodio volcánico explosivo hidromagmático que tuvo lugar en el Pleistoceno inferior y que se inyectó en las pizarras y cuarcitas del Ordovícico inferior de la sierra de las Medias Lunas, formándose un *maar* con un amplio cráter de morfología circular (Figura 9.9).

El sustrato paleozoico de la cuenca está formado fundamentalmente por la cuarcita armoricana (Ordovícico inferior) y, en menor proporción, por pizarras (Ordovícico a Silúrico) y calizas (Ordovícico superior) en su mitad norte, sobre el que se apoya el anillo piroclástico del *maar*. Esta erupción está asociada a la fractura de desgarre de componente E-O que atraviesa la sierra de las Medias Lunas, a la que se asocian otras fracturas transversales de dirección NO-SE. Esta fracturación favoreció la formación de pequeños acuíferos que interaccionaron con el magma (Ancochea, 1982), que es el proceso que desencadena las erupciones hidromagmáticas.

Por este motivo, Fuentillejo se clasifica dentro del tipo de "*Maares* en sustrato duro" (*hard-rock substrate maar* en terminología inglesa) que ocurren cuando los procesos hidrovolcánicos afectan a los metasedimentos

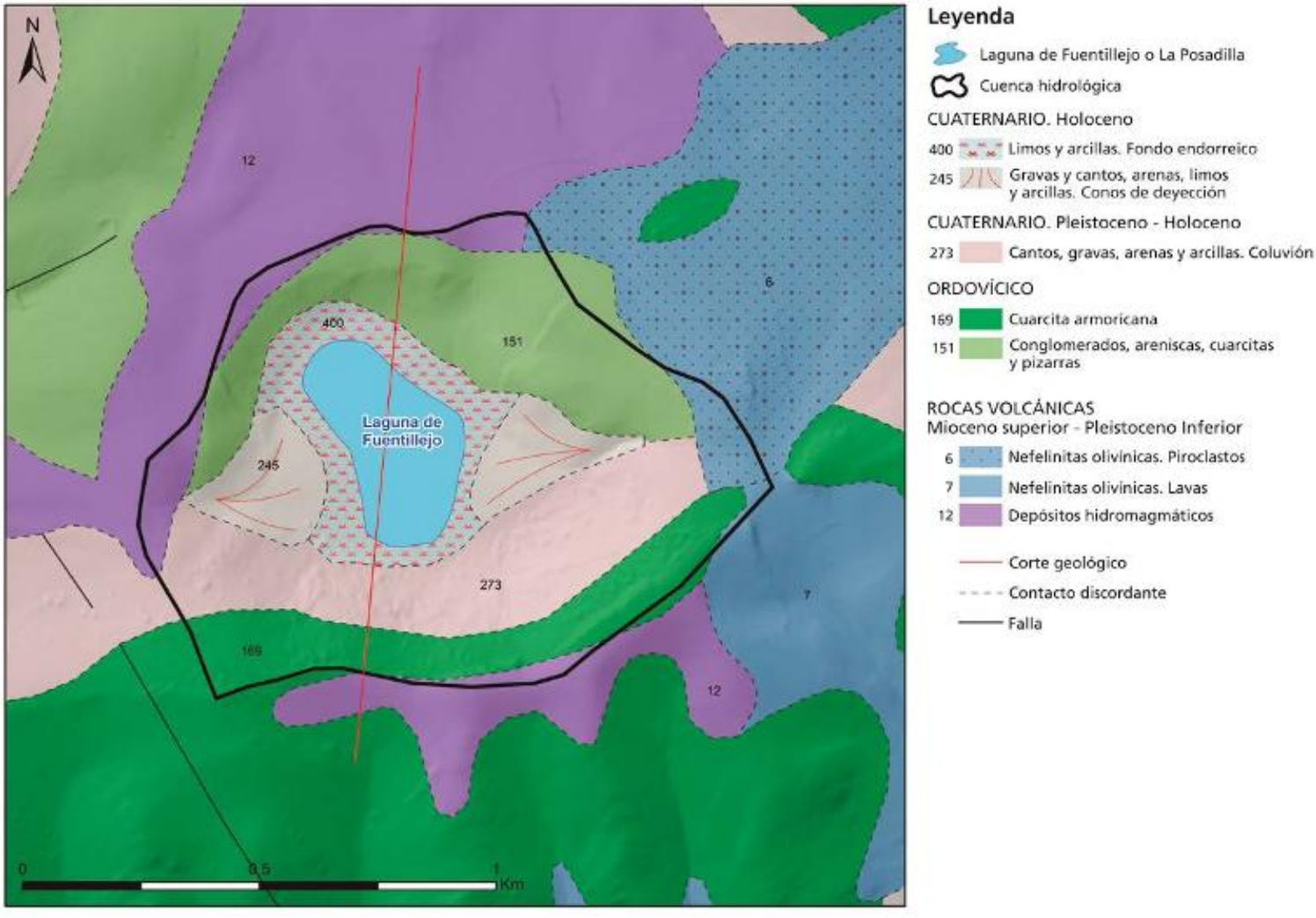


Figura 9.9. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de Fuentillejo (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Baquedano y C. Camuñas)

del basamento varisco del Ordovícico inferior, dando lugar a cráteres de morfología irregular y laderas interiores abruptas con desniveles de más de 100 m, que condicionan las cuencas lacustres interiores con una morfología de tipo embudo y gran profundidad (Martín-Serrano *et al.*, 2009). Desde su origen, la cuenca lacustre ha sido un sistema cerrado, con tres abanicos aluviales o conos de deyección principales que han aportado material detrítico (cuarcitas, basaltos, basanitas, nefelinitas y fragmentos piroclásticos) al interior de la laguna.

Sin duda, el rasgo geológico más significativo de este cráter es que contiene un registro sedimentario lacustre de 142,4 m de espesor, que se ha recuperado con un sondeo de testigo continuo (sondeo FUENT-1) en el año 2002 (Figura 9.10). Este registro ha sido investigado para establecer el paleoclima del Cuaternario en el centro peninsular, que tiene una edad estimada en su base de 850.000 años antes del presente (BP) según los estudios paleomagnéticos y las dataciones realizadas (Vegas *et al*., 2004). El nivel del agua en la laguna ha dependido fundamentalmente del balance entre precipitación y evaporación, sin evidencias de aporte por aguas subterráneas.

El comienzo de la sedimentación, una vez que finalizó la erupción, estuvo dominado por grandes aportes detríticos, que corresponden con los episodios erosivos de las laderas interiores del cráter. La sedimentación continuó en un ambiente lacustre profundo, con la decantación de laminitas en un fondo anóxico. Se produjo un gran cambio en la dinámica y la química lacustre, con la sedimentación de ritmitas de color negro y elevado contenido en materia orgánica por la gran acumulación de restos orgánicos y la formación de carbonatos dentro del lago. Este periodo se interrumpió por un proceso erosivo muy marcado en la cuenca de drenaje. La sedimentación continuó en el ambiente profundo, con formación de láminas en un fondo anóxico de nuevo. Hacia la mitad del registro sedimentario hay una unidad evaporítica que supone un cambio drástico en la sedimentación, que es indicativa de condiciones de elevada salinidad y la disminución brusca de la lámina de agua con precipitación de

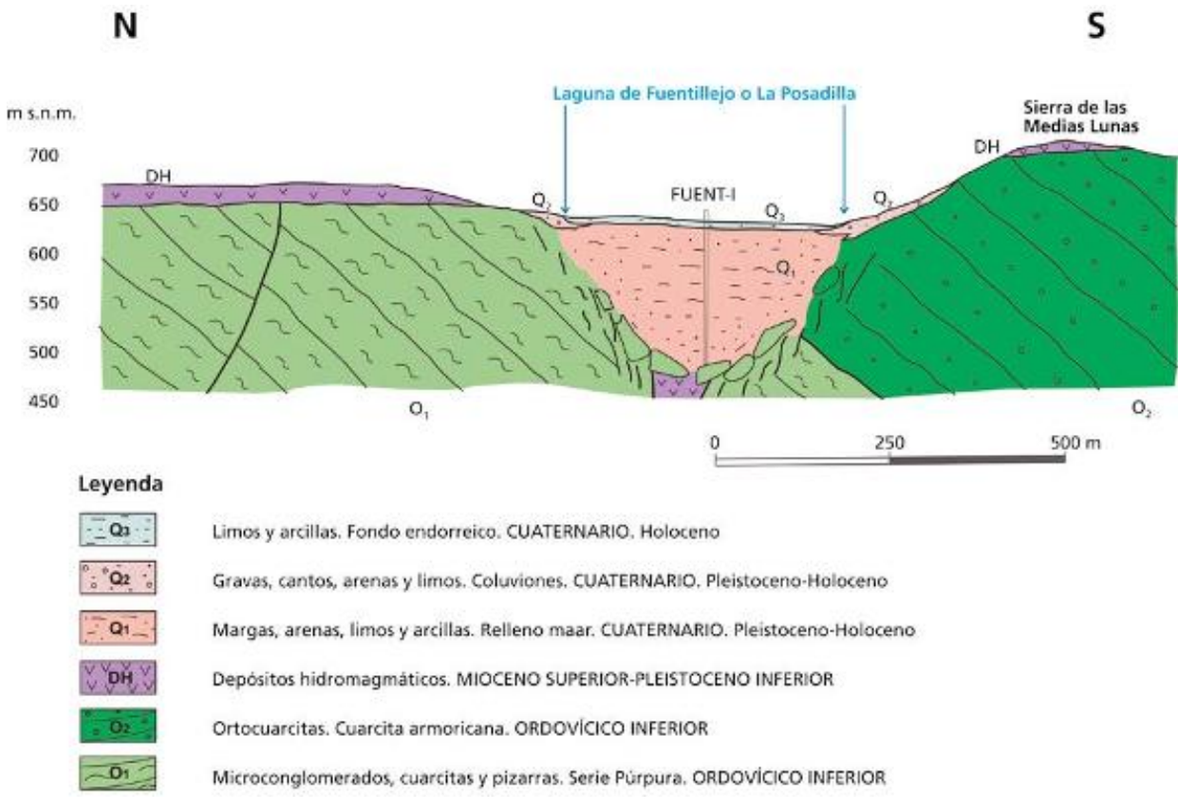


Figura 9.10. Corte geológico de la laguna de Fuentillejo o La Posadilla

minerales como nahcolita, magnesita y dolomita. La laguna sería bastante somera e, incluso, se desecaría periódicamente.

Una vez superado ese episodio salino la laguna sufre un cambio brusco y rápido hacia aguas más profundas, con un incremento del nivel del lago favorecido por un clima mucho más húmedo y templado. Los sedimentos de esta unidad están finamente laminados y la formación de una potente capa de sapropel negro (20 m) que indica un medio lacustre profundo meromíctico. Estas facies anóxicas profundas se formarían bajo una estratificación perenne y una elevada salinidad que favorecerían la preservación excepcional de la materia orgánica. Las unidades superiores y más modernas del registro corresponden con una sedimentación que va siendo progresivamente de medios lacustres poco profundos, que cubren aproximadamente los últimos 46.000 años, durante los cuales hay una alternancia de periodos lacustres con periodos palustres, marcados por la disminución en la lámina de agua y frecuentes exposiciones subaéreas del fondo de la laguna (Figura 9.11).

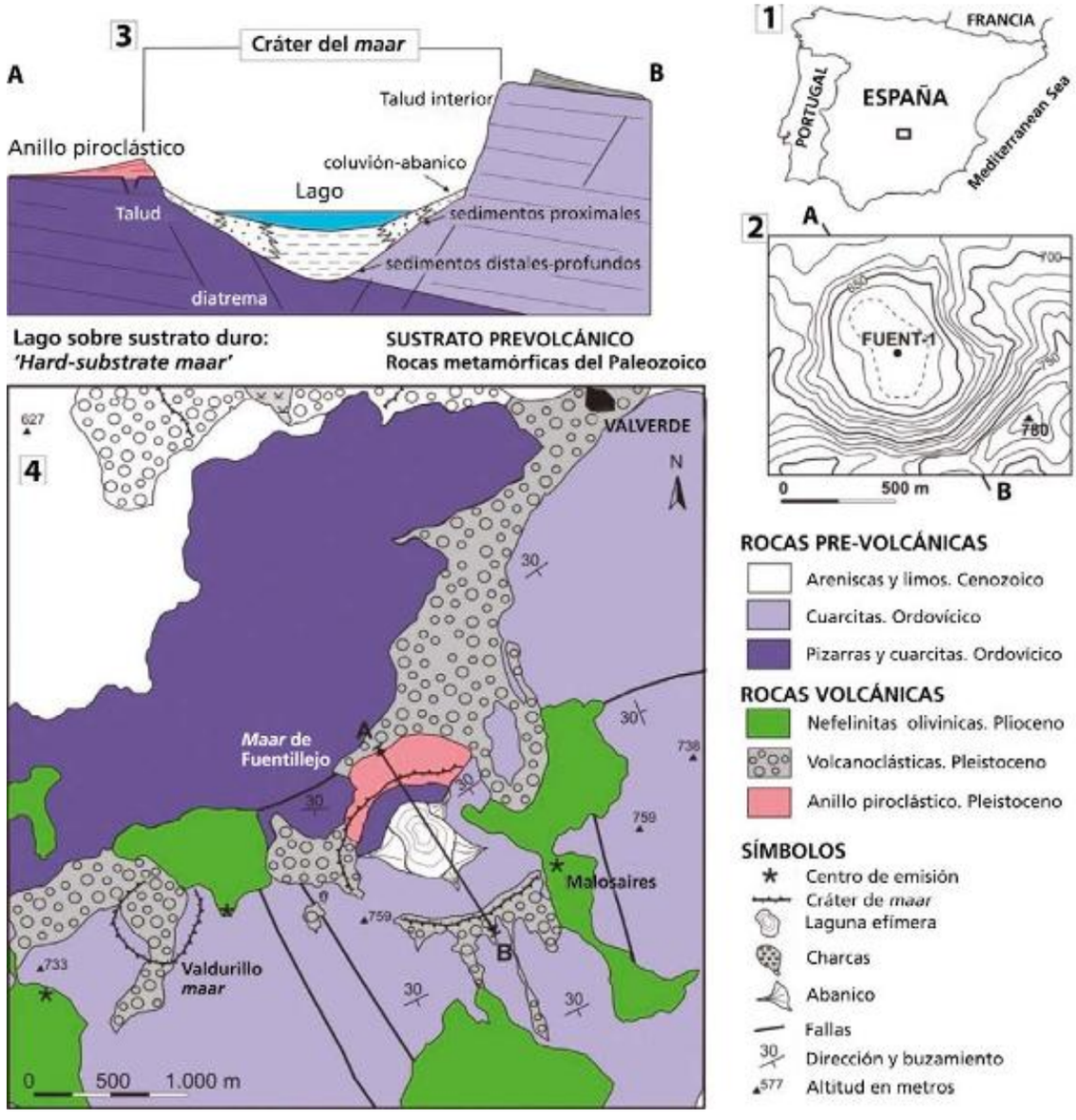


Figura 9.11. Diagrama representativo del maar *de Fuentillejo (Vegas* et al.*, 2013)*

Hidrogeología

En la cuenca hidrológica que vierte sus aguas a la laguna de Fuentillejo afloran materiales de naturaleza y comportamiento desigual, así como con un lapso temporal muy dilatado, perteneciendo los sedimentos más antiguos al Ordovícico inferior y los más modernos al Cuaternario, que se ubican en la franja central de esta cuenca, dejando las zonas más altas topográficamente a los materiales ordovícicos en los bordes norte y sur. Las rocas volcánicas quedan circunscritas a pequeños afloramientos en el límite de cuenca (Figura 9.9).

En cuanto a su comportamiento hidrogeológico (Tabla 9.6), cabe señalar que son abundantes los afloramientos de materiales con permeabilidad media (Tipología B: 48%), compuestos por cantos, gravas, arenas y limos del Cuaternario que constituyen los conos de deyección y los coluviones, así como por los afloramientos rocosos de cuarcita armoricana. En el flanco norte de la cuenca afloran las formaciones con permeabilidad baja (Tipología C: 32%) constituidos por los depósitos hidromagmáticos y las rocas volcánicas del Mioceno superior-Pleistoceno inferior y por los conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras del Ordovícico. Por último, Los materiales calificados como impermeables (Tipología D: 20%) aparecen en menor proporción y están representados por limos y arcillas cuaternarios del fondo endorreico.

El zócalo sobre el que se dispone la laguna de Fuentillejo está constituido por materiales paleozoicos de importante espesor. Aunque se encuentra en la actual masa de agua subterránea de Campo de Calatrava, desde su origen ha sido un sistema lacustre cerrado, con tres abanicos aluviales principales que han aportado material siliciclástico y volcánico. De esta forma, el nivel del agua en la laguna depende fundamentalmente del balance entre la precipitación y la evaporación y no hay evidencias de aporte por aguas subterráneas, pero en el caso de existir, procederían de algún pequeño acuífero local que pudiera ser de cierto interés; a este respecto, la cuarcita armoricana es una formación susceptible de constituir este tipo de acuífero por fisuración.

Por todo esto, este sistema lacustre es muy sensible a los cambios en el balance hidrológico regional y se han inferido para el pasado mediante indicadores de tipo físico, geoquímico, sedimentario, polínico y con biomarcadores (Ruiz-Zapata *et al*., 2008; Galán *et al*., 2009; Vegas *et al*., 2010; Moreno, 2012; Ortiz *et al*., 2013).

Hidroquímica

Las aguas de la laguna son alcalinas, con un pH entre 8,7 y 9,9, e hiposalinas, presentando una conductividad eléctrica (CE) variable entre 3,40 y 4,68 mS/cm (González-Cárdenas *et al*., 2002; Vegas *et al*., 2006).

En junio de 2004 se tomó una muestra de agua de la laguna de la Posadilla incluida en un informe del Instituto Geológico y Minero de España (actual CN IGME-CSIC). Se analizó en los laboratorios de esta institución y el análisis presenta un valor de la CE de 2.005 µS/cm y un pH en la laguna de 8,70. Los cationes analizados en la muestra son: Na^{+}: 384 mg/L, K^{+}: 41 mg/L, Mg^{2+}: 23 mg/L y Ca^{2+}: 15 mg/L y los aniones: HCO_3^{-}: 616 mg/L, Cl^{-}: 310 mg/L, CO_3^{2-}: 36 mg/L, SO_2^{4-}: 27 mg/L.

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS

Formación geológica	Edad	Tipología	%
Cuarcita armoricana	Ordovícico	B	
Cantos, gravas, arenas y arcillas	Pleistoceno-Holoceno	B	48
Gravas y cantos, arenas, limos y arcillas	Holoceno	B	
Conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras	Ordovícico	C	
Nefelinitas olivínicas. Piroclastos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	32
Nefelinitas olivínicas. Lavas	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	
Depósitos hidromagmáticos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	
Limos y arcillas	Cuaternario	D	20

Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)

Tabla 9.6. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de Fuentillejo

Estos datos condicionan que la facies hidroquímica en la laguna sea bicarbonatada-clorurada sódica (Figura 9.12).

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 3/2023, de 10 de enero), por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, se exponen en la Tabla 9.7.

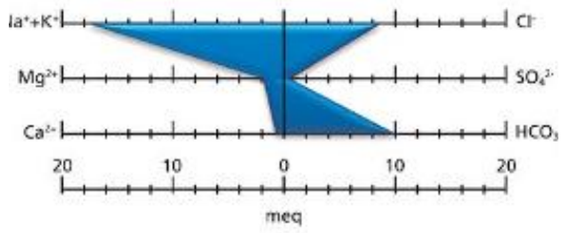


Figura 9.12. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna de Fuentillejo. Fecha de muestra: junio de 2004

		FECHA DE TOMA		JUNIO 2004	VALORES PARAMÉTRICOS FIJADOS EN EL R.D. 3/2023
	PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	*VALOR DE LA ANALÍTICA* LAGUNA	
Parámetros químicos	Nitrato	NO_3	mg/L	5	50
	Nitrito	NO_2	mg/L	0,74	0,50
Parámetros indicadores	Amonio	NH_4	mg/L	0,73	0,50
	Cloruro	Cl	mg/L	310	250
	Conductividad	CE	µS/cm	2.005	2.500
	pH	-	Ud de pH	8,70	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	384	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	27	250

Tabla 9.7. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano (en rojo los valores que superan los umbrales establecidos para consumo humano como agua potable)

Balance hídrico

La determinación del balance hídrico de la laguna de La Posadilla, tal y como se expone en el capítulo 6, en el que se desarrolla la metodología seguida para su estimación, se ha basado en el cálculo de los balances de entradas y salidas de agua al sistema a nivel diario. Las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento y a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (94,12 ha). No deberían existir entradas subterráneas asociadas a acuíferos colindantes, dado que el nivel piezométrico se encuentra habitualmente a más de 20 m por debajo del vaso de la laguna. En cuanto a las salidas, al tratarse de una cuenca endorreica, son debidas exclusivamente a evapotranspiración.

Según lo expuesto, el balance hídrico de la laguna puede quedar simplificado en la siguiente expresión, cuyos términos deberán ser determinados:

$$\Delta V_t = PPD_t + ESC_t - EVP_t$$

donde,

ΔV_t *variación del volumen de agua en el intervalo t*
PPD_t *precipitación directa en la lámina de agua*
ESC_t *escorrentía superficial a la laguna*
EVP_t *evaporación en la lámina de agua libre*

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del MDT, con tamaño de celda de 5x5 m, del Centro Nacional de Información Geográfica. El procesamiento de toda esta información ha permitido relacionar la superficie de la lámina libre con el volumen total de agua acumulada en la laguna según distintos niveles de profundidad en intervalos centimétricos (Figura 9.13).

La evaporación en mm de la lámina de agua libre, establecida en cada momento por la curva hipsométrica, se ha calculado a nivel diario mediante la expresión de Penman (1948) a partir de las series de temperatura máxima y mínima, radiación solar y velocidad media del viento de la estación climática 4121 (Ciudad Real). Esta evaporación se ha aplicado a la superficie inundada

calculada diariamente, aunque se tienen que tener en cuenta las diferencias entre la situación de la estación meteorológica y la propia laguna, con los relieves circundantes.

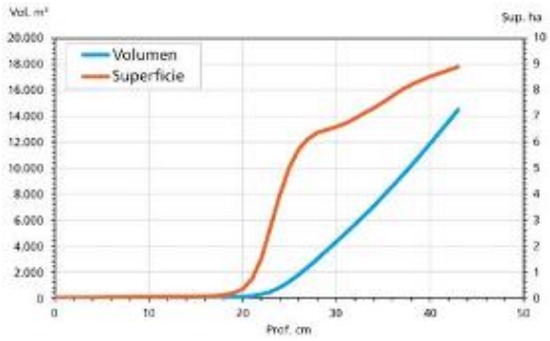


Figura 9.13. Curvas hipsométricas en el vaso de la laguna La Posadilla. Relación entre profundidad, volumen almacenado y superficie de la lámina de agua

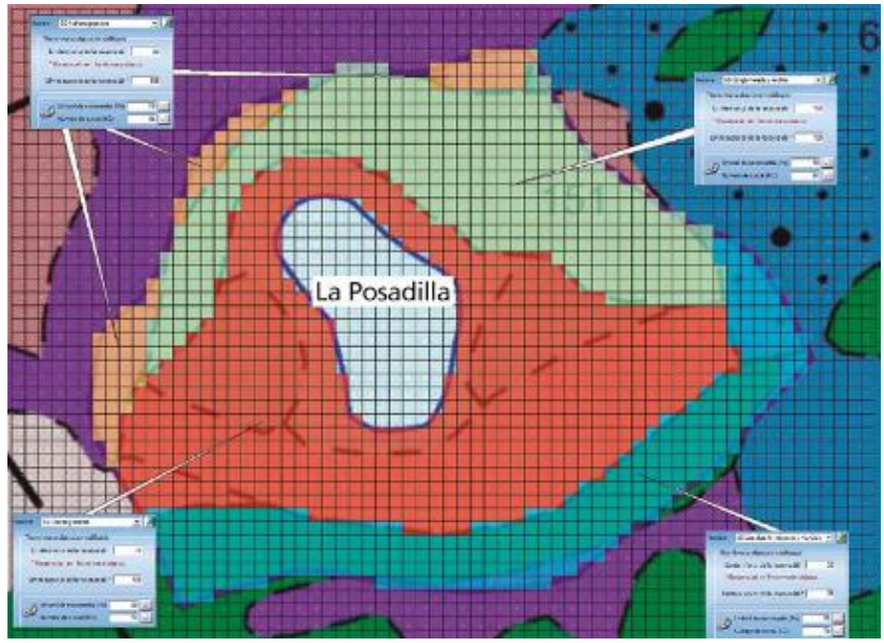


Figura 9.14. Modelo RENATA de la laguna de La Posadilla para el cálculo de la escorrentía superficial. Los parámetros del suelo asignados se exponen en los cuadros azules

Para determinar el balance hídrico de la laguna se ha diseñado un modelo de la superficie vertiente con la aplicación RENATA, discretizada en celdas de 25x25 m (Figura 9.14). Para obtener la lluvia útil se ha utilizado el método del balance hídrico del suelo de Thornthwaite, a nivel diario, modificado por G. Girard. La escorrentía superficial que accede al humedal, cifrada en 348 m^3/a, se ha calculado por el método racional a partir del número de curva (NC) del USSCS, y para la evapotranspiración se ha aplicado el de Hargreaves, con las series diarias de temperatura máxima y mínima de Ciudad Real (4121) y con la precipitación la de la estación de Poblete (4135). El valor de los parámetros asignados (Tabla 9.8 y Figura 9.14) se ha obtenido a partir de las características de las distintas formaciones geológicas aflorantes en la cuenca, contrastados con las características hidrológicas de la zona, así como de los empleados para la estimación de la escorrentía superficial en otras lagunas del Campo de Calatrava.

LITOLOGÍA	SUPERFICIE ha	PARÁMETROS	ESCORRENTÍA m^3/a
Gravas y arenas pliocuaternarias	40,46	RU_{min} = 75 mm RU_{max} = 100 mm P_0 = 20 mm NC = 72	73
Cuarcitas armoricanas y pizarras con carbonatos	17,87	RU_{min} = 50 mm RU_{max} = 75 mm P_0 = 20 mm NC = 72	89
Conglomerados y areniscas	22,15	RU_{min} = 100 mm RU_{max} = 125 mm P_0 = 10 mm NC = 84	144
Rocas hidromagmáticas	4,58	RU_{min} = 85 mm RU_{max} = 115 mm P_0 = 10 mm NC = 84	42
Vaso impermeable(*)	9,06		
Total	94,12		348

** Contemplada en la precipitación directa caída sobre la lámina de agua*

Tabla 9.8. Estimación de la escorrentía superficial de la laguna de La Posadilla. Parámetros utilizados y resultados (periodo 1972 a 2021)

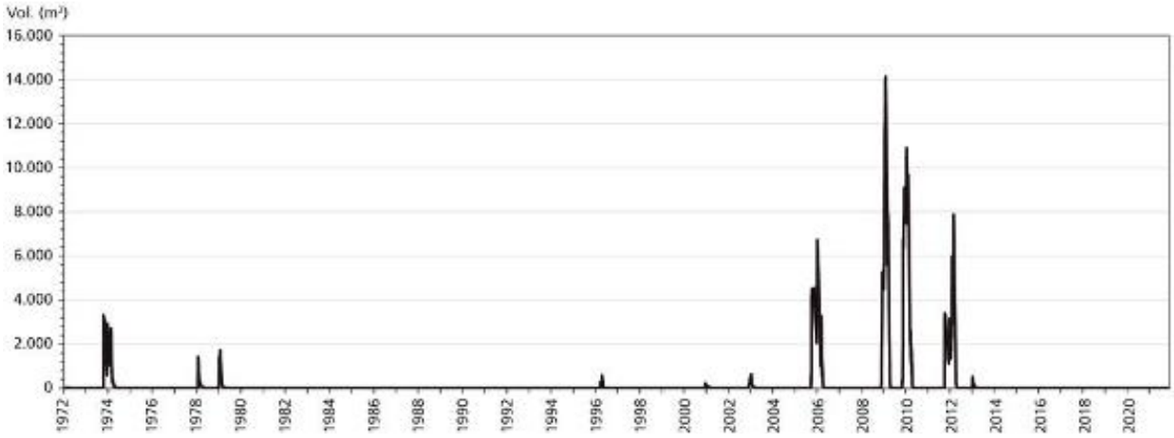


Figura 9.15. Volumen almacenado en la laguna simulado y medido (periodo 1972 a 2021)

Determinación del balance hídrico

Los resultados muestran que, al recibir solo aportes de la escorrentía superficial y de la precipitación caída directamente sobre la lámina de agua, y al ser la cuenca vertiente tan pequeña, esta laguna estaría seca o casi seca durante la mayor parte del tiempo (Figura 9.15).

De la simulación realizada se obtiene que el volumen medio almacenado en el vaso de la laguna es de unos 195 m³, menos de 1 ha inundada, pero más del 90% del tiempo el humedal se encontraría seco o casi seco (Figura 9.16). Solo tendría agua en aquellos años especialmente lluviosos, y durante un breve periodo de tiempo, como es el caso del invierno del año 2010.

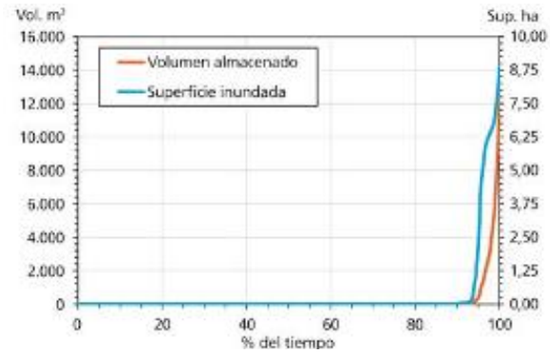


Figura 9.16. Distribución temporal (en %) de la superficie inundada y del volumen almacenado en la laguna de La Posadilla

El balance hídrico medio anual obtenido indica que la laguna se alimenta principalmente de la precipitación directa caída sobre la zona inundada, cifrada en 1.980 m³/a, equivalente al 85% de su alimentación y, de manera casi testimonial por la escorrentía superficial, que en este caso es de tan solo 348 m³/a, correspondiente al 15% restante. En cuanto al volumen de las salidas, 2.328 m³/a, se producen en su totalidad por evapotranspiración (Tabla 9.9 y Figura 9.17).

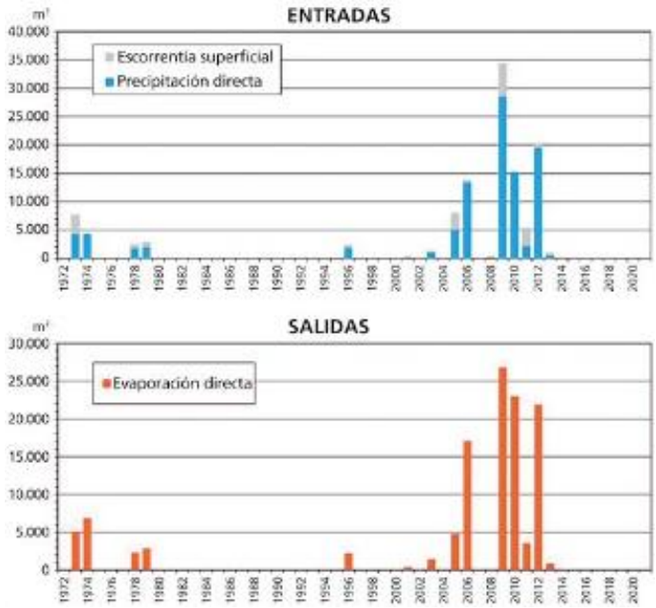


Figura 9.17. Balances hídricos anuales de la laguna de La Posadilla

PRECIPITACIÓN MEDIA mm	CUENCA VERTIENTE km²	ENTRADAS m³		SALIDAS m³
		Precipitación directa	Escorrentía superficial	Evaporación directa
404	0,94	1.980	348	2.328
		85%	15%	100%

Tabla 9.9. Balance hídrico medio anual (periodo 1972 a 2021)

Evolución visual del territorio

Las imágenes aéreas de Fuentillejo (Figura 9.18) reflejan una evolución lenta, sin cambios morfológicos notables en la cuenca de la laguna. El cambio más evidente es el que presenta la vegetación, que muestra una mayor densidad en las laderas naturales interiores del cráter volcánico del conjunto arbóreo y arbustivo. Esta vegetación coloniza incluso los canchales de la vertiente sur. Este hecho se debe fundamentalmente a su declaración como Monumento Natural en 1999 y a la evidente disminución del pastoreo en las inmediaciones de la laguna. El perímetro de la laguna mantiene estable la vegetación típica del litoral lacustre. Desde 2014 la laguna está vallada y restringido su acceso, cuestión que ha generado polémica entre diversos sectores de la población.

Las transformaciones más importantes en el entorno se observan fuera del vaso de la laguna, con cambios en los usos del suelo y la distribución de parcelas agrícolas. Es notable el abandono del olivar en la segunda mitad del siglo XX y como se ha recuperado a partir del año 2000.

Las figuras 9.19 a 9.23 muestran el estado de la laguna en diversas épocas y periodos. 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. Desde el año 2013 la zona sufre un evento climático seco donde las precipitaciones anuales se encuentran por debajo de la media y la laguna se encuentra seca durante largos periodos de tiempo.



Figura 9.18. Foto aérea comparativa del vuelo americano 1956-1957 y la ortofoto PNOA 2018 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 9.19. Perímetro lagunar en el invierno de 2022 (C. Camuñas, STA CN IGME-CSIC)



Figura 9.20. Lámina de agua en marzo de 2007 (J. Vegas)



Figura 9.21. Vegetación circundante en periodo estival. Agosto de 2010 (J. Vegas)



Figura 9.22. Panorámica de la laguna en septiembre de 2022, sin lámina de agua (L.A. Carreño)





Figura 9.23. Panorámica desde el flanco este de la laguna en agosto de 2022 (C. Camuñas)



Capítulo 10

Laguna del Prado

Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro
Miguel Mejías Moreno





10. LAGUNA DEL PRADO

Situación geográfica y accesos

El municipio de Pozuelo de Calatrava se sitúa a 11 km al sureste de la capital provincial. Al norte de la población se ubica la laguna del Prado (Figura 10.1), también conocida como *La Inesperada*, con unas coordenadas aproximadas de su punto central X: 427.710, Y: 4.308.175 (UTM ETRS89 H30) y una cota de 620,4 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

Al igual que otros humedales su acceso es libre y sencillo, ya que la carretera CM-412, que une Ciudad Real



Figura 10.1. Situación geográfica de la laguna del Prado (hoja 785 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

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 extremo sureste 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, como el paseo del Prado, la avenida de la Laguna o la 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

La laguna del Prado es un humedal salino, estacional y de origen volcánico. Tiene un perímetro de 2,92 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 10.2), localización que ha propiciado el vertido de basuras y escombros en sus orillas.

El vaso lagunar tiene una superficie de 45,53 ha y cuenta con numerosas islas de escaso diámetro (Figura 10.3) que se inundan cuando la laguna está llena. La única excepción es la isla central, que al ser de mayor dimensión se eleva sobre la zona inundable, además está conectada con la orilla oeste por una especie de dique producto de la acción humana, que también llega a inundarse.



Figura 10.2. Vaso lagunar de la laguna del Prado (ortofoto PNOA 2018. Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 10.3. Islas no inundadas en diciembre de 2022 (C. Camuñas, STA CN IGME-CSIC)

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.

Historia y cultura

Uno de los primeros asentamientos en las proximidades del humedal se corresponde con la motilla de la dehesa del Acebuche, yacimiento arqueológico perteneciente a la Cultura de las Motillas de la Edad del Bronce de La Mancha, situada entre el camino de Pozuelo de Calatrava y Almagro. El entorno de la laguna 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.

En el siglo XIII la población de Pozuelo de Calatrava era una aldea de Almagro y ya tenía el nombre de Pozuelo, debido a la existencia de un punto de agua subterránea en el camino de Alarcos a Almagro. Durante la época musulmana dependió jurisdiccionalmente de Calatrava, junto, al menos, con Miguelturra, según consta en su Carta Puebla de 1231, y es en dicha Carta donde aparece por primera vez documentado el nombre de Pozuelo. En 1445 fue creada la Encomienda de Pozuelo, aunque todavía dependiendo de la Mesa Maestral.

Desde 1637 es una Visita General la que aporta datos sobre la dehesa de Villafranca, dependiente de la Clavería, la cual debía quedar incorporada al término del Pozuelo al ser elevada a villa en el siglo XV, que cita textualmente: *"comprende cuatro millares de pasto y labor en el Camino de Ciudad Real a Calzada, lindando con dehesas de La Puebla del término de Ciudad Real, y atraviesa el río Jabalón, el que sigue hasta la llamada Torre de Villafranca, incluyendo su pesca y molinos"*.

Asociada a la historia del municipio, también se encuentran referencias documentales de la laguna, 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.

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".

Madoz (1846-1850) menciona someramente las dos lagunas del municipio y sus ríos, al referirse a las aguas de Pozuelo de Calatrava: *"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 a 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, relacionada con la actividad volcánica remanente del Campo de Calatrava, cargadas de dióxido de carbono, conocidos en la toponimia local como *hervideros*, ya que este gas, 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. 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).

Las propiedades físico-químicas de las aguas de la laguna del Prado hicieron que 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 para los que se recomendaba su ingesta (Figura 10.4).



Figura 10.4. Detalle de la etiqueta de la botella donde se recoge su composición, premios y la dosis según la dolencia (Fondo documental del Excmo. Ayuntamiento de Pozuelo de Calatrava)

La fuente y baños de La Inesperada fueron descubiertos a mediados del siglo XIX al hacer trabajos de excavación para la extracción de sales. Tal como recoge el Dr. Salvador (1883) (Figura 10.5) 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 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 del Dr. 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, bléfaro conjuntivitis y en algún caso reumatismo articular agudo. Se observó 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 10.6).

Espacio de educación ambiental

En su historia reciente, la laguna del Prado ha recibido aportes tanto de aguas residuales urbanas sin depurar como 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

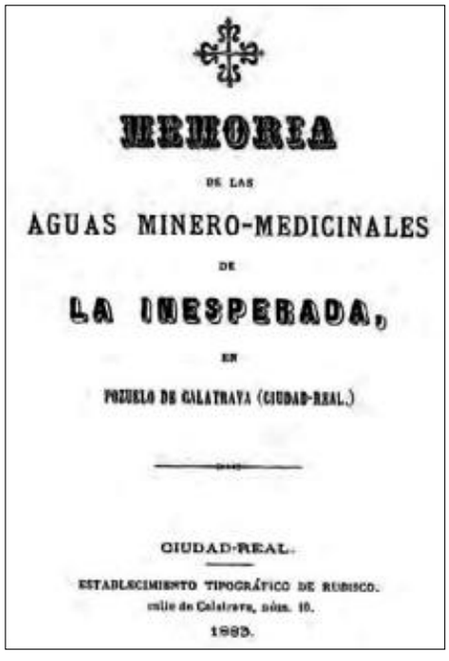

MEMORIA
DE LAS
AGUAS MINERO-MEDICINALES
DE
LA INESPERADA,
EN
POZUELO DE CALATRAVA (CIUDAD-REAL.)
CIUDAD-REAL.
ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO DE RUBIOSO.
calle de Calatrava, núm. 16.
1883.



Figura 10.5 (a la izquierda). Portada de la memoria de las aguas minero-medicinales de La Inesperada realizada por el Dr. Mariano Salvador Gamboa en 1883 (Fondo documental del Excmo. Ayuntamiento de Pozuelo de Calatrava)

Figura 10.6 (a la derecha). Botella de agua mineral La Inesperada (L.A. Carreño)

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.

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", 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. Se estructura en cuatro zonas bien diferenciadas: un módulo cultural, una zona de observación de aves (Figura 10.7) caminando por pasarelas, el módulo de biodiversidad y la propia laguna.

Contexto socioeconómico

El municipio de Pozuelo de Calatrava cuenta con una población de 3.629 habitantes, 1.856 hombres y 1.773 mujeres (INE, 2022). Tiene una extensión de 99,67 km^2, lo que supone una densidad de 36,41 hab/km^2. En el año 1990 la población alcanzaba los 2.341 habitantes y desde entonces, el número de habitantes se ha ido incrementando lentamente hasta la cifra citada para el año 2022.

El sector servicios actúa como motor de la actividad económica (Tabla 10.1) con un 48,28% de las empresas. Le sigue la industria y la agricultura con un 21,55% y un 19,83%, respectivamente, mientras que el 10,34% restante corresponde a la construcción. En este sentido, los trabajadores afiliados al sector servicios son los más numerosos con un 43,94%, seguidos por los del sector industria, con un 33,33%, siendo los afiliados a la agricultura y la construcción los de menor cuantía, con un 13,64% y 6,93% respectivamente.



Figura 10.7. Interior del Centro de Interpretación del Agua Volcánica "La Inesperada" (C. Baquedano)

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	126	*13,64*	23	*19,83*
Industria	308	*33,33*	25	*21,55*
Construcción	64	*6,93*	12	*10,34*
Servicios	406	*43,94*	56	*48,28*
No consta	20	*2,16*	0	*0,00*
TOTAL	**924**	***100***	**116**	***100***

Tabla 10.1. Empresas y afiliación en Pozuelo de Calatrava (Tesorería General de la Seguridad Social, 2021)

La evolución ocupacional entre 2017 y 2022 (Tabla 10.2) presenta una estabilización en los cinco primeros años de este periodo y un notable descenso en los datos correspondientes al 2022.

AÑO	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Nº de parados	427	439	404	415	413	356

Tabla 10.2. Desempleados en Pozuelo de Calatrava (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha, SEPE)

Desde el punto de vista de la superficie agrícola utilizada (SAU), según el censo agrario del año 2020 (Tabla 10.3), el 86,9% de la SAU está ocupada por cultivos, en los que predominan los herbáceos (47,8%), seguido de los leñosos (37,7%), siendo casi testimonial la presencia de los frutales (1,4%). La mayor parte de las explotaciones agrarias son de pequeño tamaño, de menos de 6 ha, con 70 explotaciones de entre 1 y 5 ha. De 5 a 10 ha hay 36 predios, de 10 a 20 ha, 35, de 20 a 50 ha 38 superficies y de más de 50 ha hay 29.

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	**6.561**	3.606	*86,9*	*47,8*
	Frutales		106		*1,4*
	Leñosos		2.849		*37,7*
Pastos		**226**		*3,0*	
Otras		**755**		*10,1*	
TOTAL		**7.542**		***100***	

Tabla 10.3. Explotación agraria y forestal en Pozuelo de Calatrava (Censo Agrario 2020, INE)

Como dato económico relevante se tiene que el último presupuesto del consistorio municipal (2021) ascendió a la cantidad de 2.797.691 €.

Normativa específica y figuras de protección

En el año 1987 la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (JCCM) adquirió la compra de 50 ha del entorno lagunar, el resto es propiedad del Excmo. Ayuntamiento de Pozuelo de Calatrava y de algunos vecinos de la localidad. Cuenta con varias figuras de protección de distintos ámbitos (Tabla 10.4).

En primer lugar, está incluida dentro de la Lista del Convenio de Ramsar de Humedales de Importancia Internacional desde marzo de 1993; en segundo lugar, también está protegida por las figuras jurídicas de ámbito europeo incluida en la Red Natura 2000, formando parte de la Zona de Especial Conservación (ZEC) "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava", Decreto 26/2015, de 7 de mayo (DOCM, 2015a), anteriormente designada Lugar de Importancia Comunitaria (LIC), cuyo Plan de Gestión fue elaborado en el año 2015, Orden de 7-5-2015, por la Dirección General de Montes y Espacios Naturales de la Consejería de Agricultura de la JCCM, pasando a ser ZEC.

A nivel autonómico, Castilla-La Mancha declaró la laguna como Refugio de Caza por Decreto 65/1988 (DOCM, 1988) y, posteriormente, en 1993, con la aprobación de la Ley de Caza por el Gobierno de Castilla-La Mancha, se reclasificaron todos los Refugios de Caza como Refugios de Fauna, abordándose la recuperación de los sectores de la cubeta usados ocasionalmente como escombrera.

Años más tarde, se aprobó su Plan de Ordenación de Recursos Naturales por Decreto 238/2004, declarándola Reserva Natural (DOCM, 2004).

Por último, este humedal está incluido en el Inventario Español de Zonas Húmedas con el código IH422063 (BOE, 2019) y catalogado en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico con el código TM139, definido en el contexto de Ley 42/2007 como parte del Vulcanismo Neógeno y Cuaternario de la Península Ibérica (BOE, 2007), al tener interés desde los puntos de vista geomorfológico, estratigráfico e hidrogeológico.

Tabla 10.4. Figuras y herramientas de protección de la laguna del Prado

FIGURAS DE PROTECCIÓN DE LA LAGUNA DEL PRADO
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
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"
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)

Estas figuras de protección han favorecido la mejora del estado de conservación de la laguna, que, como se ha indicado anteriormente, es salina, somera y estacional. El vaso lagunar está ocupado por especies de diferentes hábitats halófilos como *Salicornia ramosissima*, *Suaeda vera*, o juncales salinos de *Elymus curvifolius* (DOCM, 2019), aunque, en los últimos años, persisten en pequeñas áreas aisladas. También presenta una banda externa con formaciones de tarayal en la parte suroeste, que, aunque son procedentes de plantación, se han naturalizado. En el extremo oeste existe una zona ocupada por un pequeño pinar.

En referencia a la avifauna y atendiendo a las observaciones de Gosálvez (2011) esta laguna actuaría como una conexión entre varios de los humedales de la región. Las especies que se encuentran más habitualmente son el flamenco común (*Phoenicopterus roseus*), la gaviota reinora (*Larus ridibundus*) y sombría (*Larus fuscus*) o la focha común (*Fulica atra*), así como distintas especies de anátidas.

Climatología

Las características climáticas de esta laguna se han determinado a partir de los datos suministrados por la AEMET de la cercana estación de Pozuelo de Calatrava (4117), localizada a 624 m s.n.m. Para calcular la evaporación también se han utilizado datos procedentes de otras estaciones del entorno. El análisis se ha realizado a nivel diario para un periodo de 50 años comprendido entre 1972 y 2021.

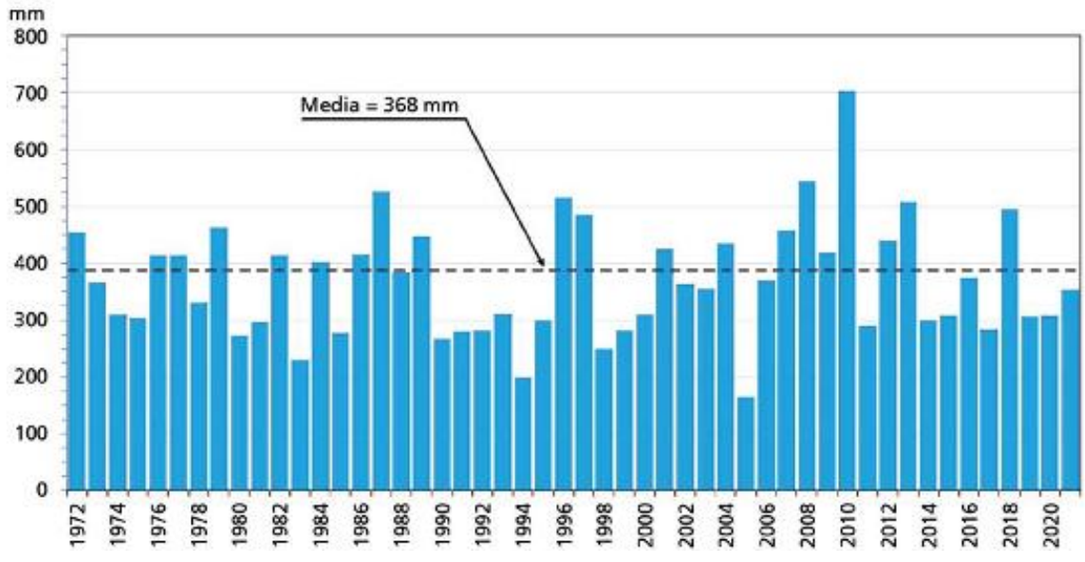


Figura 10.8. Hietograma de la precipitación anual en la estación de Pozuelo de Calatrava (4117)

El hietograma (representación de la intensidad de la lluvia) de su estación más representativa (4117) muestra una precipitación media de 368 mm y una desviación típica de 101 mm (Figura 10.8), lo que implica mínimos en torno a los 164 mm, en el año 2005, y máximos superiores a los 700 mm, en 2010. El diagrama ombrotérmico (representación de la precipitación y temperatura de una estación meteorológica) elaborado con la precipitación de la estación 4117 y la temperatura de la 4121 (Figura 10.9) determina un acusado periodo de estiaje entre junio y septiembre.



Figura 10.9. Diagrama ombrotérmico del año medio

La desviación acumulada de la precipitación anual, respecto a la media de los 50 años de la serie climática, permite diferenciar 3 periodos húmedos, 4 secos y uno de tipo medio (Figura 10.10 y Tabla 10.5). De los periodos húmedos destaca el transcurrido entre los años 2006 a 2013, y de los más secos lo hace el que va desde 1989 a 1995, aunque también es relevante el periodo seco reciente entre 2013 y 2021.

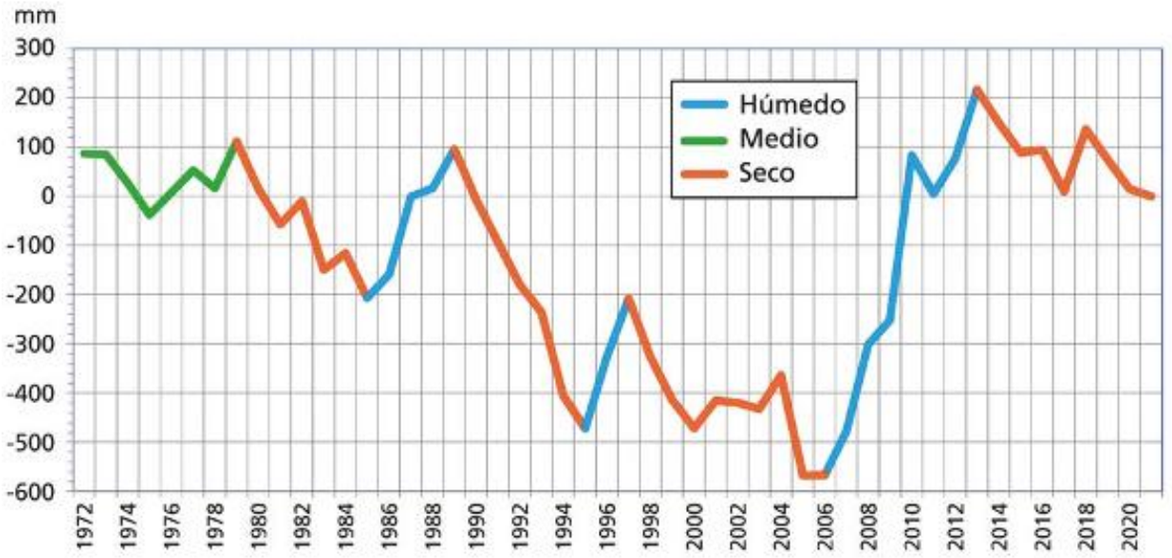


Figura 10.10. Desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media (1972 a 2021)

PERIODO	TIPOLOGÍA CLIMÁTICA	DURACIÓN (AÑOS)	PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN CON RESPECTO A LA MEDIA
1972 a 1979	Medio	8	-
1980 a 1983	Seco	6	14% inferior
1984 a 1987	Húmedo	4	21% superior
1988 a 1995	Seco	6	26% inferior
1996 a 1997	Húmedo	2	36% superior
1998 a 2005	Seco	9	11% inferior
2006 a 2013	Húmedo	7	30% superior
2014 a 2021	Seco	8	7% inferior

Tabla 10.5. Análisis de los diferentes periodos climáticos entre 1972 y 2021

Hidrología

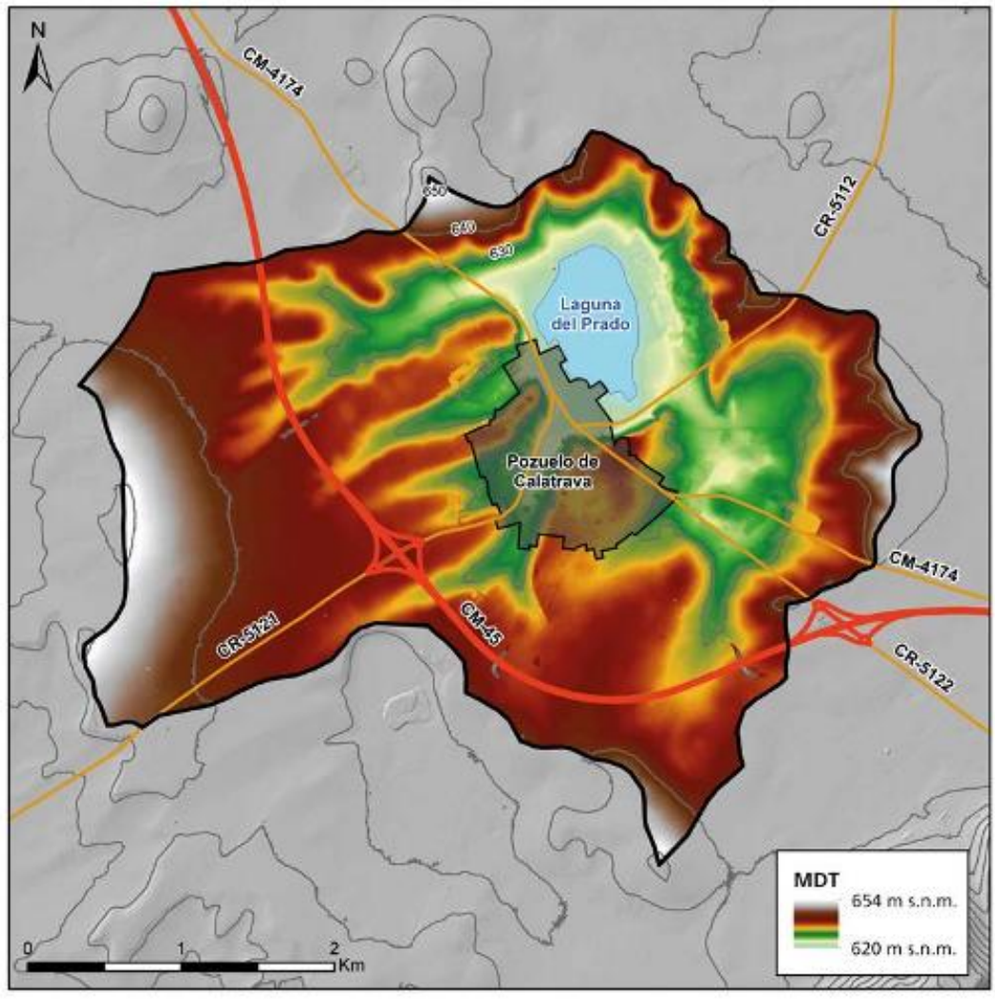
La cuenca hidrológica de la laguna del Prado se sitúa unos 7,2 km al suroeste de la masa de agua superficial del río Jabalón, en la cuenca alta del río Guadiana, y se extiende sobre un territorio de 1.527,01 ha que ocupa parte de los términos municipales de Pozuelo de Calatrava, Miguelturra y Ciudad Real. Su morfología es semiovalada en dirección este-oeste, perpendicular al vaso lagunar actual, con cierto ensanchamiento en la mitad meridional, tanto en su extremo oeste como en el este (Figura 10.11).

El relieve del ámbito territorial descrito es muy suave, por lo que resulta algo complejo determinar sus límites. La altitud media ronda los 634 m s.n.m., con una diferencia de 34 m entre las cotas más elevadas (654 m s.n.m.) en la zona norte, y el fondo de la cubeta del humedal (620 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 centro septentrional de la cuenca, junto al núcleo urbano de Pozuelo de Calatrava y únicamente separada del mismo por la carretera CR-5122. Por otra parte, la superficie máxima inundable es de 45,53 ha, por lo que la superficie total del área vertiente representa más de 30 veces la de la propia laguna, la mayor relación de las lagunas incluidas en esta publicación.

Figura 10.11. Cuenca hidrológica de la laguna del Prado



Geología

El conjunto de formaciones geológicas que afloran en el área vertiente de la laguna del Prado tienen un origen, una naturaleza y una composición variable, que condicionan su comportamiento hidrogeológico. La edad de todos estos materiales es bastante reciente comparándola 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, los más modernos (Figura 10.12).

Este 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 definen formas redondeadas o elípticas.

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

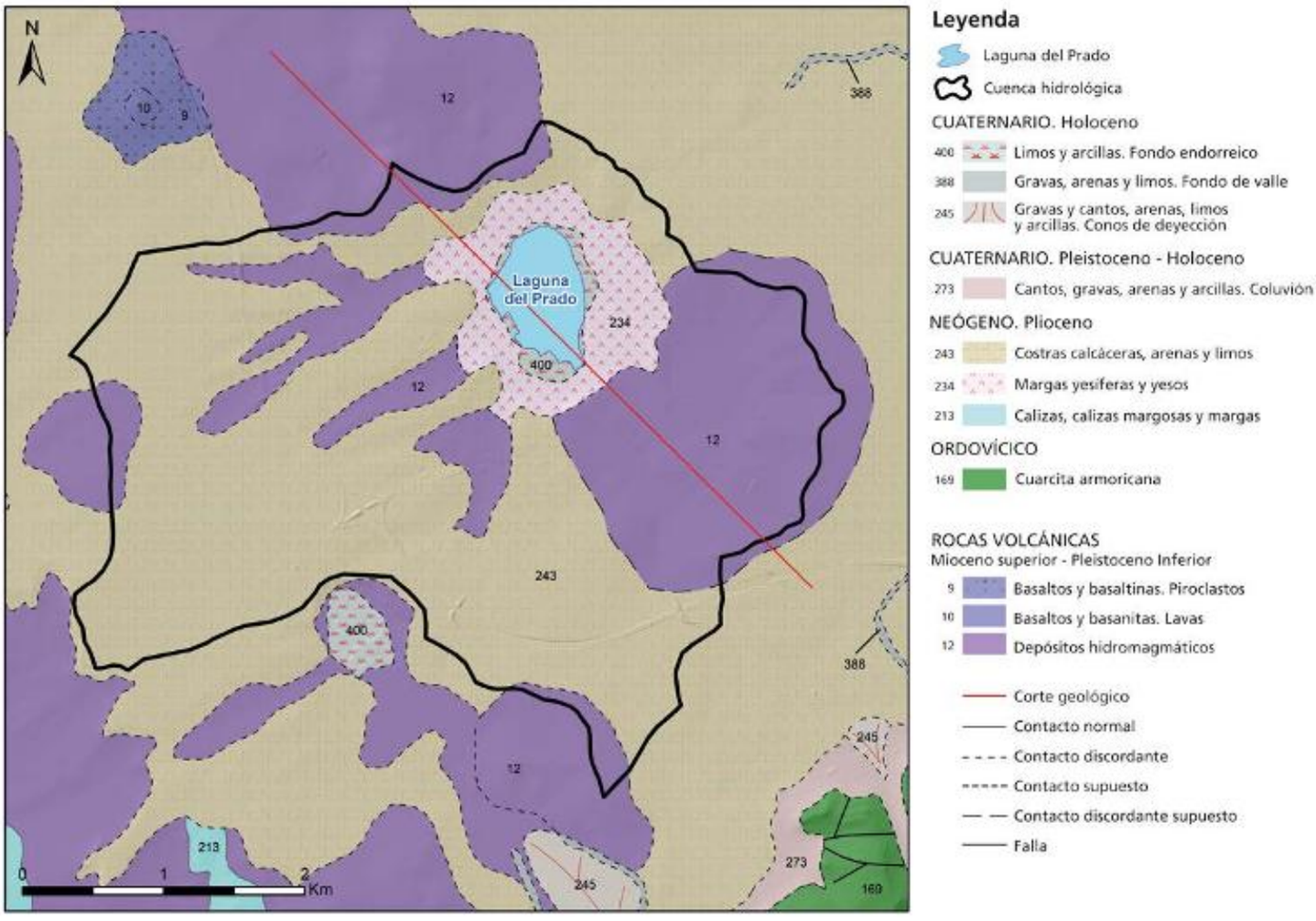


Figura 10.12. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna del Prado (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Baquedano y C. Camuñas)

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 un porcentaje diverso 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, ya que suelen encontrarse recubiertos 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 está formado 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 (Figura 10.13).

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.

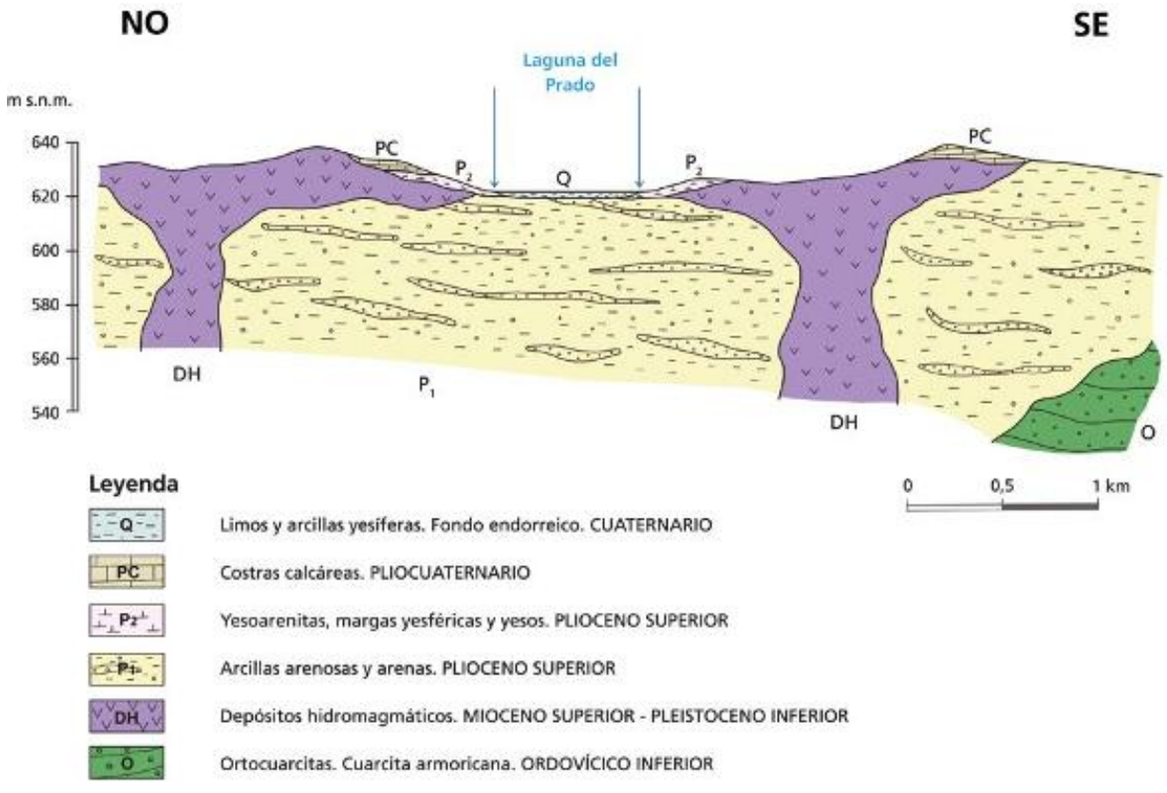


Figura 10.13. Corte geológico de la laguna del Prado

Hidrogeología

Respecto a su comportamiento hidrogeológico (Tabla 10.6), el predominio, con el 88% de la extensión de toda la cuenca, corresponde a los materiales de permeabilidad baja (Tipología C) constituidos por los depósitos hidromagmáticos (Mioceno superior-Pleistoceno inferior) y por las costras calcáreas, arenas y limos del Plioceno. El 12% 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).

La laguna del Prado, a pesar de estar entre dos edificios volcánicos, no responde exactamente a una morfología de tipo *maar*, si bien tiene en común la 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 y, entre ellas, las únicas que presentan ciertas aptitudes hidrogeológicas son las integradas por las arcillas arenosas y arenas (P_1) del Plioceno superior que subyacen al resto de sedimentos, así como las rocas hidromagmáticas. Aunque en conjunto ambas formaciones se comportan como niveles impermeables, sus tramos más detríticos pueden albergar pequeños niveles de agua que son aprovechados por algunos pozos y perforaciones de escaso rendimiento existentes en los alrededores del humedal, especialmente en su flanco oriental. No obstante, 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 muy local (Figura 10.14).

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
Formación geológica	**Edad**	**Tipología**	**%**
Depósitos hidromagmáticos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	88
Costras calcáreas, arenas y limos	Plioceno	C	
Margas yesíferas y yesos	Plioceno	D	12
Limos y arcillas	Cuaternario	D	
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Tabla 10.6. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna del Prado

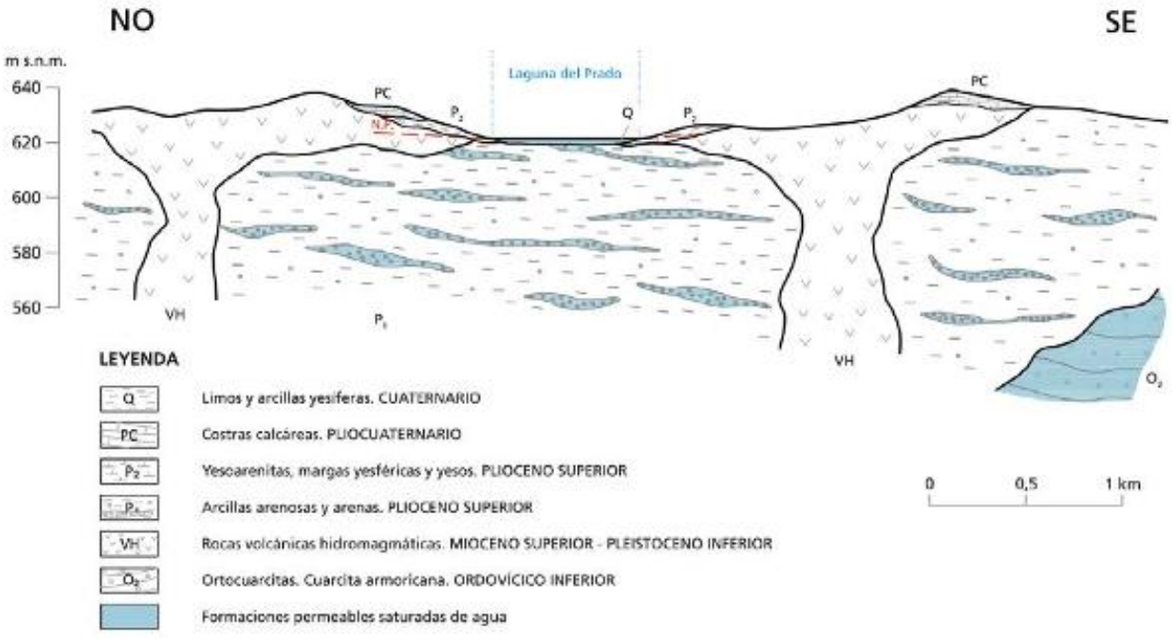


Figura 10.14. Perfil hidrogeológico de la laguna del Prado

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), presentando una pequeña relación hídrica con ésta última.

El resto de las formaciones de la cuenca, pertenecientes al Plioceno y al Cuaternario, aunque puntualmente pueden presentar litologías con cierta permeabilidad, son de escaso espesor y, por lo tanto, 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 responsables de mantener una delgada lámina de agua libre durante una buena parte del año (Figura 10.15). 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 lagunar. 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 durante el año 2014. A este respecto, la CE se sitúa normalmente entre 13.000 y 20.000 µS/cm, con máximos en el periodo controlado durante el proyecto Ecolake (años 2012-2014) de hasta



Figura 10.15. Mapa piezométrico (m s.n.m.) y sentido del flujo subterráneo. Noviembre de 2014 (IGN)

64.400 µS/cm, valor atribuido a los procesos de evaporación que favorecen la concentración de sales (Figura 10.15).

Hidroquímica

En este apartado se incluyen las características hidroquímicas recogidas en Camuñas *et al.* (2018), correspondiente a una muestra de agua tomada en noviembre de 2014, así como la muestra tomada en diciembre de 2022.

La analítica de la muestra tomada en la laguna del Prado en 2014 arroja un valor para la CE de 37.400 µS/cm y un pH de 9,70. Por su parte, la muestra tomada en 2022 aporta una menor mineralización, con un valor de 4.160 µS/cm para la CE y 7,40 de pH. Esta diferencia de conductividad entre ambas muestras se debe a que la segunda se tomó tras unos días lluviosos en los que el agua de la laguna se encontraba mezclada, y por tanto diluida con el agua de lluvia.

En esta misma línea se encuentran los cloruros y los sulfatos. Los primeros presentan un valor de 7.469 mg/L en 2014, y de 168 mg/L en 2022. Por su parte, el valor de sulfatos en 2022 es de 1.930 mg/L, siendo de 10.951 mg/L en 2014. En consecuencia, la facies hidroquímica predominante en 2014 es sulfatada-clorurada magnésica, pasando a ser sulfatada cálcica en la muestra del 2022 (Figura 10.16).

La comparativa entre los principales parámetros del agua del humedal, tanto en la muestra de 2014 como en la de 2022, y los recogidos en el Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, se exponen en la Tabla 10.7.

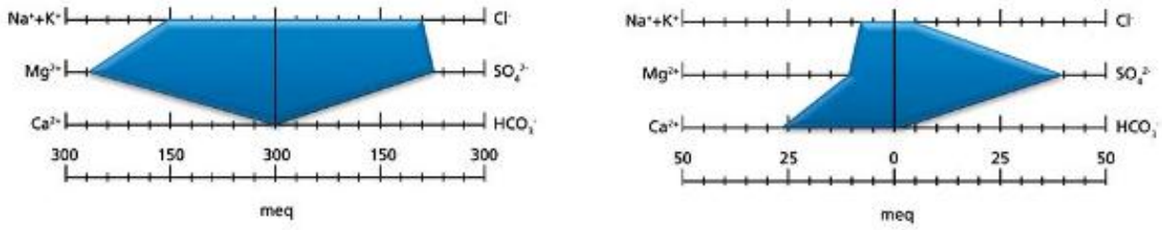


Figura 10.16. Diagramas de Stiff de las muestras de la laguna del Prado en 2014 (izquierda) y en 2022 (derecha)

	FECHA DE TOMA			27/11/2014	15/12/2022	VALORES PARAMÉTRICOS FIJADOS EN EL R.D. 3/2023
	PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR DE LA ANALÍTICA LAGUNA		
Parámetros químicos	Antimonio	Sb	µg/L	-	3,2	5
	Arsénico	As	µg/L	7,3	2,31	1
	Cadmio	Cd	µg/L	-	< 0,8	5
	Cobre	Cu	mg/L	-	4,27	2
	Cromo	Cr	µg/L	-	< 0,2	50
	Mercurio	Hg	µg/L	-	< 2	1
	Níquel	Ni	µg/L	-	< 2	20
	Nitrato	NO_3	mg/L	-	11	50
	Nitrito	NO_2	mg/L	-	1,1	0,5
	Plomo	Pb	µg/L	-	< 0,2	10
	Selenio	Se	µg/L	-	< 2	10
Parámetros indicadores	Aluminio	Al	µg/L	-	19,2	200
	Amonio	NH_4	mg/L	-	4,5	0,5
	Cloruro	Cl	mg/L	7.469	168	250
	Conductividad	CE	µS/cm	37.400	4.160	2.500
	Hierro	Fe	µg/L	-	< 60	200
	Manganeso	Mn	µg/L	9,9	< 2	50
	Oxidabilidad	-	mg O_2/L	-	4,4	5
	pH	-	Ud de pH	9,70	7,40	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	2.978	137	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	10.951	1.930	250

Tabla 10.7. Comparativa de la calidad de las muestras de la laguna con el agua para consumo humano (en rojo los valores que superan los umbrales establecidos para consumo humano como agua potable)

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

La laguna del Prado es una zona húmeda somera y temporal cuyo nivel de agua alcanza escasos centímetros durante los periodos húmedos. Al ser temporal, suele permanecer seca en la estación estival.

La extensión de su cuenca vertiente, 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, o bien por la canalización que lo drena en el entorno del núcleo urbano de Pozuelo de Calatrava.

En consecuencia, la precipitación directa adquiere especial importancia en su pervivencia, con unos aportes algo similares al de las escorrentías superficial y subterránea. En contraposición, la única salida de agua de la laguna se produce a partir de la evaporación de la lámina de agua libre, concentrando el agua en sales. Esto explica la elevada salinidad del ecosistema.

Destacar que la laguna ha sido receptora de las aguas residuales de la localidad de Pozuelo durante un largo periodo de tiempo, lo que provocaba el mantenimiento de niveles de agua incluso durante el verano. Esta situación perduró hasta principios de la década pasada, en la que la construcción de ciertas instalaciones derivaron las aguas residuales hacia el norte de la población, permitiendo que el ecosistema recuperase un estado similar al natural.

Balance hídrico

Para la determinación del balance hídrico de la laguna del Prado, tal y como se expone en el capítulo donde se desarrolla la metodología seguida para su cálculo, se ha utilizado el código informático RENATA, basado en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua al sistema. Las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento, a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (1.527 ha), así como a los aportes difusos de aguas subterráneas procedentes de las costras calcáreas, arenas y limos del Plioceno superior, dado que, si bien el potencial acuífero de esta formación es muy escaso, existe una cierta relación hidráulica con el humedal, sobre todo por el extremo noreste. Además, tal y como se ha indicado anteriormente, hasta principios de la década de 2010 la laguna ha sido objeto de vertidos de aguas residuales procedentes de la población, lo que permitió mantenerla con agua incluso durante el verano. Por su parte, las salidas son debidas exclusivamente a la evapotranspiración producida sobre la lámina de agua libre, limitada por el volumen de agua disponible en cada momento.

Según lo expuesto, el balance hídrico de la laguna queda simplificado en la siguiente expresión:

$$\Delta V_t = PPD_t + ESC_t + ASB_t + APA_t - EVP_t$$

donde,

ΔV_t	*variación del volumen de agua en el intervalo t*
PPD_t	*precipitación directa en la lámina de agua*
ESC_t	*escorrentía superficial a la laguna*
ASB_t	*aportes subterráneos*
APA_t	*aportaciones antrópicas (sólo hasta 2010)*
EVP_t	*evaporación en la lámina de agua libre*

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del modelo digital del terreno (MDT), con tamaño de celda de 5x5 m, del Centro Nacional de Información Geográfica. Con el procesamiento de esta información se ha podido relacionar la superficie de la lámina libre con el volumen total acumulado en la laguna, según distintos niveles de profundidad y para intervalos centimétricos (Figura 10.17).

Aunque los datos sobre la profundidad de la lámina de agua son muy escasos y se circunscriben a los obtenidos en el proyecto Ecolake entre enero de 2013 y julio del 2014, han permitido calibrar los parámetros necesarios para aplicar las metodologías empleadas para estimar el balance, especialmente en lo que se refiere a los aportes subterráneos.

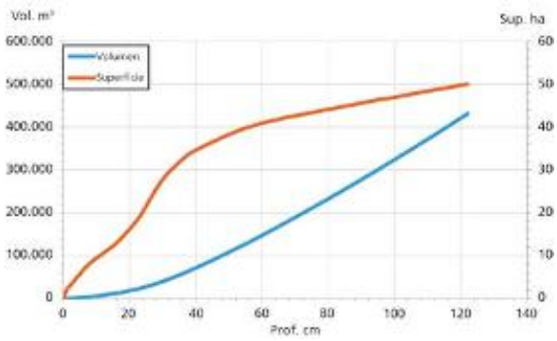


Figura 10.17. Curvas hipsométricas del vaso de la laguna del Prado: relación entre profundidad, volumen almacenado y superficie de la lámina de agua

La evaporación en la lámina de agua libre, establecida en cada momento por la curva hipsométrica, se ha calculado a nivel diario mediante la expresión de Penman (1948) a partir de las series de temperatura máxima y mínima de la estación climática 4121 (Ciudad Real), así como de las correspondientes a la radiación solar y velocidad media del viento.

Durante los dos años del periodo en los que se dispone de datos de profundidad del agua en la laguna (2013 a 2014), la evaporación fue de 1.350 mm/a, muy superior a la precipitación media anual en ese mismo periodo, que fue de 404 mm/a (4117-Pozuelo de Calatrava). Para el albedo se ha aplicado el valor de 0,06, característico de una superficie de agua libre a una temperatura <30 °C y la presión de vapor se ha estimado a partir de la curva que la relaciona con la temperatura del punto de rocío y ésta a partir de la temperatura mínima.

La aplicación del código RENATA, para la determinación del balance hídrico de la laguna, requiere la discretización de la superficie de la cuenca vertiente en celdas de 100 x 100 m (Figura 10.18). La metodología utilizada para el cálculo de la escorrentía superficial, establecida en 7.233 m^3/a, parte del balance hídrico del suelo diseñado por Thornthwaite a nivel diario modificado por G. Girard. Obtenida la lluvia útil, se ha utilizado el método racional a partir del número de curva (NC) del USSCS para su descomposición.

Por último, para la evapotranspiración se ha aplicado el de Hargreaves a partir de las series diarias de temperatura máxima y mínima de la estación de Ciudad Real (4121), y de la precipitación de la estación de Pozuelo de Calatrava (4117). El valor de los parámetros asignados (Tabla 10.8 y Figura 10.18) se ha determinado a partir de las características de las distintas formaciones geológicas aflorantes en la cuenca y de los empleados para la estimación de la escorrentía en otras lagunas del Campo de Calatrava, verificando siempre su coherencia con las características hidrológicas de la zona.

LITOLOGÍA	SUPERFICIE ha	PARÁMETROS	ESCORRENTÍA m^3/a
Costras calcáreas, arenas y limos pliocuaternarios	889,25	RU_{min} = 100 mm RU_{max} = 125 mm P_0 = 10 mm NC = 84	2.629
Rocas hidromagmáticas	461,29	RU_{min} = 25 mm RU_{max} = 50 mm P_0 = 5 mm NC = 91	3.583
Margas yesíferas	130,93	RU_{min} = 85 mm RU_{max} = 115 mm P_0 = 10 mm NC = 84	1.021
Vaso impermeable*	45,53		
Total	**1.527,00**		**7.233**

Tabla 10.8. Escorrentía superficial de la laguna del Prado. Parámetros y resultados (periodo 1972 a 2021)

** Contemplada en la precipitación directa caída sobre la lámina de agua*

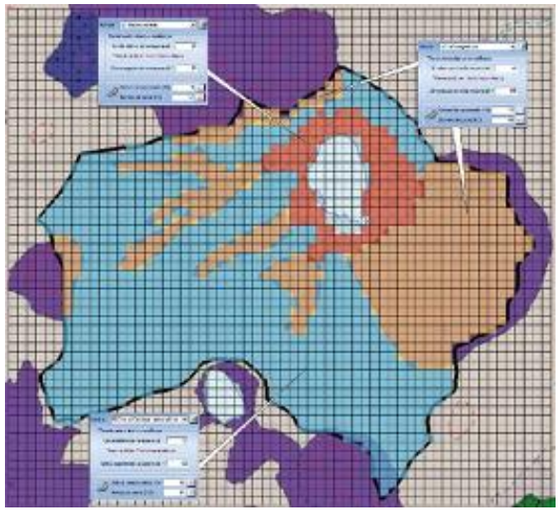


Figura 10.18 (a la izquierda). Modelo RENATA de la laguna del Prado para el cálculo de la escorrentía superficial. En cuadros de color azul, parámetros del suelo asignados

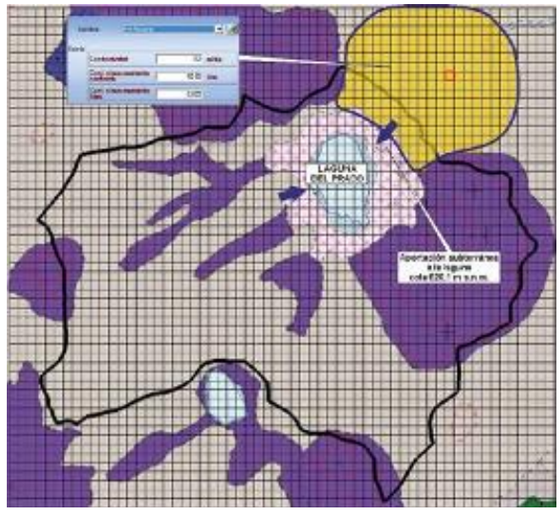


Figura 10.19 (a la derecha). Modelo RENATA para la determinación de los aportes subterráneos a la laguna del Prado. En cuadros de color azul, parámetros del suelo asignados

Por otra parte, los aportes de aguas residuales que se vertían a la laguna hasta el 2010 se han estimado suponiendo un vertido por habitante de 100 l/día. Para la población media de Pozuelo de Calatrava establecida en unos 3.000 habitantes, supone una media diaria de 300 m^3 y anual de 109.500 m^3.

En cuanto a la determinación de los aportes de aguas subterráneas al humedal, los parámetros utilizados por RENATA se han calibrado a partir del cálculo del balance hídrico para el tramo climático con datos limnimétricos (de junio a octubre de 2013), el cual coincidió con una época en la que apenas hubo precipitaciones y, por tanto, el término correspondiente a la escorrentía superficial puede ser despreciado.

En consecuencia, si se considera sólo la evaporación y la precipitación directa, el contraste de los valores reales medidos con los resultados obtenidos implicaría un importante déficit de agua en el llenado de la laguna. Dado que dicho déficit no existe, el volumen equivalente supone la existencia de otro tipo de aportes, en este caso, atribuidos al agua subterránea procedente del acuífero asociado al humedal.

Sobre la base del conocimiento hidrogeológico del entorno de la laguna, se ha diseñado un modelo en el que el acuífero asociado se extiende hacia el noreste de ésta, integrado por los afloramientos de costras calcáreas y de formaciones compuestas por arenas y limos del Plioceno superior. Un sector de este acuífero, de 2,63 km^2 de extensión, drenaría hacia la laguna. Esta superficie se ha determinado mediante la calibración y ajuste entre los resultados obtenidos y los medidos.

Para ello, al igual que se hizo en la estimación de la escorrentía superficial, se ha discretizado dicha superficie en celdas de 100 x 100 m (Figura 10.19). Para la asignación de parámetros y la delimitación del sector de acuífero asociado drenante hacia la laguna, se han tenido en cuenta criterios coherentes con las propiedades hidrogeológicas de las formaciones geológicas. En la simulación, el techo del acuífero se ha hecho coincidir con la superficie topográfica, mientras que el muro se ha situado a una cota constante de 570 m s.n.m.

Finalmente, el modelo se ha completado con la localización de celdas de drenaje en el interior de la laguna a una cota de 620,1 m s.n.m.

Calibración de los aportes subterráneos

La infiltración del agua de lluvia en el acuífero asociado, que finalmente contribuye a alimentar la zona húmeda, se ha estimado mediante el método del balance del suelo de Thornthwaite con los mismos parámetros utilizados para el cálculo de la escorrentía superficial. Finalmente, se ha obtenido el valor de la recarga del acuífero para los dos años de los que se disponen de medidas limnimétricas (Tabla 10.9).

Los parámetros hidráulicos del acuífero que mejor encajan en el modelo diseñado han sido 0,2 m/d para la conductividad hidráulica, 0,005 para la porosidad eficaz y $1x10^{-5}$ m^{-1} para el coeficiente de almacenamiento específico (Figura 10.19). La comparativa entre ambas series de valores medidos y simulados, muestra un aceptable grado de ajuste (Figura 10.20), e indica que el acuífero modula la alimentación a la laguna, drenando lentamente sus caudales hacia ella, lo que permite mantenerla inundada durante un tiempo más prolongado (Figura 10.21).

LITOLOGÍA	SUPERFICIE km²	PARÁMETROS	PRECIPITACIÓN		INFILTRACIÓN		Tasa de Recarga
			mm/a	hm³/a	mm/a	hm³/a	
Arenas, limos y costras pliocuaternarias	2,63	RU_{min} = 100 mm RU_{max} = 125 mm P_0 = 10 mm NC = 84	403,6	1,061	18,6	0,049	4,6%

Tabla 10.9. Estimación de los aportes subterráneos a la laguna del Prado mediante el modelo RENATA. Parámetros utilizados y resultados (periodo 2013 a 2014)

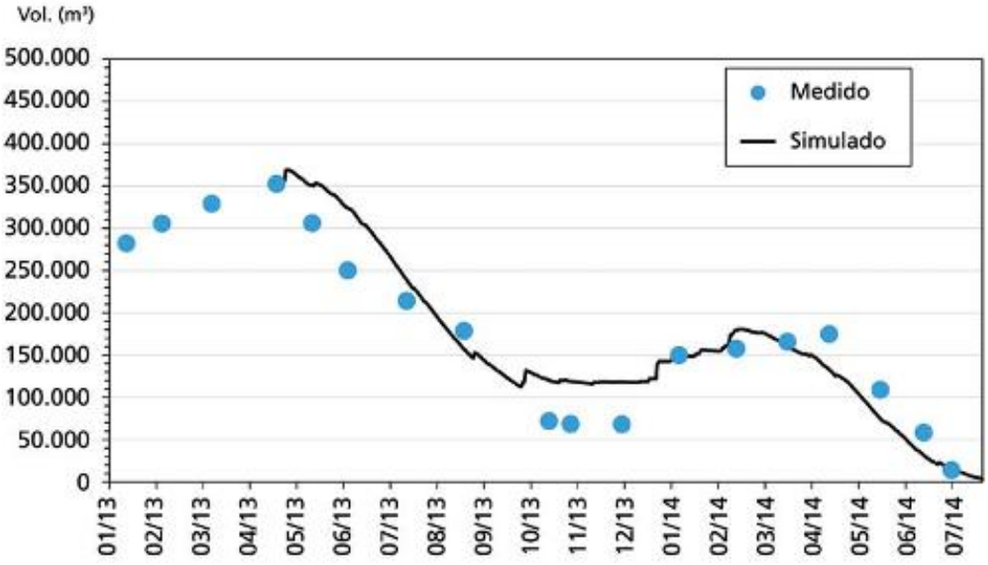


Figura 10.20. Volumen almacenado en la laguna del Prado: simulado y medido, durante el periodo estival utilizado para la calibración (de junio a octubre de 2013)

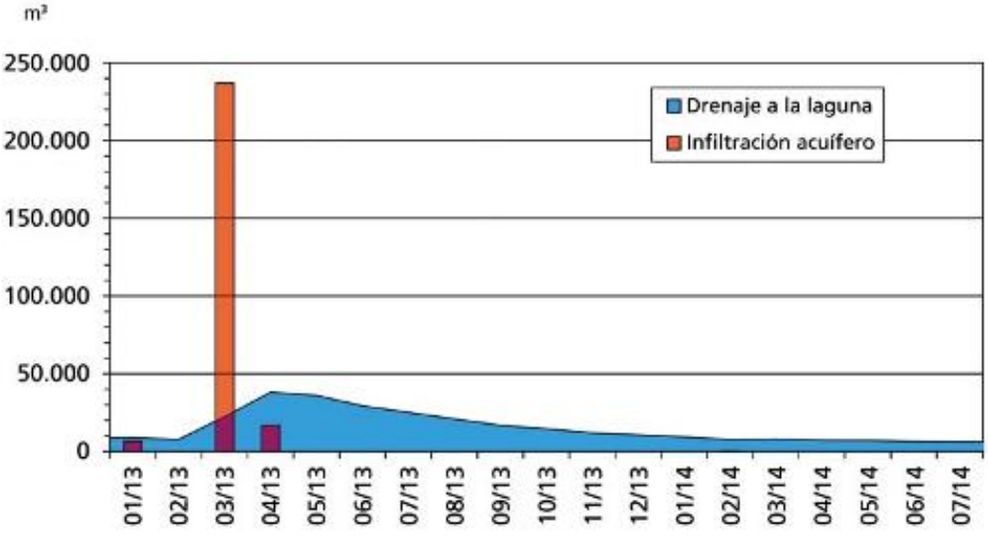


Figura 10.21. Aportaciones mensuales a la laguna del Prado por entradas subterráneas ocultas procedentes de su acuífero asociado (enero 2013 a julio 2014)

Determinación del balance hídrico

Con la aplicación de los parámetros calibrados se ha realizado la simulación diaria para un periodo de 50 años (1972 a 2021) con la finalidad de reproducir la evolución del llenado de la laguna a lo largo de este lapso temporal.

Destaca, con diferencia, el volumen almacenado durante los años de intensas lluvias de la segunda mitad de la década de los noventa y del periodo 2010 a 2013. En esta simulación se han tenido en cuenta los aportes de aguas residuales realizados hasta el año 2010 (Figura 10.22). Posteriormente la laguna funcionaría en régimen natural, por lo que a partir de esta fecha sólo se inunda durante los periodos con años de precipitaciones por encima de la media.

Se ha realizado la simulación sin considerar los aportes de aguas residuales con el fin de establecer el comportamiento de la laguna en régimen totalmente natural (Figura 10.23). Como se puede constatar, salvo en años especialmente lluviosos, el llenado del vaso tiene un marcado carácter estacional sin los aportes de aguas residuales, consecuencia del desequilibrio tan acentuado que hay entre la precipitación y la evaporación, a pesar de la contribución de las aguas subterráneas.

De la simulación realizada se obtiene que el volumen medio almacenado en el vaso de la laguna en condiciones naturales, es decir, sin considerar las aguas residuales, sería de 17.000 m³, equivalente a una superficie inundada de 6 ha. Con esta premisa, el humedal se encontraría seco o casi seco con menos de 5 ha inundadas (<1.000 m³) durante el 55% del tiempo (Figura 10.24).

Figura 10.22. Evolución del llenado de la laguna: simulado y medido (periodo 1972 a 2021)

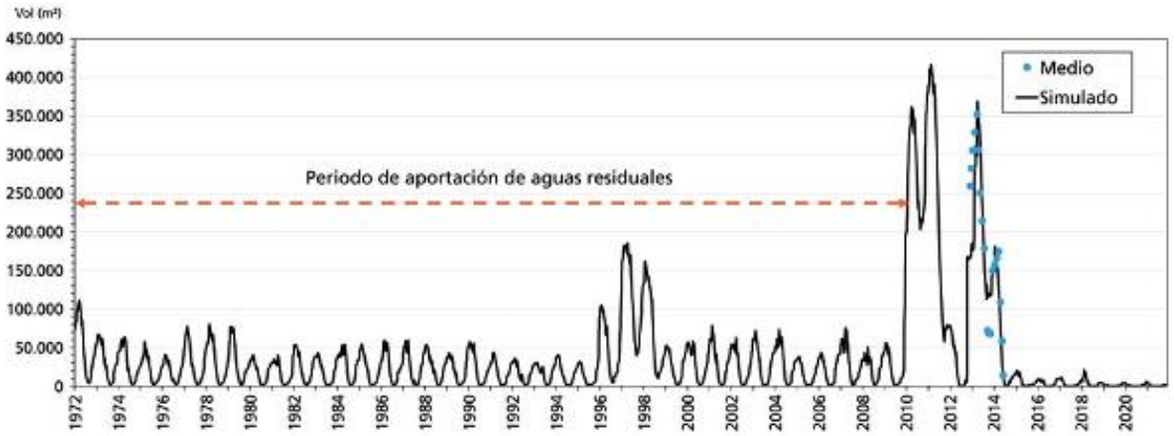
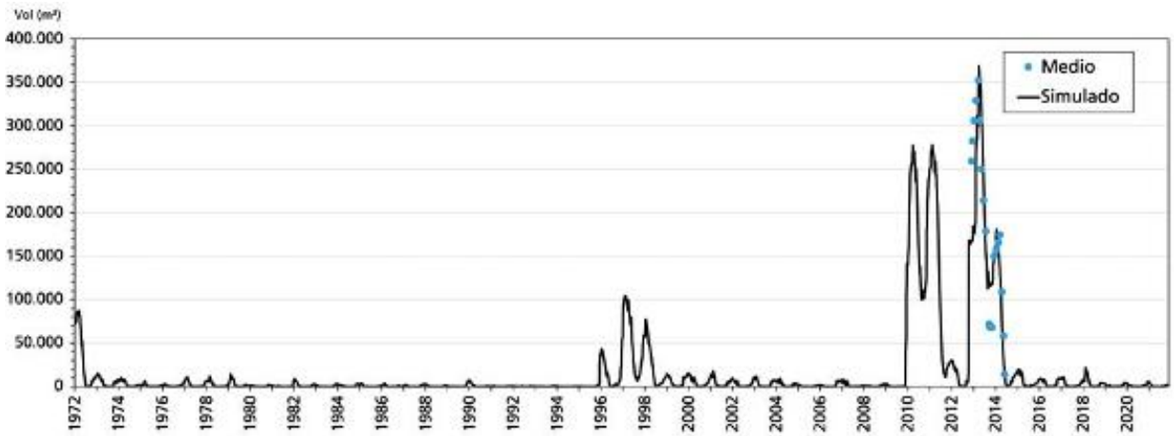


Figura 10.23. Evolución de llenado de la laguna: simulado y medido sin aportes de aguas residuales (periodo 1972 a 2021)



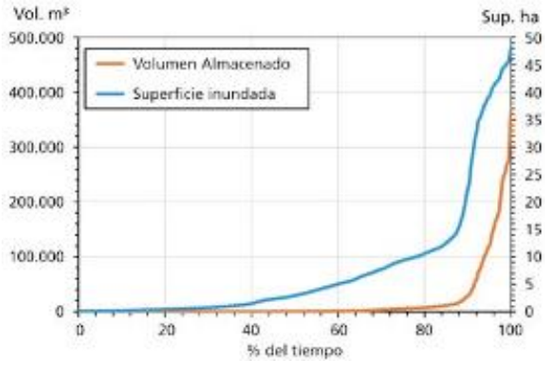


Figura 10.24. Distribución temporal (en %) de la superficie inundada y del volumen almacenado en la laguna del Prado

Sobre esto hay que indicar que la morfología del vaso es muy plana, por lo que con muy poca agua se consigue una gran extensión del área encharcada.

El balance hídrico con aportes antrópicos es, lógicamente, muy diferente al obtenido en régimen natural. En este caso, el término que más contribuye al llenado del humedal es el de las aguas residuales (58%), lo que implica un incremento de la precipitación directa de agua caída sobre lámina de agua libre, respecto al régimen natural, al estar mucho más tiempo inundado el vaso (Tabla 10.10 y Figura 10.25).

En consecuencia, debido al aporte de aguas residuales, entre 1972 y 2010 la laguna sólo se llegó a secar en contadas ocasiones. Sin estos caudales se hubiera secado o casi secado (<5 ha inundada) con una mayor frecuencia, especialmente durante la primera mitad de la década de los 90 (marzo de 1990 a noviembre de 1995), con un total de 2.070 días.

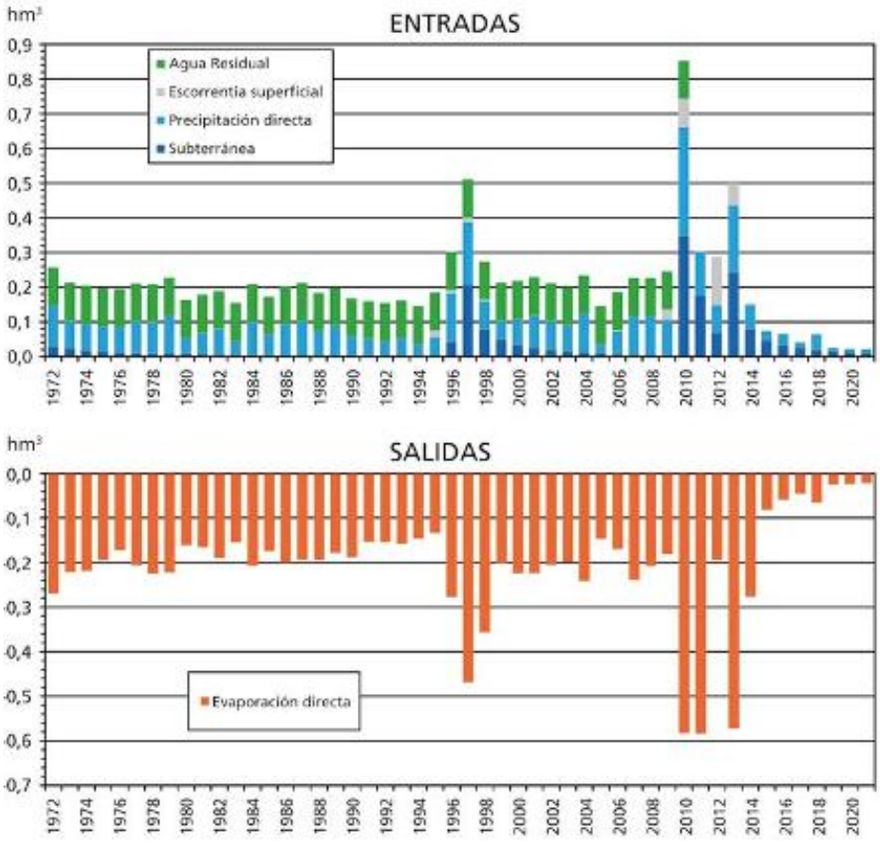


Figura 10.25. Balances hídricos anuales de la laguna del Prado. Con aportes de aguas residuales hasta 2010

PRECIPITACIÓN MEDIA mm	CUENCA VERTIENTE km²	ACUÍFERO ASOCIADO km²	ENTRADAS m³				SALIDAS m³
			Precipitación directa	Escorrentía superficial	Aportes subterráneos	Aguas residuales	Evaporación directa
442	15,27	2,63	79.000	7.233	35.500	85.500	207.233
			38%	4%	17%	41%	100%

Tabla 10.10. Balance hídrico medio anual con aportes de aguas residuales hasta 2010 (periodo 1972 a 2021)

En régimen natural, la alimentación a la zona húmeda se verifica, esencialmente y de forma similar, tanto por la precipitación directa del agua de lluvia, con unos 34.500 m³/a, equivalentes al 45% del total, como por los aportes subterráneos, 35.500 m³/a, que en este caso corresponden al 46%. La contribución de la escorrentía superficial sería mucho menor, 7.329 m³/a, y del orden del 9%. Por el lado contrario, las salidas, 77.329 m³/a, tienen lugar en su totalidad por evapotranspiración (Tabla 10.11 y Figura 10.26).

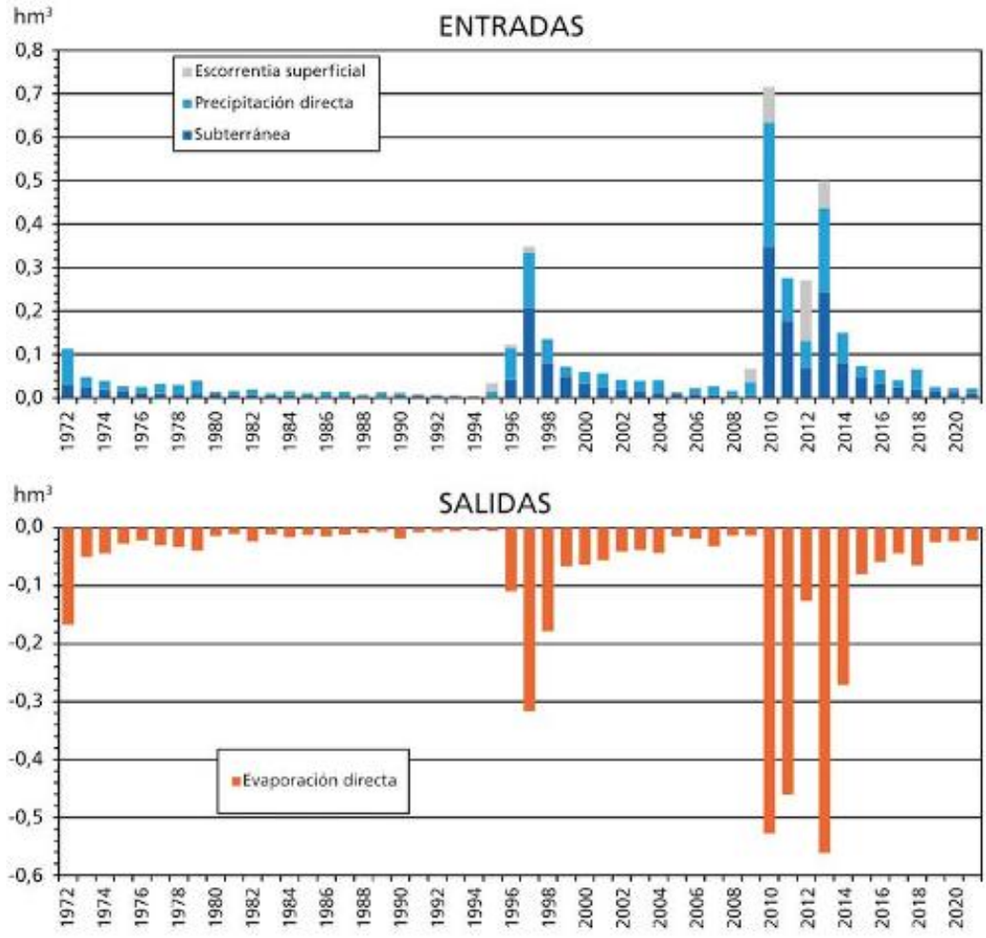


Figura 10.26. Balances hídricos anuales de la laguna del Prado en régimen natural. Sin aportes de aguas residuales

PRECIPITACIÓN MEDIA mm	CUENCA VERTIENTE km²	ACUÍFERO ASOCIADO km²	ENTRADAS m³			SALIDAS m³
			Precipitación directa	Escorrentía superficial	Aportes subterráneos	Evaporación directa
442	15,27	2,63	34.500	7.329	35.500	77.329
			45%	9%	46%	100%

Tabla 10.11. Balance hídrico medio anual en régimen natural. Sin aportes de aguas residuales (periodo 1972 a 2021)

Evolución visual del territorio

Las imágenes aéreas de los años 1957 y 2018 (Figura 10.27) ofrecen dos perspectivas del entorno inmediato de la laguna y permiten analizar la trasformación territorial sufrida a lo largo de los 61 años que las separa. 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, y 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 10.28 a 10.31) 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 10.27. Foto aérea comparativa del vuelo americano 1956-57 y ortofoto PNOA 2018 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 10.28. Vegetación y aspecto de la laguna en invierno del 2022 (C. Lorenzo, STA CN IGME-CSIC)





Figura 10.29. Avifauna en la primavera de 2018 (C. Camuñas)





Figura 10.30 (arriba). Vista general de la laguna del Prado en agosto de 2022 (C. Camuñas)

Figura 10.31 (debajo). Torre de observación al oeste de la laguna (C. Camuñas)

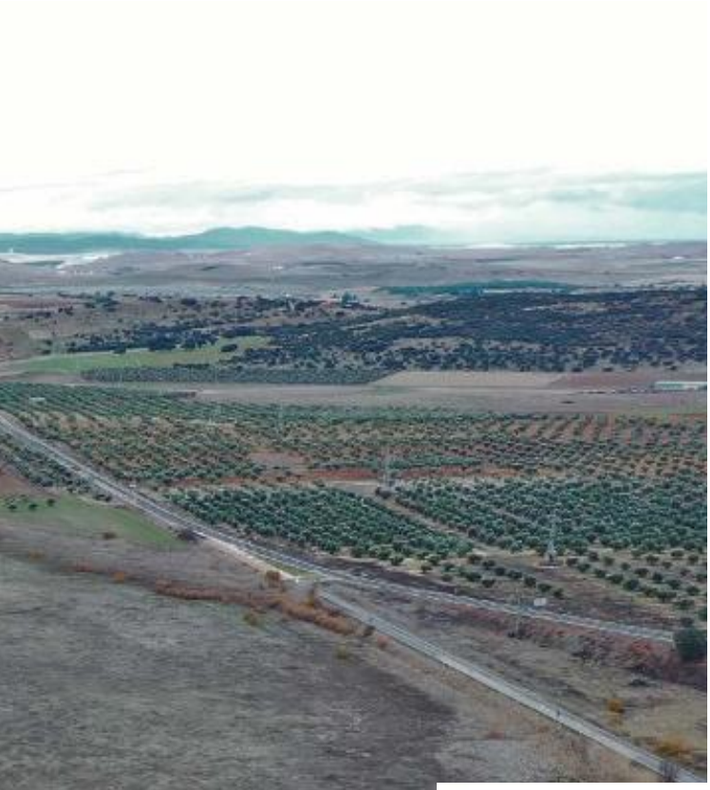


Capítulo 11

Laguna de Caracuel

Miguel Mejías Moreno
Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia





11. Laguna de caracuel

Situación geográfica y accesos

La laguna de Caracuel se ubica en la zona central de la MASb de Campo de Calatrava, a unos 25 km de Ciudad Real y en las proximidades de los núcleos urbanos de Corral de Calatrava y Caracuel de Calatrava (Figura 11.1). Es el humedal principal de un conjunto integrado por otras lagunas de menor entidad como la de Doña Elvira, Perabad, de la Dehesa y de la Estación.

Su cubeta se encuentra a unos 1,5 km al sur del núcleo urbano de Caracuel de Calatrava y su punto central tiene las coordenadas X: 407.320, Y: 4.298.145



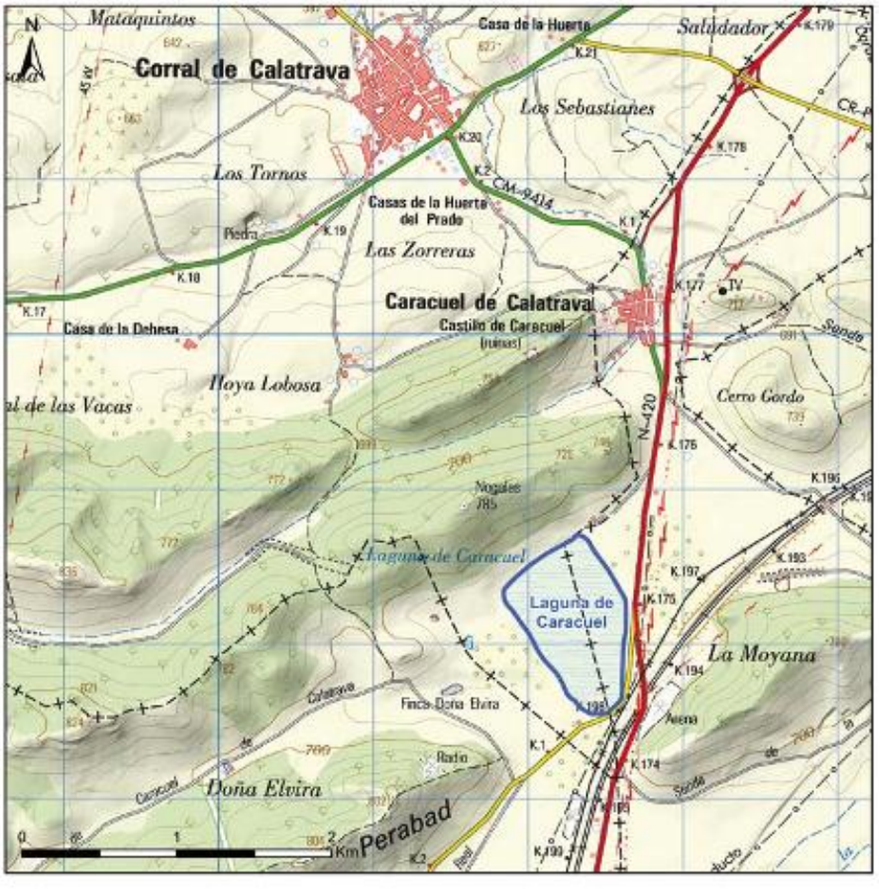


Figura 11.1. Situación geográfica de la laguna de Caracuel (hoja 810 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

(UTM ETRS89 H30) y una altitud de 667,2 m s.n.m., según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

Una de sus características es el fácil acceso a la zona inundable, ya que la autovía A-41, que une Ciudad Real con Puertollano, discurre a tan solo a 1,5 km en dirección este. Prácticamente pegado a su ribera oriental pasa la carretera N-420, desde la que se puede acceder a pie hasta la laguna. El acceso más rápido desde Ciudad Real es por la autovía A-41, pasando por el núcleo urbano de Poblete, la autovía cruza sobre el río Jabalón por el paraje de Puente Morena. 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, con predominio de largos periodos en que el vaso lagunar se encuentra completamente seco. Se asienta en un área deprimida generada por sucesivas manifestaciones hidromagmáticas. La superficie de la laguna es de 57,41 ha y su perímetro es de 3,01 km, de forma semielíptica y de dirección principal norte-sur, algo rectangular en su parte septentrional y ovalada en la meridional (Figura 11.2).

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 principalmente de cereales y, en menor medida, de olivares, que alcanzan los flancos sur y oeste de la laguna, en el que es común el pastoreo de ganado ovino, caprino y bovino.

El entorno de la laguna no se encuentra en un buen estado de conservación, la caseta de observación de aves se encuentra medio derruida y sin limpieza (Figura 11.3). El vallado perimetral está muy deteriorado y sin un mantenimiento periódico, algunos postes de madera están medio quemados, hay suciedad en su entorno y no cuenta con paneles informativos.



Figura 11.2. Vaso lagunar de Caracuel (ortofoto PNOA 2018. Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 11.3. Vista de la caseta de observación de aves de la laguna de Caracuel desde la carretera N-420 en septiembre de 2022 (L.A. Carreño)

Historia y cultura

Las primeras mencionas relativas a la villa de Caracuel datan de la época de dominio islámico en el que el poblamiento era escaso, con pocos centros urbanos y la mayoría en decadencia. Esta hipótesis se sustenta en el hecho de que Tariq ibn Ziyad, en el siglo VIII, caudillo de la expedición musulmana que inició la conquista de la península ibérica, encontró muy escasa oposición en su avance hacia el norte en los principales centros urbanos de la época. Oreto, capital norte de la Oretania, región íbera con influjos celtíberos, caería en decadencia en época islámica y Caracuel sobrevivió porque un caudillo musulmán se asentó en la población.

En el año 854, tras ser arrasada por rebeldes toledanos, se refunda Calatrava, constituyendo el elemento rector de la región, absorbiendo, junto con Caracuel, la población decadente de Oreto. Como consecuencia de este cambio se produciría una transformación en la estructura territorial, que se sustanciaría, entre otros aspectos, en la prevalencia de la ruta Toledo-Córdoba, que pasaba por Caracuel. En el siglo X también se asistiría a una articulación del poblamiento entre Calatrava y Caracuel, que se concentraba sobre la vía de Toledo a Córdoba.

En enero de 1147, el rey Alfonso VII recibió Calatrava en virtud del acuerdo que había alcanzado con Abu Yafar Handin, lo cual implicó controlar prácticamente la cuenca media del río Guadiana, ya que de esta medina dependían Caracuel, Almodóvar, Mestanza y Alcudia. Por medio de esta capitulación se puede considerar que toda la región entró en una nueva fase bajo dominio cristiano, que aplicaron nuevos criterios organizativos.

En 1170, la Encomienda de Caracuel, una de las más antiguas del Campo de Calatrava, indicaba que la autoridad en la zona era la Orden de Calatrava. El mencionado 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*

hechas por iniciativa de Felipe II (Viñas y Paz, 1951) donde se narra el pasado esplendor de Caracuel y los motivos de su decadencia, de manera que la historia de la laguna de Caracuel (Figura 11.4) ha estado unida a la localidad. 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 entre ambas poblaciones. Señalar también, como hecho anecdótico, que la localidad de Caracuel es nombrada por Miguel de Cervantes en el capítulo XLVII de la segunda parte de *El Quijote*, por boca del doctor D. Pedro Recio de Agüero.

Esta segregación favoreció a Corral de Calatrava, que obtuvo la mayor parte del territorio y parte del vaso lagunar, así como el castillo de Caracuel. Desde entonces, Caracuel de Calatrava no ha recuperado su antigua grandeza como villa, ni su población. 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 Felipe II 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 edificó este pueblo por esto se entiende verosímilmente tener el susodicho nombre"*.

El patrimonio arquitectónico más reseñable cercano al humedal es el castillo de Caracuel (Figura 11.5). 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. A pesar de formar parte del Patrimonio Histórico Español bajo la protección del Decreto de 22 de abril de 1949 y la Ley 16/1985, se encuentra en un estado de progresivo abandono y grave deterioro de su estructura arquitectónica.

Por otra parte, los yacimientos arqueológicos de Laguna de Caracuel I, Laguna de Caracuel II y Camino del



Figura 11.4. Vista de la laguna de Caracuel en abril de 2022 (C. Baquedano)



Figura 11.5. Vista del castillo de Caracuel en diciembre de 2022 (C. Lorenzo, STA CN IGME-CSIC)

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 información del ayuntamiento de Caracuel, 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 cría caza menor, alguna mayor, y abundancia de lobos y zorras"* y Caracuel: *"se cría mucha caza de todas clases"*.

Contexto socioeconómico

Como ya se ha mencionado, el vaso lagunar se encuentra entre los términos municipales de Caracuel de Calatrava y Corral de Calatrava; dado que la propiedad de la laguna corresponde al primero de los términos citados y que el contexto socioeconómico del segundo se incluirá en el capítulo correspondiente a la laguna de Peñarroya. En este, por tanto, se referirán los principales parámetros económicos de Caracuel de Calatrava.

La localidad, en 2022, contaba con tan solo 125 habitantes (INE, 2022), de los que 74 son hombres y 51 mujeres. Desde 1970 a 1981 su población pasó de 487 a 176 habitantes, continuando hasta la actualidad una pérdida constante de población. La superficie de su término municipal es de 9,92 km^2, con una densidad de 12,6 hab/km^2.

En cuanto al nivel de estudios de la población mayor de 16 años, referido a datos del ayuntamiento de Caracuel de Calatrava del año 2021, para una población en ese año de 108 habitantes, predomina el segundo

grado (Tabla 11.1), seguido de las personas que carecen de estudios (37,9% y 25,9%, respectivamente) y de las que alcanzaron el tercer grado (18,6%). Los grupos minoritarios corresponden a los que tienen el primer grado (13,9%) y a los analfabetos (3,7%).

NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	%
Analfabetos	4	*3,7*
Sin estudios	28	*25,9*
1er Grado	15	*13,9*
2º Grado	41	*37,9*
3er Grado	20	*18,6*
TOTAL	**108**	***100***

Tabla 11.1. Nivel de estudios (Ayuntamiento de Caracuel de Calatrava, 2021)

La actividad económica principal es el sector servicios (Tabla 11.2), con el 57,14% de empresas, le siguen la agricultura y la construcción, con un 28,57% para la primera y el 14,29% para la segunda. Mientras que el mayor número de trabajadores está afiliado al sector de la construcción, con un 45,10%, después el sector servicios y la agricultura con un 27,45% y un 21,57%, respectivamente.

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	11	*21,57*	2	*28,57*
Industria	0	*0,00*	0	*0,00*
Construcción	23	*45,10*	1	*14,29*
Servicios	14	*27,45*	4	*57,14*
No consta	3	*5,88*		
TOTAL	**51**	***100***	**7**	***100***

Tabla 11.2. Empresas y afiliación en Caracuel de Calatrava (Tesorería General de la Seguridad Social, 2021)

Desde el punto de vista de la superficie agrícola utilizada, según el censo agrario del año 2020 (Tabla 11.3), el 82% de esa superficie está ocupada por tierras labradas. De entre las cuales predominan los cultivos herbáceos con un 63%, siendo minoritario el olivar (19%). El 18% restante de la citada superficie son pastos.

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	**344**	268	*82,0*	*63,0*
	Frutales		0		*0,0*
	Olivares		76		*19,0*
	Viñedos		0		*0,0*
Pastos		**78**		*18,0*	
Forestal		**0**		*0,0*	
TOTAL		**422**		***100***	

Tabla 11.3. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2020, INE)

El presupuesto del ayuntamiento para el año 2021 ascendió a la cantidad de 212.893 €.

Normativa específica y figuras de protección

Como se ha mencionado al inicio del capítulo, la laguna de Caracuel se ubica entre dos términos municipales: Corral de Calatrava y Caracuel de Calatrava. Aproximadamente dos tercios de la superficie de la laguna se ubican en el primero de los términos citados y el tercio restante en el segundo. A pesar de esta circunstancia, la laguna es propiedad del ayuntamiento de Caracuel de Calatrava, de donde toma el topónimo.

Respecto a sus figuras de protección, a nivel europeo, la laguna está incluida en la Red Natura 2000, formando parte de la Zona de Especial Conservación (ZEC) "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava", Decreto 26/2015, de 7 de mayo (DOCM, 2015a), anteriormente designada Lugar de Importancia Comunitaria (LIC), cuyo Plan de Gestión fue elaborado en el año 2015, Orden de 7-5-2015, por la Dirección General de Montes y Espacios Naturales de la Consejería de Agricultura de la JCCM, pasando a ser ZEC. En marzo de 2017 la Dirección General de Política Forestal y Espacios Naturales de la Viceconsejería de Medio Ambiente propuso una modificación de límites para la ZEC Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava basada, por un lado, en las mejoras técnicas en los Sistemas de Información Geográfica, así como en la disponibilidad de bases geográficas de mayor calidad, que permiten una mejora de la precisión con la que se delimitan los valores naturales del espacio desde el punto de vista cartográfico y, por otro lado, en la mejora de la

información científica disponible en relación a la distribución de los valores naturales. Se trata, por tanto, más de un ajuste técnico que de una variación de la superficie protegida.

La laguna también fue declarada Microreserva "Laguna de Caracuel" en mayo de 2003, Decreto 75/2003, de 13 de mayo, 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 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, Agua y Desarrollo Rural de la JCCM.

Cuenta con el Plan de Delimitación de Suelo Urbano de Caracuel de Calatrava, aprobado el 9 de noviembre de 1993, y con las normas subsidiarias municipales establecidas en el Plan de Ordenación Municipal de Corral de Calatrava, aprobado en fecha 3 de agosto de 2006. Además, está catalogado con el código IH422034 en el inventario español de zonas húmedas (BOE, 2019).

En cuanto a los principales hábitats presentes en la laguna y su entorno, según lo recogido en el Plan de Gestión de las Lagunas Volcánicas de Campo de Calatrava (DOCM, 2019), en la laguna de Caracuel existe bastante superficie ocupada por lámina de agua. Su orla perilagunar está compuesta por una banda semicontinua de carrizal-eneal-juncal (situándose el juncal en la parte más externa de esta banda). En la parte norte de la laguna aparece alguna pequeña mancha con formaciones de castañuela, y también en esta zona de la laguna, pero ya en la parte retirada del agua, aparece una pequeña banda de vegetación anfibia temporal dominada por la especie *Lythrum flexuosum* presente.

Climatología

La descripción climática de esta la laguna se apoya en los datos suministrados por la AEMET de la cercana estación de Corral de Calatrava (4163), aunque para analizar el contexto regional y calcular la evaporación también se han utilizado datos procedentes de otras estaciones de su entorno. El análisis se ha realizado a nivel diario para el periodo de 50 años comprendido entre 1972 y 2021.

El hietograma (representación de la intensidad de la lluvia) de la estación más representativa (4163) muestra una precipitación media de 440 mm y una desviación típica de 123 mm (Figura 11.6), con un rango que oscila entre un mínimo de 200 mm (año 2005) y un máximo superior a los 800 mm (año 2010). El diagrama ombrotérmico (representación de la precipitación

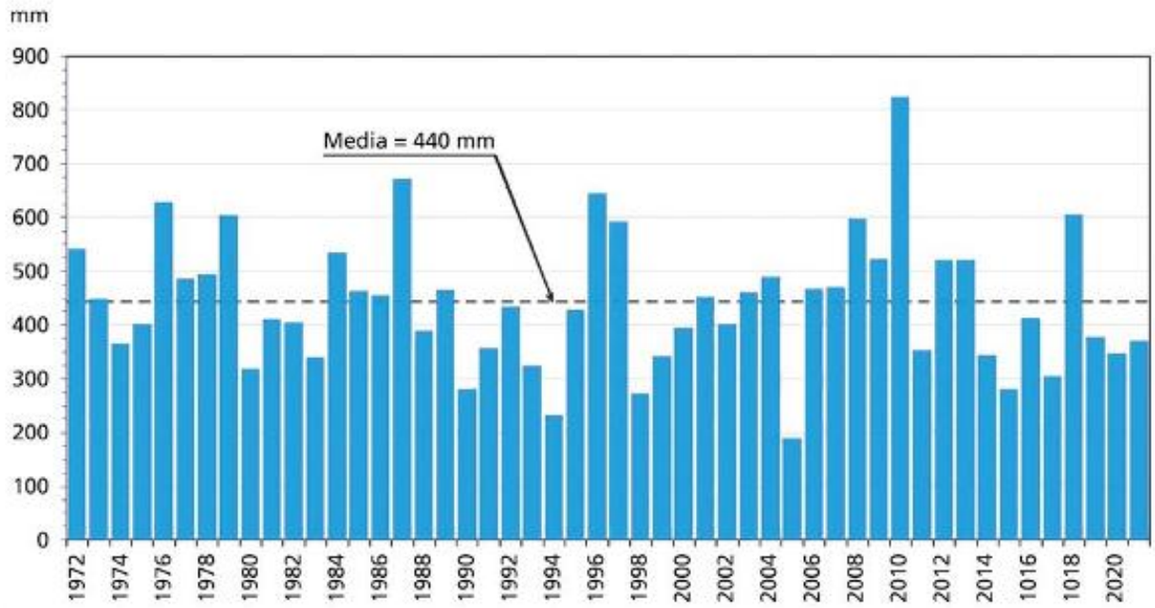


Figura 11.6. Hietograma de la precipitación anual en la estación de Corral de Calatrava (4163)

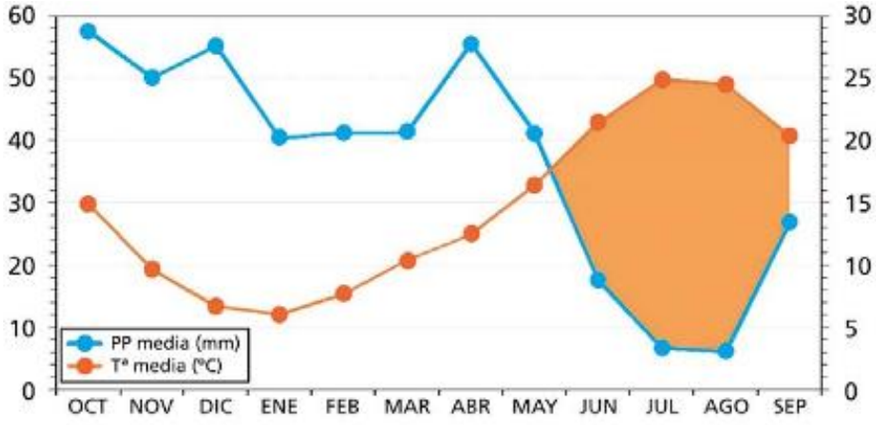


Figura 11.7. Diagrama ombrotérmico del año medio

y temperatura de una estación meteorológica) elaborado con la precipitación de la estación 4163 y la temperatura de la 4121 (Figura 11.7) determina un periodo de intenso estiaje durante los meses que van desde junio a septiembre.

La desviación acumulada de la precipitación anual, respecto a la media de los 50 años de la serie climática, permite diferenciar 4 periodos húmedos y 4 periodos secos, que en ambos casos suelen tener una duración de 4 o de 8 años (Figura 11.8 y Tabla 11.4). De los húmedos destaca el transcurrido entre 2007 y 2013, mientras que de los más secos está el que va desde 1987 a 1995. También es relevante el periodo seco reciente entre 2013 y 2021.

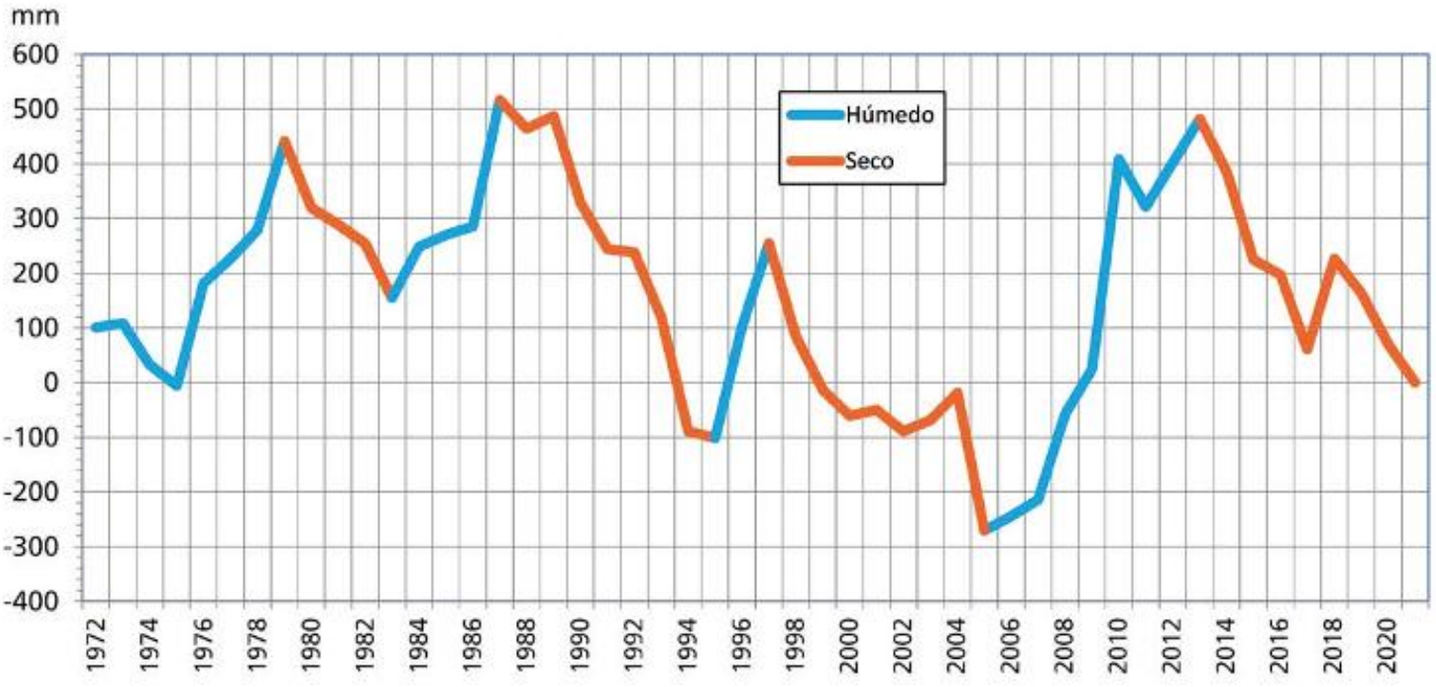


Figura 11.8. Desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media

Tabla 11.4. Análisis de los periodos climáticos entre 1972 y 2021

PERIODO	TIPOLOGÍA CLIMÁTICA	DURACIÓN (AÑOS)	PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN CON RESPECTO A LA MEDIA
1972 a 1979	Húmedo	8	13% superior
1980 a 1983	Seco	4	16% inferior
1984 a 1987	Húmedo	4	21% superior
1988 a 1995	Seco	8	17% inferior
1996 a 1997	Húmedo	2	40% superior
1998 a 2005	Seco	8	15% inferior
2006 a 2013	Húmedo	8	21% superior
2014 a 2021	Seco	8	14% inferior

Hidrología

Al igual que el resto de las lagunas incluidas en esta publicación, la de Caracuel se encuentra en la cuenca alta de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana y en la MASb Campo de Calatrava. 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 626,53 ha (Figura 11.9), 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 (667,2 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.

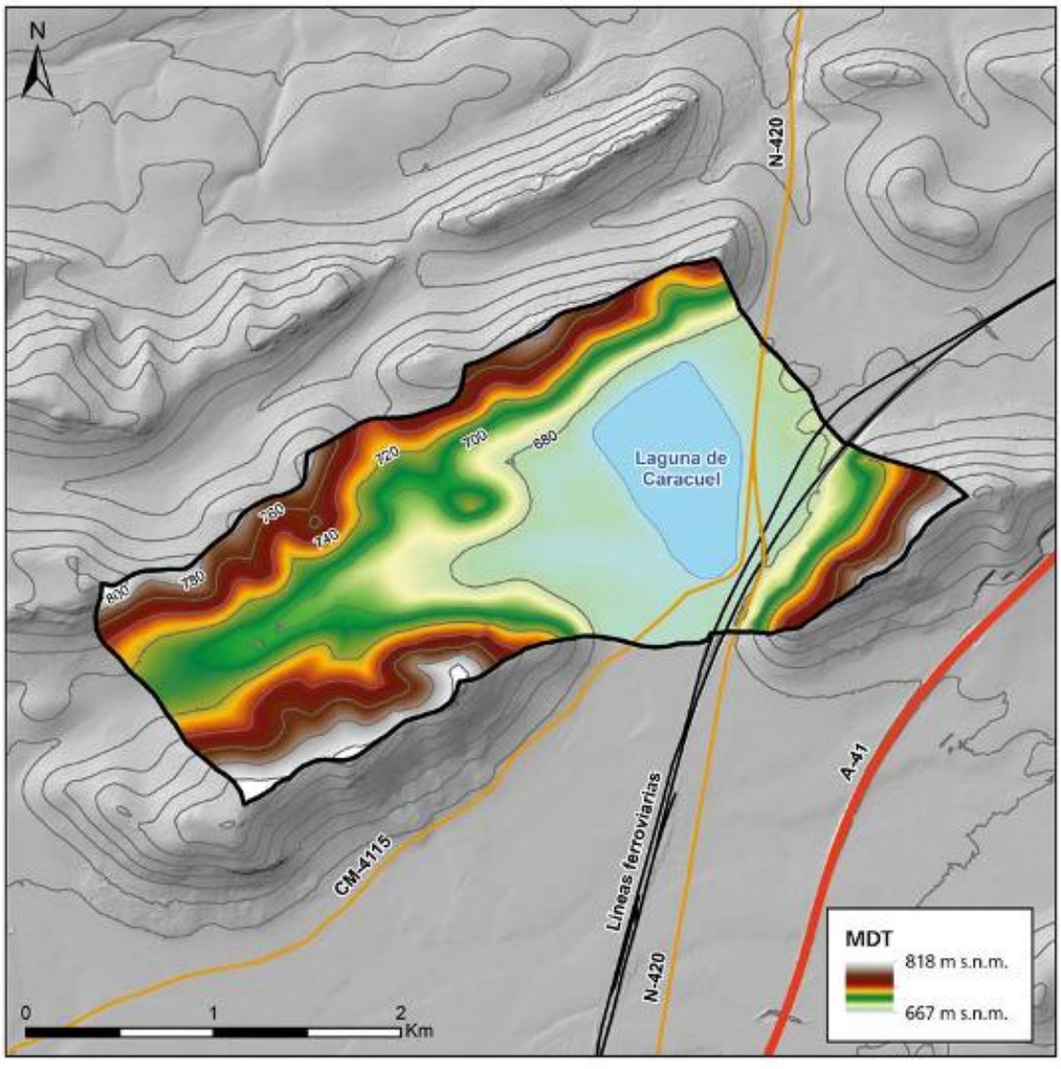


Figura 11.9. Cuenca hidrológica de la laguna de Caracuel

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 11.10).

Desde el punto de vista geológico, como ya se ha mencionado en otros capítulos de esta publicación, la génesis de la laguna está relacionada con la actividad volcánica que tuvo lugar a lo largo del Mioceno superior-Pleistoceno inferior en el Campo de Calatrava, 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 cuenca hidrológica. Estos materiales se generaron por una erupción freatomagmática 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*.

Petrográficamente, los depósitos hidromagmáticos sobre los que se asienta el vaso de la laguna son tobas

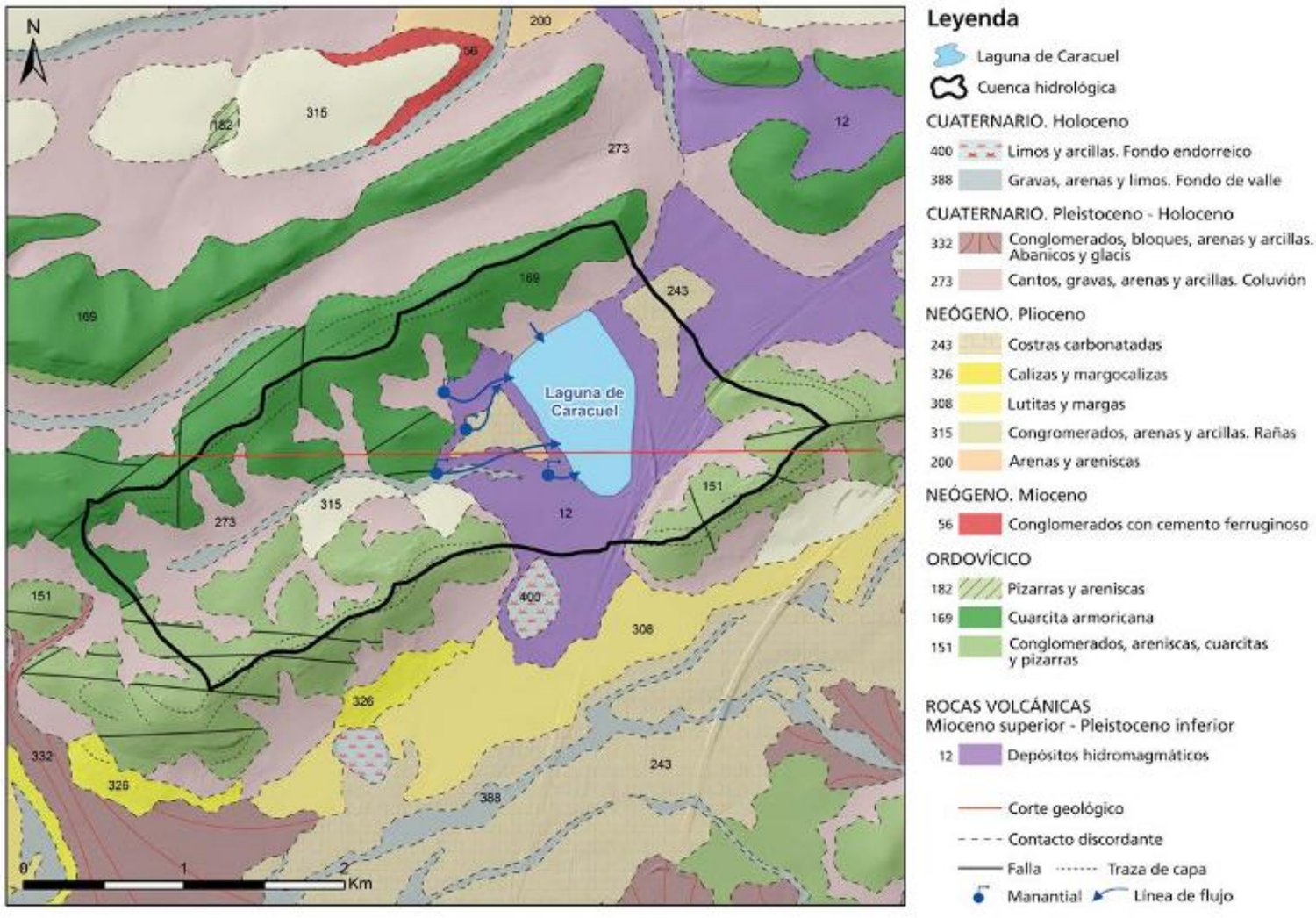


Figura 11.10. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de Caracuel (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Baquedano y C. Camuñas)

poligénicas, heterométricas y muy variables, del Mioceno superior-Pleistoceno inferior, 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, Serie Púrpura, y están constituidos por depósitos de 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 (Figura 11.11).

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 a la litología de la cubeta de la laguna corresponde a limos y arcillas grises de edad holocena.

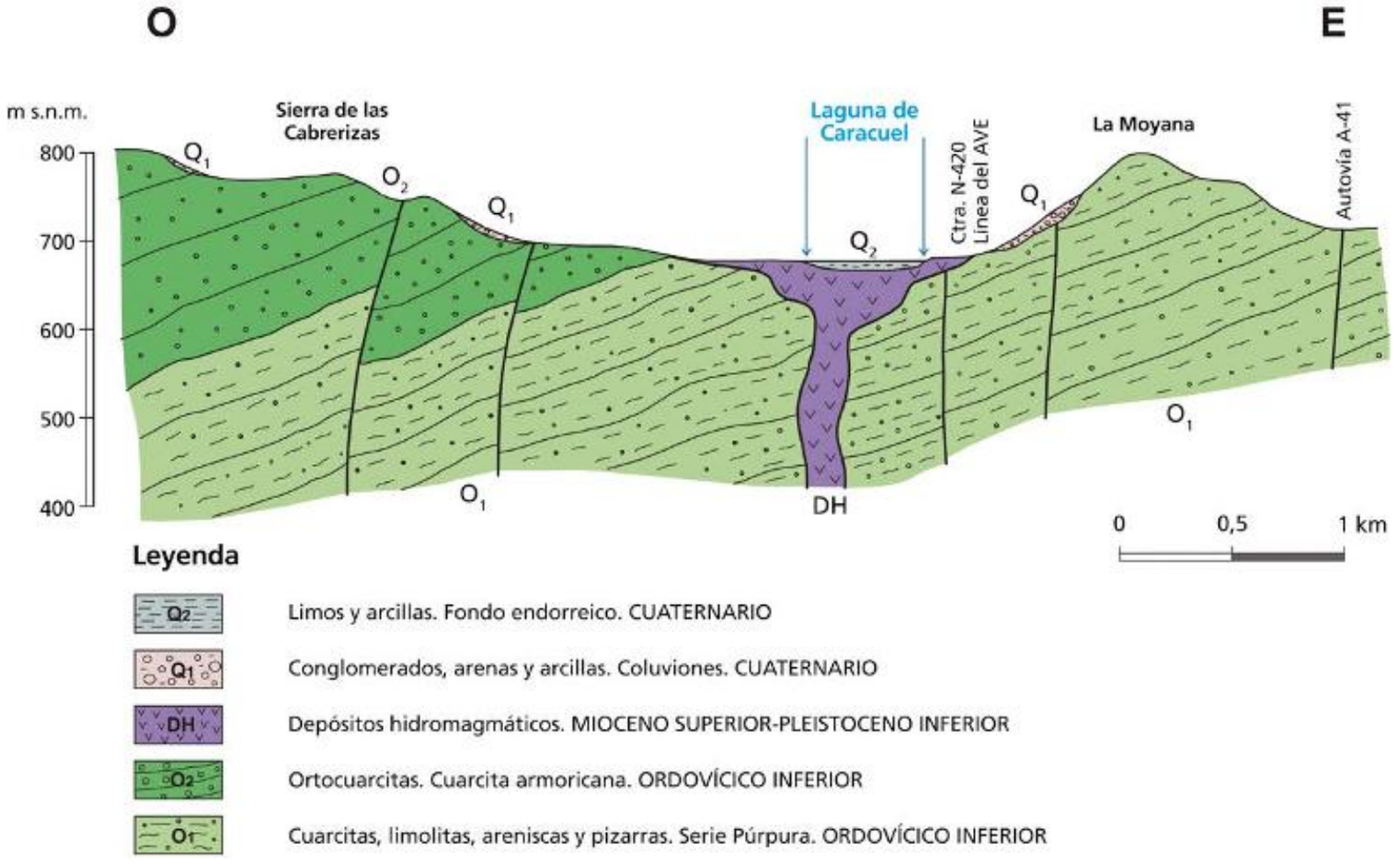


Figura 11.11. Corte geológico de la laguna de Caracuel

Hidrogeología

La superficie que vierte sus aguas a la laguna de Caracuel es de reducidas dimensiones y su zona inundable se ubica en el centro de la depresión creada por el antiguo cráter volcánico que responde a una morfología de tipo *maar*. En el caso de Caracuel esta morfología se encuentra, además, encajonada entre las crestas cuarcíticas descritas en el apartado anterior.

Respecto al comportamiento hidrogeológico de las formaciones geológicas (Tabla 11.5), el predominio corresponde a los materiales de permeabilidad media (Tipología B: 51%), entre los que se encuentran principalmente las cuarcitas armoricanas y los coluviones constituidos por cantos, gravas, arenas y arcillas y, en un porcentaje mucho menor, completan esta tipología las rañas del Plioceno (conglomerados, arenas y arcillas) y el fondo de valle constituido por gravas, arenas y limos.

La baja permeabilidad (Tipología C: 40%) se le atribuye a los conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras del Ordovícico, a los depósitos hidromagmáticos de edad Mioceno superior-Pleistoceno inferior y a las costras carbonadas pliocenas. El 9% restante está representado por limos y arcillas del fondo endorreico, a los que se les asigna una permeabilidad muy baja a nula (Tipología D).

La mayor parte de los afloramientos del entorno lagunar pertenecen al Ordovícico inferior (Figura 11.10), representado por algunas litologías que permiten constituir acuíferos locales, aunque de escaso interés hidrogeológico. Es este sentido, la formación con mejor comportamiento hidrodinámico corresponde a las cuarcitas armoricanas (O_2), que aflora a lo largo de toda la franja noroccidental de la cuenca, donde llega a tener un espesor superior a los 200 m. La configuración geológica y la composición litológica de esta formación le confiere una permeabilidad media por fisuración y permite la existencia de un acuífero local de moderada entidad, que es drenado por algunos manantiales de escaso caudal que alimentan la laguna.

El acuífero asociado a la laguna conecta hidráulicamente con ella en su extremo noroccidental, tanto a través de las gravas y arenas del Pliocuaternario, con permeabilidad por porosidad intergranular, como por los manantiales que lo drenan y vierten sus aguas a ella. La base de este sistema hidrogeológico viene dada por las alternancias de cuarcitas, limolitas, areniscas y pizarras (O_1) del Ordovícico inferior que, con otros 200 m de espesor, tienen un comportamiento de baja permeabilidad.

Por su parte, el vaso lagunar se dispone sobre los depósitos hidromagmáticos 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, tienen escaso espesor y relevancia hidrogeológica.

El flujo subterráneo está condicionado por los afloramientos de las cuarcitas del sector noroccidental, cuya

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
Formación geológica	**Edad**	**Tipología**	**%**
Cuarcita armoricana	Ordovícico	B	51
Conglomerados, arenas y arcillas	Plioceno	B	
Cantos, gravas, arenas y arcillas	Pleistoceno-Holoceno	B	
Gravas, arenas y limos	Holoceno	B	
Conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras	Ordovícico	C	40
Costras carbonatadas	Plioceno	C	
Depósitos hidromagmáticos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	
Limos y arcillas	Cuaternario	D	9
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Tabla 11.5. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de Caracuel

permeabilidad y disposición estructural han permitido la existencia de un acuífero que es drenado por los mencionados manantiales en las inmediaciones del área inundada, el principal de los cuales está regulado por un pequeño embalsamiento. Adicionalmente, las formaciones pliocuaternarias del entorno del humedal, con una permeabilidad baja por porosidad intergranular, contienen ciertos niveles de agua, en el que el flujo se orienta hacia la laguna según una morfología concéntrica, que son captados por algunos pozos con caudales muy reducidos.

En consecuencia, el acuífero asociado a la laguna, constituido por cuarcitas armoricanas del Ordovícico inferior, conecta hidráulicamente con ella en su extremo noroccidental, tanto a través de las gravas y arenas del Pliocuaternario como por los manantiales que lo drenan y vierten sus aguas a ella (Figura 11.12).

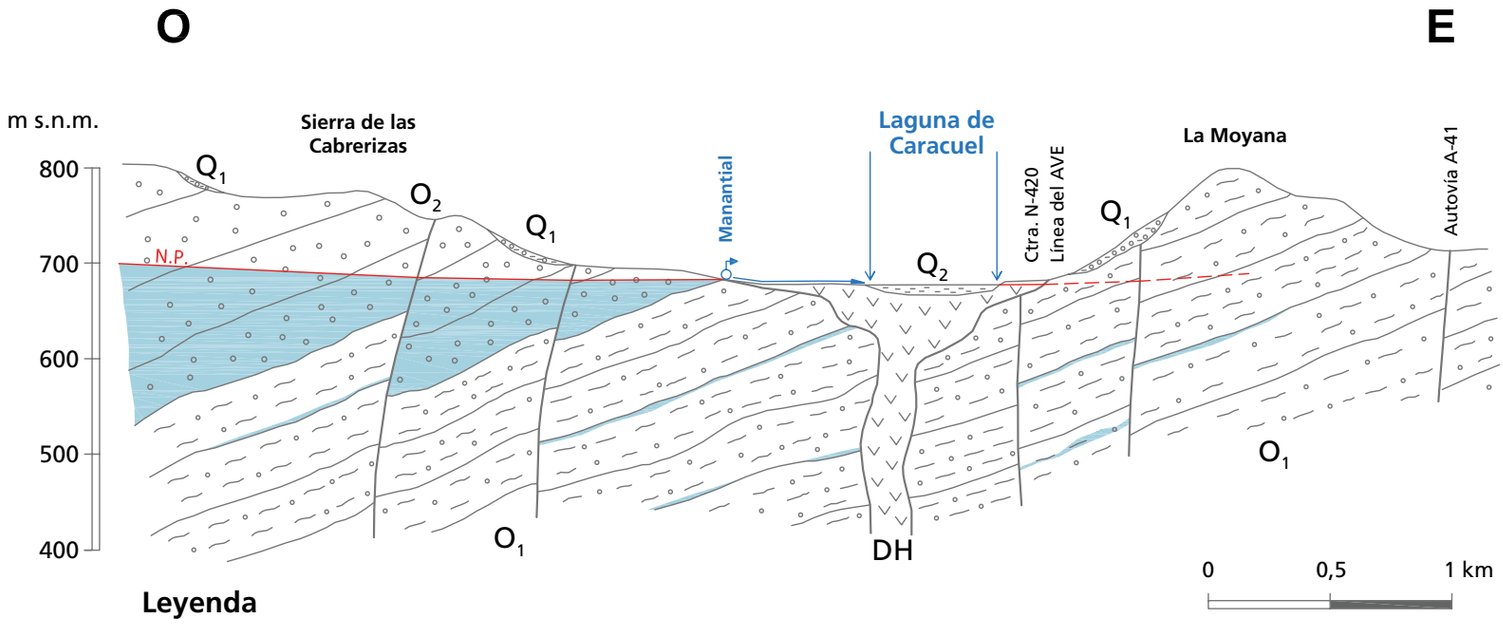
Hidroquímica

Durante el periodo de elaboración de la presente publicación, año 2022 y primer semestre de 2023, la laguna no ha tenido agua en ningún momento, resultando imposible tomar una muestra para su análisis químico.

De manera que se incluye en este apartado las características hidroquímicas recogidas en el estudio que de esta laguna se realiza en Camuñas *et al.* (2018), correspondiente a una muestra de agua tomada el 27 de noviembre de 2014.

La analítica presenta un pH algo elevado, de 9,50, y una CE de 4.060 µS/cm. Los aniones mayoritarios arrojan valores de 1.290 mg/L para los cloruros y de 149 mg/L para los sulfatos. Los cationes sodio, magnesio y potasio se

Figura 11.12. Perfil hidrogeológico de la laguna de Caracuel



Leyenda

- Q_2 Limos y arcillas. Fondo endorreico. CUATERNARIO
- Q_1 Conglomerados, arenas y arcillas. CUATERNARIO
- DH Depósitos hidromagmáticos. MIOCENO SUPERIOR-PLEISTOCENO INFERIOR
- O_2 Ortocuarcitas. Cuarcita armoricana. ORDOVÍCICO INFERIOR
- O_1 Cuarcitas, limonitas, areniscas y pizarras. ORDOVÍCICO INFERIOR
- Formaciones permeables saturadas de agua

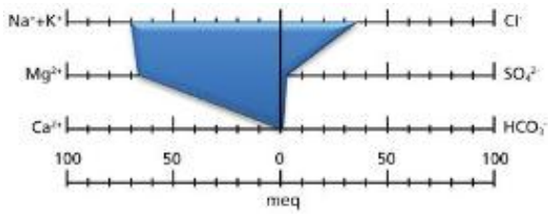


Figura 11.13. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna de Caracuel tomada en noviembre de 2014

mantienen en proporciones similares a los aniones, esto es, en cantidades muy elevadas en el humedal. La facies hidroquímica de la laguna es clorurada sódico-magnésica (Figura 11.13).

La comparativa entre los principales parámetros del agua del humedal y los recogidos en el Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, se expone en la Tabla 11.6.

	FECHA DE TOMA			NOVIEMBRE 2014	VALORES PARAMÉTRICOS FIJADOS EN EL R.D. 3/2023
	PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	*VALOR DE LA ANALÍTICA* LAGUNA	
Parámetros químicos	Arsénico	As	µg/L	19	**10**
	Boro	B	mg/L	1,433	**1,0**
Parámetros indicadores	Cloruro	Cl	mg/L	1.290	**250**
	Conductividad	CE	µS/cm	4.060	**2.500**
	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 11.6. Comparativa de la muestra de la laguna con el agua para consumo humano (en rojo los valores que superan los umbrales establecidos para consumo humano como agua potable)

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

La laguna de Caracuel es una zona húmeda somera de carácter temporal, en la que la lámina de agua puede alcanzar varias decenas de centímetros durante buena parte del año en periodos húmedos, con máximos esporádicos de hasta 2 m, pero que puede permanecer sin agua durante años en secuencias climatológicas secas de larga duración, como la actual 2013/2023.

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 importante en su génesis y supervivencia, ya que en su entorno se encuentran algunos manantiales de carácter efímero, procedentes de su acuífero asociado, que le aportan sus caudales y permiten una cierta inundación de su vaso en periodos climáticos medios o húmedos. A unos 500 m al oeste de la laguna se encuentra una surgencia de carácter permanente que, en condiciones naturales, aportaba agua al vaso lagunar.

Sin embargo, sus recursos hídricos están regulados de forma parcial por una represa para aprovechamiento agrícola, por lo que la intervención humana sobre este ecosistema es importante.

En consecuencia, la alimentación del humedal se debe esencialmente a la precipitación directa, a los aportes de aguas subterráneas procedentes de su acuífero asociado y, en mucha menor medida, a la escorrentía superficial. 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 del agua de la laguna.

Balance hídrico

Para la determinación del balance hídrico de la laguna de Caracuel, tal y como se expone en el capítulo donde se desarrolla la metodología seguida para su cálculo, se ha utilizado el código informático RENATA basado en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua al sistema. Las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento, a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (623,53 ha) y a los aportes de aguas subterráneas procedentes de manantiales y de la alimentación difusa. Por su parte, las salidas son debidas a la evapotranspiración producida sobre la lámina de agua libre, limitada por el volumen de agua disponible en cada momento. En este contexto, también hay que tener en cuenta las detracciones para riego de aguas subterráneas que, de forma natural, alimentaban al humedal.

Según lo expuesto, el balance hídrico de la laguna puede quedar simplificado en la siguiente expresión:

$$\Delta V_t = PPD_t + ESC_t + ASB_t - EVP_t - DEA_t$$

donde,

ΔV_t *variación del volumen de agua en el intervalo t*
PPD_t *precipitación* directa en la lámina de agua
ESC_t *escorrentía superficial a la laguna*
ASB_t *aportes subterráneos*
EVP_t *evaporación en la lámina de agua libre*
DEA_t *detracciones antrópicas (riego)*

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del modelo digital del terreno (MDT) con tamaño de celda de 5 x 5 m del Centro Nacional de Información Geográfica. El procesamiento de esta información ha permitido relacionar la superficie de la lámina libre con el volumen total de agua acumulada según distintos niveles de profundidad y para intervalos centimétricos (Figura 11.14). Por su parte, los datos sobre la profundidad de la lámina de agua son muy escasos y se circunscriben a los obtenidos en el proyecto Ecolake desde enero de 2013 a julio de 2014.

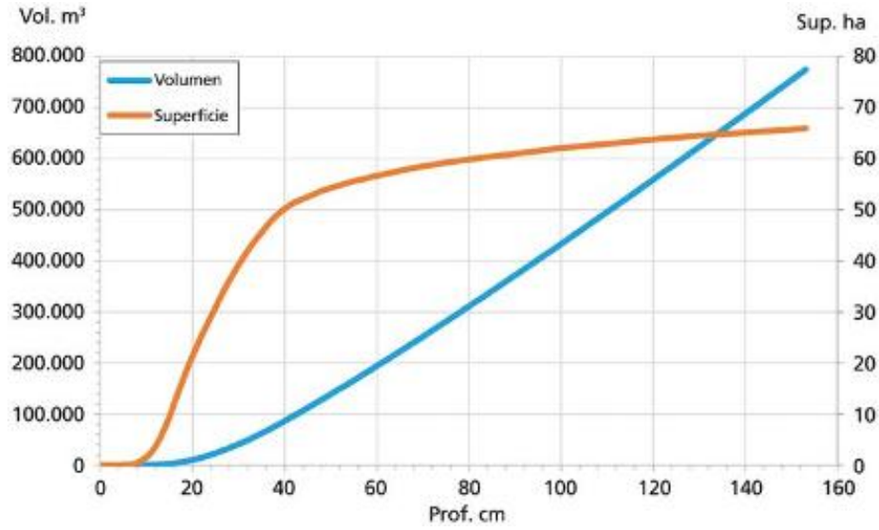


Figura 11.14. Curvas hipsométricas en el vaso de la laguna de Caracuel: relación entre profundidad, volumen almacenado y superficie de la lámina de agua

La evaporación en la lámina de agua libre, establecida en cada momento por la curva hipsométrica, se ha calculado a nivel diario mediante la expresión de Penman (1948) a partir de las series de temperatura máxima y mínima de la estación climática 4121 (Ciudad Real), así como de las correspondientes a la radiación solar y velocidad media del viento. En los años con datos limnimétricos (2013 a 2014) la evaporación resultante fue de 1.350 mm/a (Figura 11.15), muy superior a la precipitación media anual de 432 mm/a (4163 Corral de Calatrava). Para el albedo se ha aplicado el valor de 0,06, característico de una superficie de agua libre a una temperatura <30 °C, y la presión de vapor se ha estimado a partir de la curva que la relaciona con la temperatura del punto de rocío y esta a partir de la temperatura mínima.

La escorrentía superficial que accede a la zona inundable se ha estimado con el código RENATA, para lo cual se ha discretizado la superficie de la cuenca vertiente en celdas de 100 x 100 m (Figura 11.16). La metodología aplicada para el cálculo de la lluvia útil parte del balance hídrico del suelo diseñado por Thornthwaite a nivel diario modificado por G. Girard. Para obtener la escorrentía se ha utilizado el método racional a partir del número de curva (NC) del USSCS, y para la evapotranspiración se ha aplicado el de Hargreaves a partir de las series diarias de temperatura máxima y mínima de la estación de Ciudad Real (4121), y de la precipitación de la estación Corral de Calatrava (4163). El valor de los parámetros asignados (Tabla 11.7 y Figura 11.16)

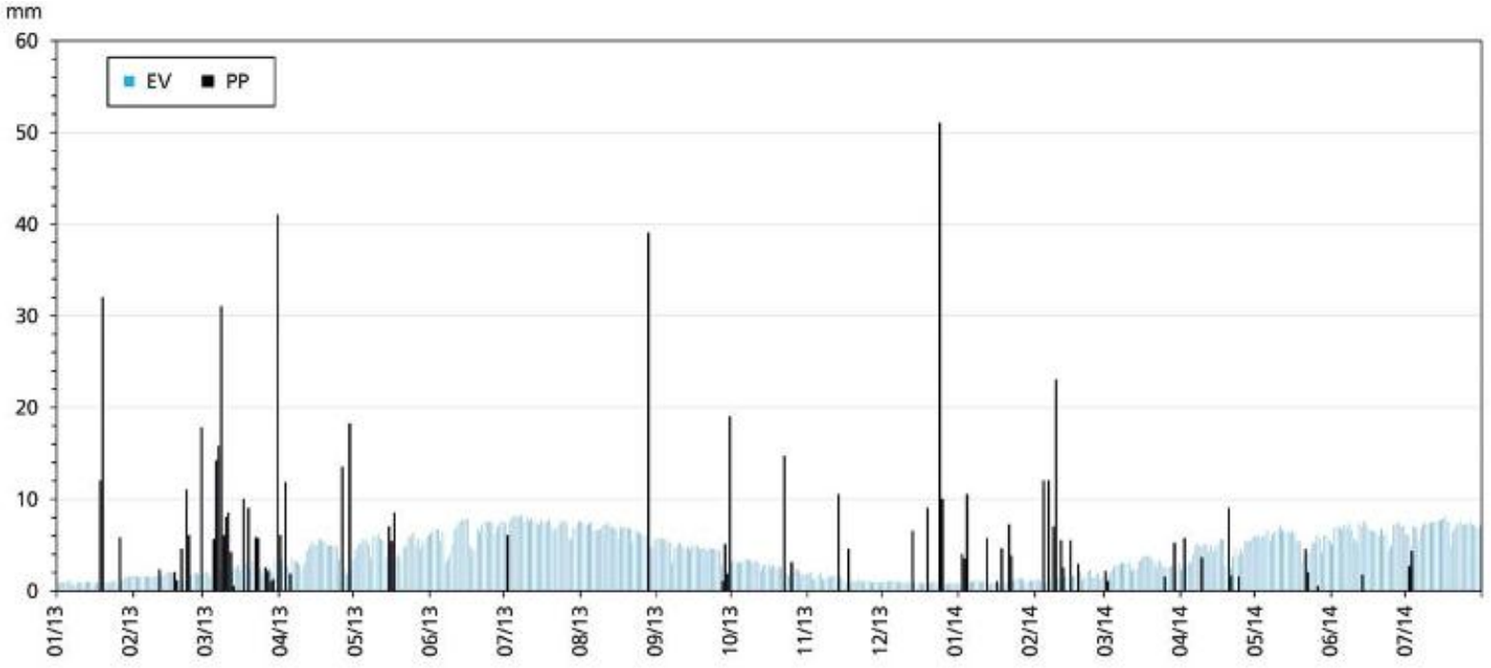


Figura 11.15. Precipitación directa y evaporación en lámina de agua libre en la laguna de Caracuel

se ha determinado a partir de las características de las distintas formaciones geológicas aflorantes en la cuenca y de los empleados para la estimación de la escorrentía en otras lagunas del Campo de Calatrava. Verificando, siempre, su coherencia con las características hidrológicas de la zona.

LITOLOGÍA	SUPERFICIE ha	PARÁMETROS	ESCORRENTÍA m^3/a
Cuarcita armoricana	169,63	RU_{min} = 50 mm RU_{max} = 75 mm P_0 = 20 mm NC = 72	2.315
Gravas y arenas pliocuaternarias	125,47	RU_{min} = 75 mm RU_{max} = 100 mm P_0 = 20 mm NC = 72	983
Conglomerados, areniscas y arcillas	189,71	RU_{min} = 100 mm RU_{max} = 125 mm P_0 = 10 mm NC = 84	5.504
Rocas magmáticas	84,31	RU_{min} = 85 mm RU_{max} = 115 mm P_0 = 10 mm NC = 84	2.840
Vaso impermeable*	57,41		
Total	**626,53**		**11.642**

Tabla 11.7. Escorrentía superficial de la laguna de Caracuel. Parámetros y resultados (periodo 1972 a 2021)

** Contemplada en la precipitación directa caída sobre la lámina de agua*

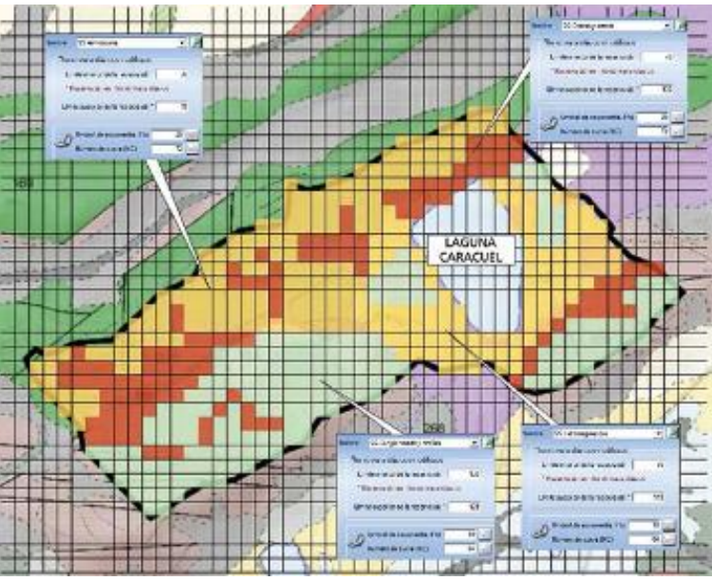


Figura 11.16. Modelo RENATA de la laguna de Caracuel para el cálculo de la escorrentía superficial. En cuadros de color azul, parámetros del suelo asignados

Por otra parte, se ha estimado en unos 56.500 m³/a el aprovechamiento del manantial que alimenta a la zona húmeda. Este volumen, distribuido entre los meses de marzo a octubre, se destina al riego de unas 14,65 ha de olivar, a las que se les ha adjudicado una dotación de 3.850 m³/ha/a.

En cuanto a la determinación de los aportes de agua subterránea al humedal, los parámetros utilizados en el código RENATA se han calibrado previamente a partir del cálculo del balance hídrico para el periodo del que se dispone de datos limnimétricos (junio 2013-octubre 2013) y en el que la precipitación fue mínima y, por tanto, el término correspondiente a la escorrentía superficial puede ser despreciado. En consecuencia, si se considera sólo la evaporación y la precipitación directa, el contraste del resultado obtenido con los valores reales medidos indicaría un importante déficit de agua para el llenado de la laguna. Dado que dicho déficit no existe, el volumen equivalente corresponde a aportes de agua subterránea procedentes del acuífero colindante, que se encuentra en conexión hidráulica con el humedal.

Con el esquema de funcionamiento establecido se ha diseñado un modelo de infiltración y flujo de agua subterránea, mediante la aplicación RENATA, en el que el acuífero asociado se extiende sobre gran parte de los afloramientos de cuarcitas armoricanas aflorantes al noroeste de la cuenca vertiente al humedal, excediendo los límites de esta, así como sobre los materiales pliocuaternarios del interior de la propia cuenca. Según esto, el área del acuífero que drenaría hacia la laguna tendría una superficie de 2,93 km², de la que 2,26 km² corresponderían a las cuarcitas armoricanas y 0,67 km² a gravas y arenas pliocuaternarias (Figura 11.17).

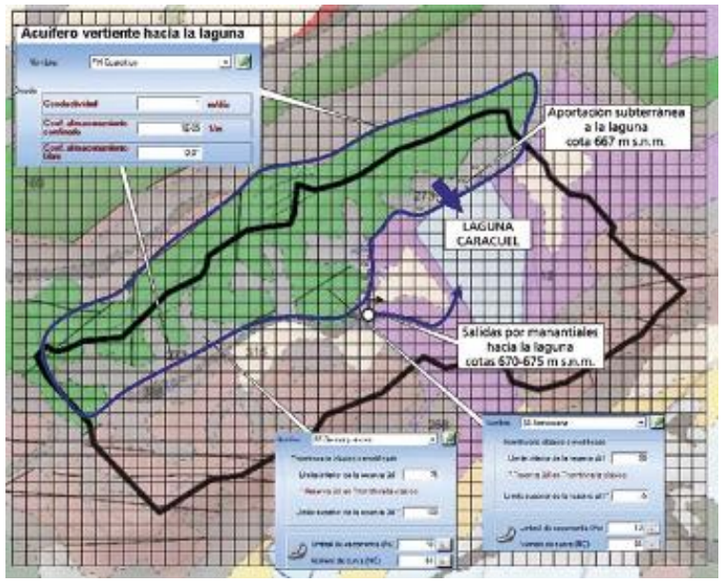


Figura 11.17. Modelo RENATA para la determinación de los aportes subterráneos a la laguna de Caracuel. En cuadros de color azul parámetros del suelo asignados

En la simulación matemática, la asignación de parámetros y la delimitación del acuífero drenante se han establecido a partir de las propiedades hidrogeológicas de las diferentes formaciones y el contraste entre los resultados obtenidos y los datos reales medidos. Para el techo del acuífero se ha tomado la cota topográfica, mientras que el muro se ha ubicado a una cota constante de 650 m.

Para obtener los aportes subterráneos que recibe la laguna, se han situado celdas de drenaje en su límite septentrional a una cota de 667 m s.n.m., y en el sector occidental celdas con manantiales localizados entre 670 y 675 m s.n.m.

Calibración de los aportes subterráneos

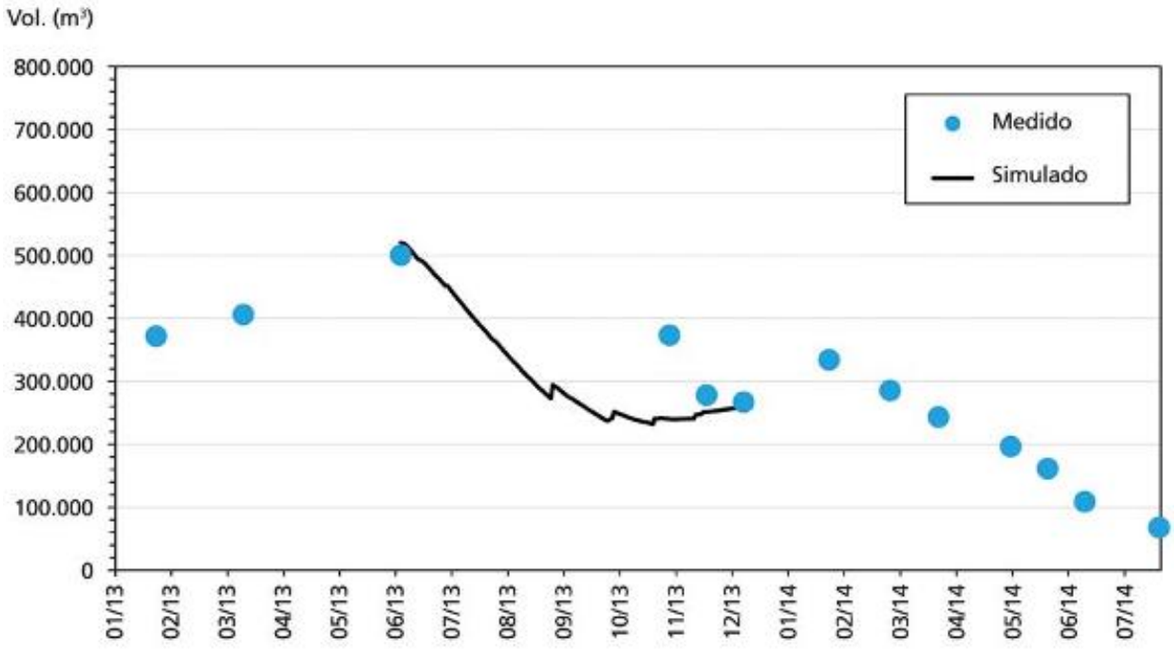
La estimación de la infiltración del agua de lluvia en el acuífero asociado, que finalmente contribuye a alimentar a la zona húmeda, se ha obtenido por el método del balance del suelo de Thornthwaite a nivel diario modificado por G. Girard, con los mismos parámetros empleados para estimar la escorrentía superficial. Finalmente, se ha determinado la recarga del acuífero para los dos años en los que existen medidas limnimétricas (Tabla 11.8).

Los parámetros hidráulicos del acuífero que mejor se ajustan a lo observado (Figura 11.10) han sido 1 m/d para la conductividad hidráulica, 0,01 para la porosidad eficaz y $1x10^{-5}$ m^{-1} para el coeficiente de almacenamiento específico. La comparativa entre los valores simulados y medidos muestra un aceptable grado de ajuste (Figura 11.18) e indica que el acuífero se erige en agente modulador de la alimentación a la laguna, drenando lentamente sus caudales hacia ella (Figura 11.19). Los parámetros hallados, aplicados a la simulación del periodo de 50 años (de 1971 a 2021), han permitido establecer los aportes subterráneos medios a la laguna en 0,228 hm^3/a, de los que 0,112 hm^3/a corresponden a manantiales y los 0,116 hm^3/a restantes, a alimentación directa oculta a través de su vaso.

Tabla 11.8. Parámetros utilizados y resultados obtenidos de la infiltración natural en el acuífero asociado a la laguna de Caracuel (periodo 2013 a 2014)

LITOLOGÍA	SUPERFICIE km^2	PARÁMETROS	PRECIPITACIÓN		INFILTRACIÓN		TASA DE RECARGA
			mm/a	hm^3/a	mm/a	hm^3/a	
Cuarcita armoricana	2,26	RU_{min} = 50 mm RU_{max} = 75 mm P_0 = 10 mm NC = 84	431,6	0,975	102,6	0,189	19,4%
Gravas y arenas pliocuaternarias	0,67	RU_{min} = 75 mm RU_{max} = 100 mm P_0 = 10 mm NC = 84	431,6	0,289	71,7	0,048	16,6%
Aportes subterráneos en el periodo						0,237	18,7%

Figura 11.18. Volumen almacenado en la laguna simulado y medido en el periodo estival utilizado para la calibración (junio 2013 a octubre 2013)



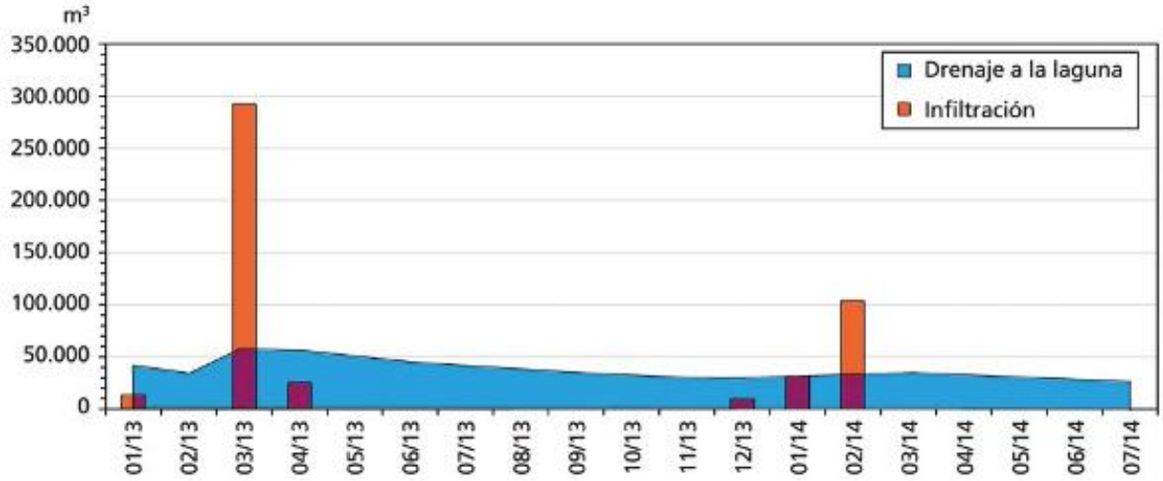


Figura 11.19. Aportaciones mensuales a la laguna de Caracuel por entradas subterráneas ocultas y manantiales procedentes de su acuífero asociado (enero 2013 a julio 2014)

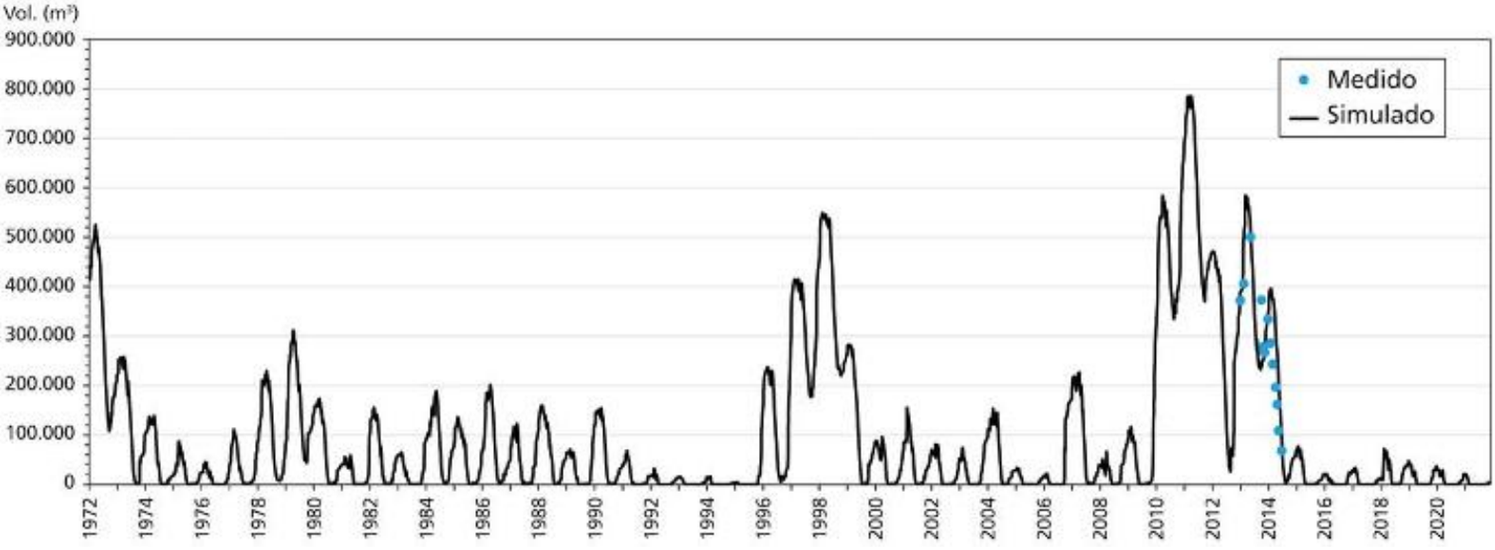
Determinación del balance hídrico

Con los parámetros calibrados se ha simulado y representado a nivel diario, junto con los valores reales medidos, el volumen almacenado en el periodo temporal del que se dispone de medidas limnimétricas, así como para el periodo de 50 años (Figura 11.20). Destaca especialmente el gran volumen almacenado durante los intensos periodos de lluvia de la segunda mitad de la década de los noventa y de 2010 a 2013.

Los resultados muestran que el volumen medio almacenado en el vaso de la laguna es del orden de 100.000 m³, equivalente a una superficie inundada de 50 ha, y que durante el 48% del tiempo almacena unos 25.000 m³, con una extensión de 30 ha. Por otro lado, el 10% del tiempo el humedal se encuentra seco (Figura 11.21), siendo especialmente relevante el periodo transcurrido entre marzo y octubre de 1995, con un total de 235 días, coincidente con el final de la intensa sequía de la primera mitad de la década de los 90.

El balance hídrico medio anual indica que la laguna se alimenta principalmente de agua subterránea, establecida en 0,228 hm³/a, es decir el 57% de los aportes totales, seguida por la precipitación directa caída sobre la zona inundada, cifrada en 0,161 hm³/a, equivalente al 40% de su alimentación, y, de manera casi

Figura 11.20. Volumen almacenado en la laguna simulado y medido. Periodo 1972 a 2021



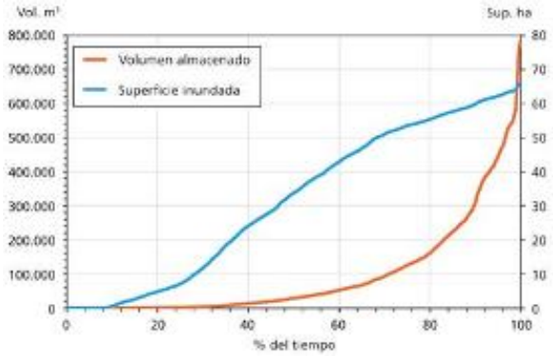


Figura 11.21. Distribución temporal (en %) de la superficie inundada y del volumen almacenado en la laguna de Caracuel

testimonial por la escorrentía superficial, que en este caso es de tan sólo 0,012 hm³/a, correspondiente al 3% restante. En cuanto al volumen de las salidas, 0,401 hm³/a, se producen mayoritariamente por evapotranspiración (86%) y, en menor medida, por las detracciones para riego del manantial que drena hacia la laguna (14%) (Tabla 11.9 y Figura 11.22).

Tabla 11.9. Balance hídrico medio anual de la laguna de Caracuel. Periodo 1972 a 2021

PP MEDIA mm	CUENCA VERTIENTE km²	ACUÍFERO DRENANTE km²	ENTRADAS hm³					SALIDAS hm³	
			PP directa	Escorrentía superficial	Aguas subterráneas			Explotación	EVP directa
					Directa	Manantiales	Total		
440	6,27	2,93	0,161	0,012	0,116	0,112	0,228	0,057	0,344
			40%	3%	57%			14%	86%

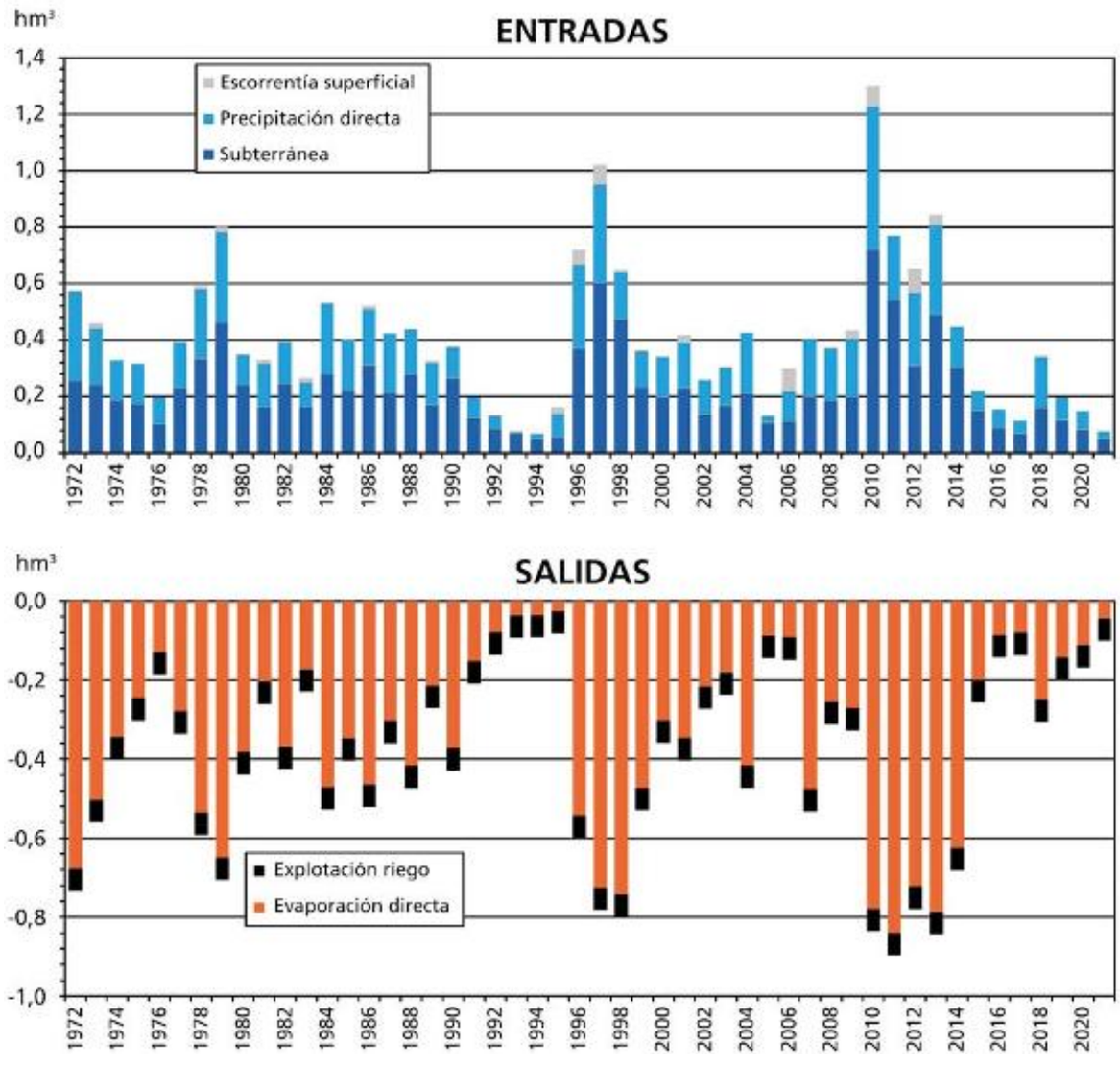


Figura 11.22. Balances hídricos anuales de la laguna de Caracuel

Evolución visual del territorio

El perímetro lagunar y su entorno más inmediato no han sufrido modificaciones relevantes en los últimos 60 años, como se puede apreciar en las dos imágenes comparativas de la Figura 11.23, 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 11.24 a 11.27 muestran el marcado carácter endorreico y estacional de la laguna, con largos periodos sin encharcamiento de su vaso y épocas excepcionalmente húmedas, como el periodo 2009/13, en que la laguna alcanza su nivel máximo de inundación.



Figura 11.23. Foto aérea comparativa del vuelo americano 1956-57 y ortofoto PNOA 2018 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 11.24. Panorámica de la laguna con la sierra de Perabad al fondo en noviembre de 2013 (B.J. Ballesteros)



Figura 11.25. Vegetación y aspecto de la laguna en la primavera del año 2018 (C. Camuñas)



Figura 11.26. Vista general de la laguna de Caracuel en agosto de 2022 (C. Camuñas)



Figura 11.27. Avifauna en la primavera de 2018 (C. Camuñas)





Capítulo 12

Laguna Blanca

Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno





12. LAGUNA BLANCA

Situación geográfica y accesos

La laguna Blanca se encuentra en el término municipal de Argamasilla de Calatrava, a unos 2,5 km al norte de esta población, la cual dista unos 29 km de Ciudad Real, provincia a la que pertenece (Figura 12.1). La cota de su punto central es de 661,0 m s.n.m. y sus coordenadas son X: 405.720, Y: 4.290.125 (UTM ETRS89 H30) según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

Aunque no tiene impedimentos físicos para su acceso, no es sencillo llegar a ella al estar recorrido todo su



Figura 12.1. Situación geográfica de la laguna Blanca (hoja 810 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

flanco oriental por la vía de alta velocidad que une Madrid con Andalucía. Si se viene desde Ciudad Real o desde Puertollano, la forma más adecuada para hacerlo es tomar la Autovía A-41 hasta llegar a la salida norte de Argamasilla de Calatrava. Después de girar en la gran glorieta allí existente, se sale por la carretera N-420 en dirección norte. Recorridos unos 200 m se ha de virar bruscamente hacia la izquierda y transitar, en sentido opuesto, por un tramo abandonado de la antigua carretera N-420. A unos 500 m de este punto se encuentra un camino rectilíneo que sale hacia la derecha con dirección norte. Después de recorrer 1,3 km por este camino, se llega a un paso inferior de la vía férrea, y tras el cual se encuentra la laguna. El camino sigue por su límite oriental, donde se ha construido una pequeña instalación para la observación de aves. El humedal, que se encuentra rodeado por una valla perimetral, puede ser rodeado siguiendo esta vía, si bien en su extremo norte se aleja algo de ella. A lo largo de este recorrido y en su límite sur también existe una pequeña zona recreativa que dispone de una plataforma de observación (Figura 12.2).

Figura 12.2. Área recreativa en el borde sur de la laguna (B.J. Ballesteros)

Características fisiográficas

La laguna Blanca es un humedal salino, estacional y, como el resto de las estudiadas, de origen volcánico. Coherente con su génesis, tiene una forma bastante redondeada. Con la excepción en el sector sureste, donde adquiere una ligera concavidad, con un diámetro de casi 700 m y un perímetro de 2,28 km de longitud (Figura 12.3). Salvo por esta modificación, de origen antrópico, la forma de la laguna dibujaría un círculo casi perfecto.

La superficie de la cubeta lagunar, incardinada entre colinas de suave relieve y ocupadas en su mayor parte por cultivos de secano, alcanza las 37,87 ha.





Figura 12.3. Vaso lagunar de la laguna Blanca (ortofoto PNOA 2018. Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

Historia y cultura

En las inmediaciones de esta laguna se han encontrado restos habitacionales del Paleolítico, Edad del Hierro y Época Romana. En el núcleo urbano de Argamasilla de Calatrava también existen vestigios romanos y visigodos. En sus comienzos, esta población fue un pequeño asentamiento militar fundado después de la batalla de las Navas de Tolosa (1212) alrededor de un torreón del que actualmente no quedan vestigios, a cuyo abrigo se acogieron los primeros pobladores. Tras el triunfo cristiano en esta batalla, y la retirada definitiva del dominio musulmán, la Orden de Calatrava se asentó en el territorio.

En 1216 el Maestrazgo de la Orden se trasladó al Sacro Convento, en Aldea del Rey, localidad próxima a Argamasilla, y se creó un núcleo de asentamiento fruto de la política general de poblamiento promovida por los calatravos. Desde entonces, el topónimo figura como encomienda y se incorpora a la Obrería de Calatrava a principios del siglo XIV (Ciudad-Real.es, 2003b).

En el siglo XIV, Argamasilla ya consta como localidad perteneciente al Reino de Castilla. Entre 1305 y 1313 aparece segregada de la encomienda de Argamasilla de la villa de Almagro, constituyendo con Villamayor, por expreso mandato de la Orden de Calatrava, la llamada Obrería de la Orden. A finales del siglo XIV y principios del XV, se construye la iglesia de Santa María la Mayor. Posteriormente, a lo largo del siglo XVI, la población crece de forma notable hasta los 600 vecinos y se construyen las ermitas de los Santos Mártires y las de Nuestra Señora de la Esperanza y San Cristóbal.

En 1564 se crea el partido de Almodóvar del Campo, y Argamasilla se incorpora a éste perdiendo su independencia, pero recobrándola posteriormente en el año 1588 mediante el pago de 5.200 ducados. La impartición de justicia y gestión de la Villa la ejercía el Consejo y varios regidores perpetuos.

En 1566 Felipe II abolió la jurisdicción civil y criminal en primera instancia de estos pueblos y dividió los partidos en Alcaldías Mayores, por lo que Argamasilla pasó a depender del Alcalde Mayor de Almodóvar del Campo. En las Relaciones de Felipe II (1576) se hace mención a que el pueblo se llamaba *"Argamasilla por haber en algunas partes de su término algunas argamasas antiguas"*. D. Pedro Gaona en su *"discurso de la*

Villa de Argamasilla de Calatrava" (1585), sugiere que es nombre de raíz arábiga, aunque sin aducir razones que convenzan. Como dato curioso, la villa disponía de dos alcaldes nombrados por Felipe II, Pedro de Balbuena y Juan Pérez, uno gobernaba a los villanos y el otro a los hidalgos.

Durante el siglo XVII Argamasilla sufrió un periodo de crisis socioeconómica debido a la emigración a América y la expulsión de los moriscos. Así en 1652 la villa contaba con tan solo 150 vecinos. En el 1746 tuvo sus bienes concursados por no hacer frente a los réditos que los gravaban, y para poder atender los gastos más precisos del Concejo se impusieron durante 10 años varios arbitrios municipales de carácter extraordinario. En los años siguientes recobró la prosperidad, concediéndole el Estado secular de 1753.

D. José de Hosta (1867), autor de "Crónica de la Provincia Ciudad Real", refiere que "*la villa tenía 2.149 habitantes, existiendo 350 casas de uno y dos pisos, distribuidas en una plaza bastante espaciosa y doce calles empedradas, pero mal conservadas: la casa del ayuntamiento, reedificada en 1776 donde el antiguo pósito servía de cárcel. El terreno de su término municipal es llano, de miga y secano, pero tiene algunas huertas regadas por medio de norias, alcanzándose algo de la cordillera de Puertollano. Los caminos del pueblo a pueblo son todos carreteros, pero mal cuidados y que entre los cultivos que se realizan están el trigo candela, cebada, centeno, garbanzos, judías, legumbres, vino y algo de aceite, manteniéndose en él ganado lanar, cabrío, vacuno y de cerda, y abundando en caza mayor y menor, animales carnívoros, víboras, alacranes y tarántulas. En el pueblo hay varias tiendas, tahonas, dos molinos de aceite y algunos otros establecimientos y las mujeres se dedican a la elaboración de blondas para la fábrica de Almagro*".

En la noche del 7 al 8 de mayo de 1898 se produce la quema de los archivos municipales como respuesta social a la subida del impuesto de consumos, mal recibida por la población. El pueblo se amotinó y asaltó el Ayuntamiento y el Juzgado con el Registro Civil, arrojando por los balcones el mobiliario, así como libros y documentos. Todo se quemó en una gran hoguera, mientras que el alcalde, que finalmente pudo salvar la vida, era perseguido. Otro hecho luctuoso fue la vandalización del pueblo al inicio de la Guerra Civil, con la destrucción de imágenes, altares y ornamentos religiosos, dejando a Argamasilla de Calatrava sin la mayor parte de su patrimonio histórico y artístico (Enciclopedia contributors, 2018).

Contexto socioeconómico

El término municipal de Argamasilla de Calatrava se extiende sobre una superficie de 165,94 km^2 y cuenta con 5.849 habitantes, 2.916 hombres y 2.933 mujeres, lo que supone una densidad de 35,25 hab/km^2 (INE, 2022). La población, que en 1960 era de más de 7.358 habitantes, sufre un descenso paulatino desde esa fecha, manteniéndose a partir de 2006 por encima de los 5.500 vecinos.

El sector servicios es la principal fuente de la actividad económica del municipio, con el 68,8% de las empresas censadas y 874 trabajadores, seguido de la construcción, con el 12,9%, y la agricultura con el 9,7% de las empresas. La industria es el menos importante con el 8,6% de las empresas (Tabla 12.1).

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	63	*3,9*	18	*9,7*
Industria	406	*25,3*	16	*8,6*
Construcción	246	*15,3*	24	*12,9*
Servicios	874	*54,5*	128	*68,8*
No consta	16	*1,0*	0	*0,0*
TOTAL	**1.605**	***100***	**186**	***100***

Tabla 12.1. Empresas y afiliación laboral en Argamasilla de Calatrava (Tesoreria General de la Seguridad Social, 2021)

La evolución ocupacional, a 31 de marzo de 2022 (Tabla 12.2), muestra un descenso del desempleo entre 2017 y 2019, para repuntar en los dos años siguientes y volver a caer notablemente en 2022.

AÑO	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Nº de parados	660	609	545	582	610	437

Tabla 12.2. Desempleados en Argamasilla de Calatrava (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha, SEPE)

En cuanto a los aprovechamientos agrarios, los últimos datos disponibles corresponden al censo de 2020 (Tabla 12.3), con casi la totalidad del municipio ocupado por las tierras labradas, en las que predominan las explotaciones herbáceas, con el 56,4% de las tierras cultivadas, y los leñosos, con un 31,9%. Por último, el 12% restante de la superficie rural se reparte casi a partes iguales entre pastos y otro tipo de cultivos.

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos		3.477,54		*56,4*
	Leñosos	**5.800,69**	1.962,19	*94,1*	*31,9*
	Otros		360,96		*5,8*
Pastos		**360,21**		*5,9*	
TOTAL		**6.160,90**		***100***	

Tabla 12.3. Explotación agraria y forestal en Argamasilla de Calatrava (Censo Agrario 2020, INE)

Normativa específica y figuras de protección

El vaso de la laguna Blanca está colonizado por diferentes especies de hábitats salinos (Figura 12.4) como los juncales de *Elymus curvifolius*.

El humedal está considerado como Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA), mediante los Decretos 82/2005 (DOCM, 2005) y 319/2008 (DOCM, 2008), por los que se declara y se amplía, respectivamente, la ZEPA "Campo de Calatrava", con el código Natura ES0000157. También está catalogado en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico con el código TM151, "Laguna Blanca y Volcán de Cabeza Parda", definido en el contexto de Ley 42/2007 como parte del Vulcanismo neógeno y cuaternario de la Península Ibérica (BOE, 2007), al tener interés desde los puntos de vista geomorfológico, estratigráfico e hidrogeológico. Por último, está incluido en el Inventario Español de Zonas Húmedas con el código IH422022 (BOE, 2019).

Figura 12.4. Vegetación halófila de ribera (B.J. Ballesteros)



Climatología

El análisis climático de la laguna se ha basado en el tratamiento de datos diarios del periodo comprendido entre los años 1972 y 2021. Para ello, se ha utilizado la información suministrada por la cercana estación meteorológica de Almodóvar del Campo (4207), localizada a una cota similar, perteneciente a la AEMET.

El hietograma (gráfico de intensidad de lluvia) de la estación 4207 muestra una precipitación media de 422 mm y una desviación típica de 123 mm. El valor mínimo de 172 mm se dio en el año 2005 y el máximo, 892 mm, en 2010 (Figura 12.5).

Por otra parte, el diagrama ombrotérmico (Figura 12.6) muestra un periodo de estiaje entre los meses de junio a septiembre.



Figura 12.6. Diagrama ombrotérmico del año medio

Figura 12.5. Hietograma de la precipitación anual en la estación Almodóvar del Campo (4207)

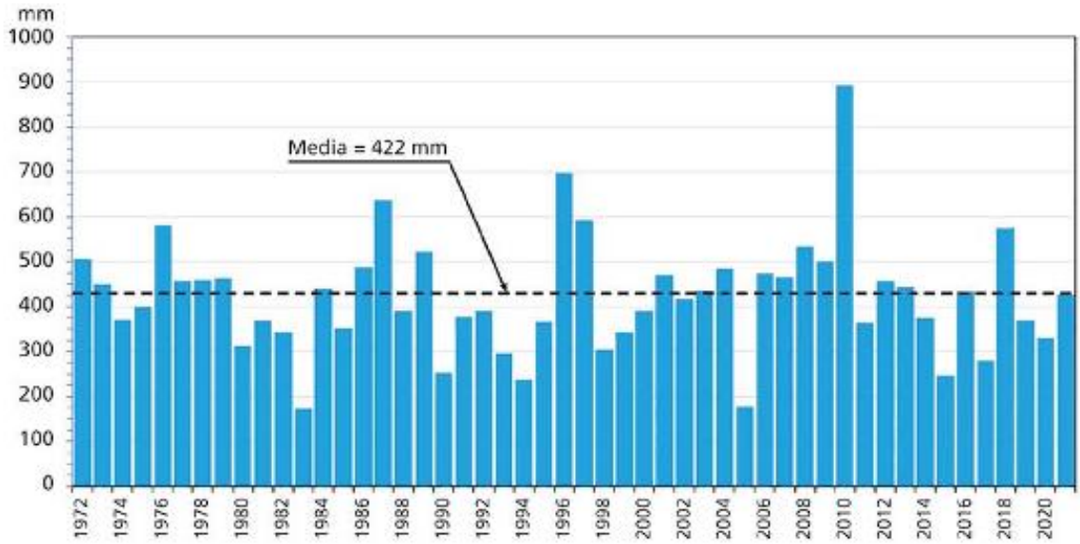
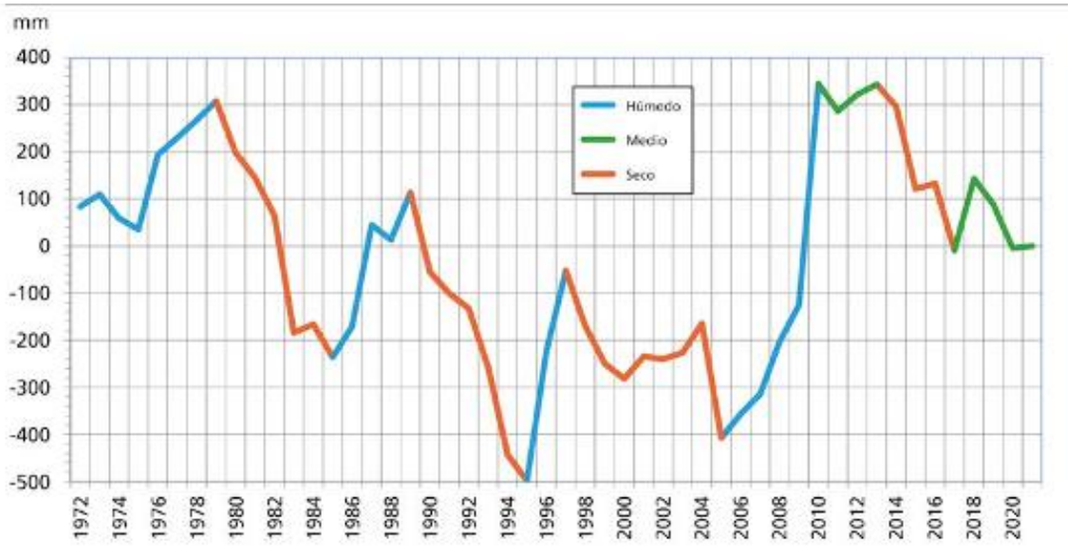


Figura 12.7. Desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media



La desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media de los 50 años de la serie analizada permite diferenciar 4 periodos húmedos, 4 secos y 2 medios, en los que los húmedos y secos suelen tener una duración de 4 a 8 años (Figura 12.7 y Tabla 12.4). Entre los primeros destaca el transcurrido entre 2006 y 2010, mientras que entre los más secos lo hace el que va desde 1990 a 1995. El último periodo de 4 años, entre 2018 a 2021, aún no bien definido, se ha considerado de tipo medio.

PERIODO	TIPOLOGÍA CLIMÁTICA	DURACIÓN (AÑOS)	PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN RESPECTO A LA MEDIA
1972 a 1979	Húmedo	8	9% superior
1980 a 1985	Seco	6	21% inferior
1986 a 1989	Húmedo	4	20% superior
1990 a 1995	Seco	6	24% inferior
1996 a 1997	Húmedo	2	53% superior
1998 a 2005	Seco	8	10% inferior
2006 a 2010	Húmedo	5	36% superior
2011 a 2013	Medio	3	-
2014 a 2017	Seco	4	20% inferior
2018 a 2021	Medio	4	-

Tabla 12.4. Análisis de los diferentes periodos climáticos entre 1972 y 2021

Hidrología

La cuenca hidrológica de la laguna Blanca es de difícil delimitación por encontrarse rodeada de colinas con un relieve muy suave, con una superficie pequeña que abarca 422,83 ha. Al contrario que su cubeta, presenta una morfología muy irregular con varias pequeñas cuencas que vierten hacia ella, especialmente por sus límites nororiental y noroccidental, en donde se alcanzan las mayores elevaciones del terreno (Figura 12.8). Por otra parte, al ser la superficie máxima inundable de 37,87 ha, el área vertiente supone más de 12 veces la de la propia laguna.

No existe ningún curso superficial reseñable y las vaguadas son muy amplias, estando ocupadas por cultivos herbáceos o arbóreos. El único que puede tener cierta entidad es el procedente del cerro de Valdelobos, que con sus 746 m s.n.m. se erige en la cota máxima de la cuenca hidrológica. La otra elevación digna de mención es el cerro de Santa María, localizado al noroeste, con 716 m s.n.m. Por tanto, la diferencia entre el punto más alto y el fondo de la cubeta del humedal (661 m s.n.m.) es de tan sólo 85 m, con una pendiente media entre ambos puntos en torno al 3%.

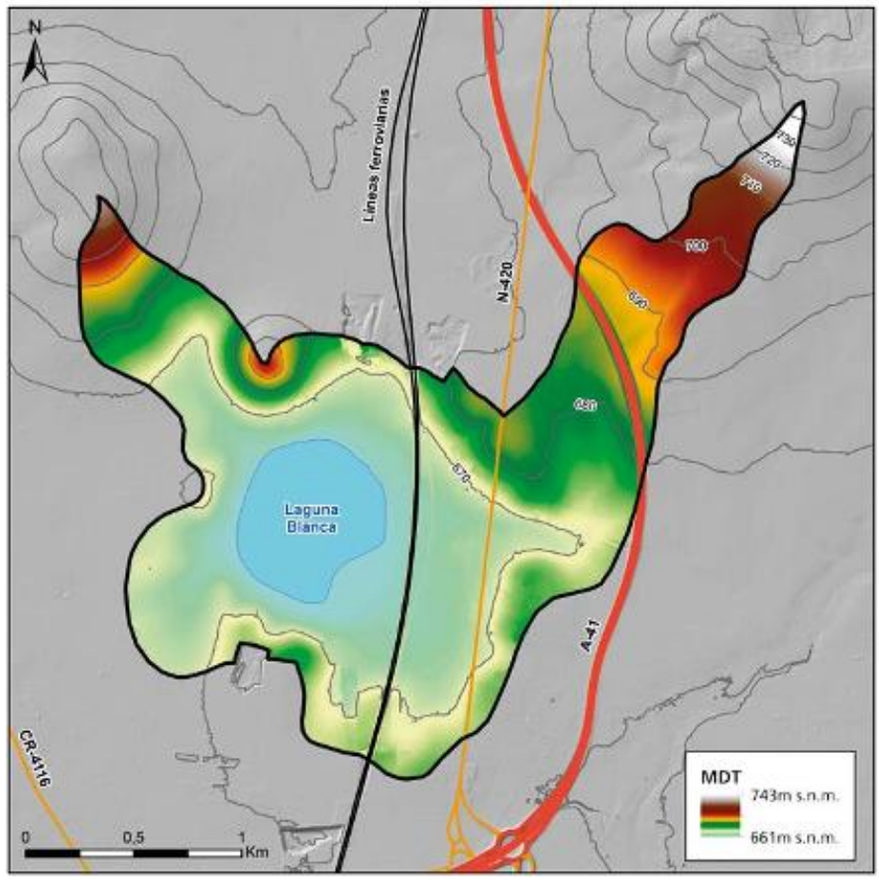


Figura 12.8. Cuenca hidrológica de la laguna Blanca

En otro orden de cosas, es de resaltar que la cuenca hidrológica está afectada por importantes estructuras lineales con dirección norte-sur que han condicionado el comportamiento de la escorrentía superficial. Estas son las líneas ferroviarias de alta velocidad y de tránsito de mercancías, que la atraviesan en su parte central, y la autovía A-41 que lo hace por el noreste, así como la carretera nacional N-420 que discurre entre las dos anteriores.

Geología

El área vertiente hacia la laguna Blanca está ocupada casi en su totalidad por rocas volcánicas, especialmente de origen hidromagmático, que forman el 41% de sus afloramientos y llegan a alcanzar el 84% del subsuelo más superficial de la cuenca al estar recubiertas en gran parte por sedimentos posteriores (Figura 12.9). Estos materiales son el resultado de la actividad magmática que ha originado el *maar* donde se ubica el humedal, amoldado a la típica morfología redondeada de esta clase de estructuras geológicas. No obstante, a mayor profundidad se encuentran materiales paleozoicos y precámbricos que constituyen la roca encajante de las efusiones magmáticas.

En el ámbito territorial de la laguna se pueden diferenciar, según su edad, dos grupos de formaciones. Por un lado, las muy antiguas que van desde el Precámbrico hasta el Ordovícico inferior y, por otro, los sedimentos mucho más modernos que abarcan desde el Mioceno superior hasta la actualidad, quedando incluidos en estos últimos las rocas eruptivas.

En la base de la secuencia litoestratigráfica se encuentran los materiales del Alogrupo Ibor (Figura 12.10), constituidos por conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras de edad Precámbrico-Cámbrico (PC), pero no llegan a aflorar. Sobre esta formación, y mediante discordancia, se apoyan los conglomerados, cuarcitas, areniscas, arcillas y pizarras del Ordovícico inferior (151 y O) que aparecen en superficie en el extremo nororiental de la cuenca, en donde se dan los relieves con mayor cota. Estos materiales tienen un gran espesor, ya que se estima que pueden superar los 600 m.

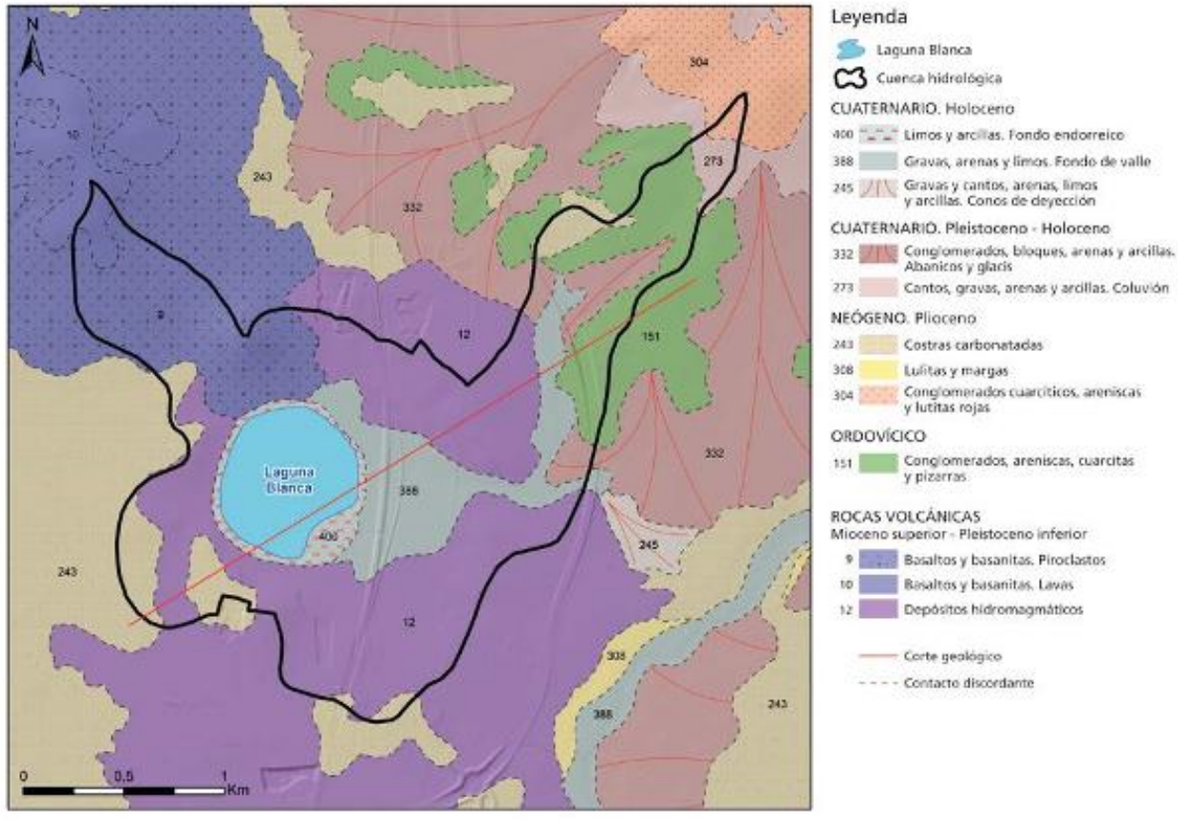


Figura 12.9. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna Blanca (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado C. Baquedano y C. Camuñas)

En orden cronológico, las siguientes formaciones corresponden a las rocas magmáticas generadas por la actividad volcánica entre el Mioceno superior y el Pleistoceno inferior (9, 10, 12 y DH). Constituyen depósitos de piroclastos y fragmentos de rocas meta-sedimentarias que ocupan la parte central del *maar* y se extienden en profundidad en su sector central, así como basaltos, basanitas, lavas y piroclastos. La erosión y meteorización de estos materiales genera buenos suelos agrícolas a los que, por su color negro o pardo, se les denomina *negrizales*. En muchos casos, los procesos atmosféricos han extendido su superficie por efecto de las aguas de arroyada.

En la cuenca también aparecen sedimentos pliocuaternarios compuestos por margas, arenas, lutitas y arcillas (PL), con eventuales pasadas de calizas y, ocasionalmente, gravas, sincrónicos con los materiales eruptivos. El espesor de este conjunto de sedimentos, originados por el relleno de las cuencas intramontañosas generadas durante el Terciario, aumenta hacia el oeste y llega a desaparecer al este de la laguna.

Por último, el fondo de la cubeta lagunar y buena parte del sector oriental de la cuenca está ocupado por depósitos recientes de fondo de valle, pertenecientes al Cuaternario (Q), compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas.

Hidrogeología

El entorno hidrogeológico de la laguna Blanca se caracteriza por la presencia mayoritaria de sedimentos pertenecientes al Ordovícico, compuestos por areniscas, cuarcitas, conglomerados y pizarras, que disponen de cierta aptitud hidrogeológica y se integran en la Masa de Agua Subterránea (MASb) 041.009 Campo de Calatrava. Esta formación geológica constituye el basamento paleozoico del sector y llega a aflorar en el sector nororiental de la cuenca con características hidrodinámicas aceptables. El resto de las formaciones, pertenecientes al Plioceno y al Cuaternario, constituyen litologías con cierta permeabilidad, por lo pueden contener niveles saturados con escasa relevancia hidrogeológica.

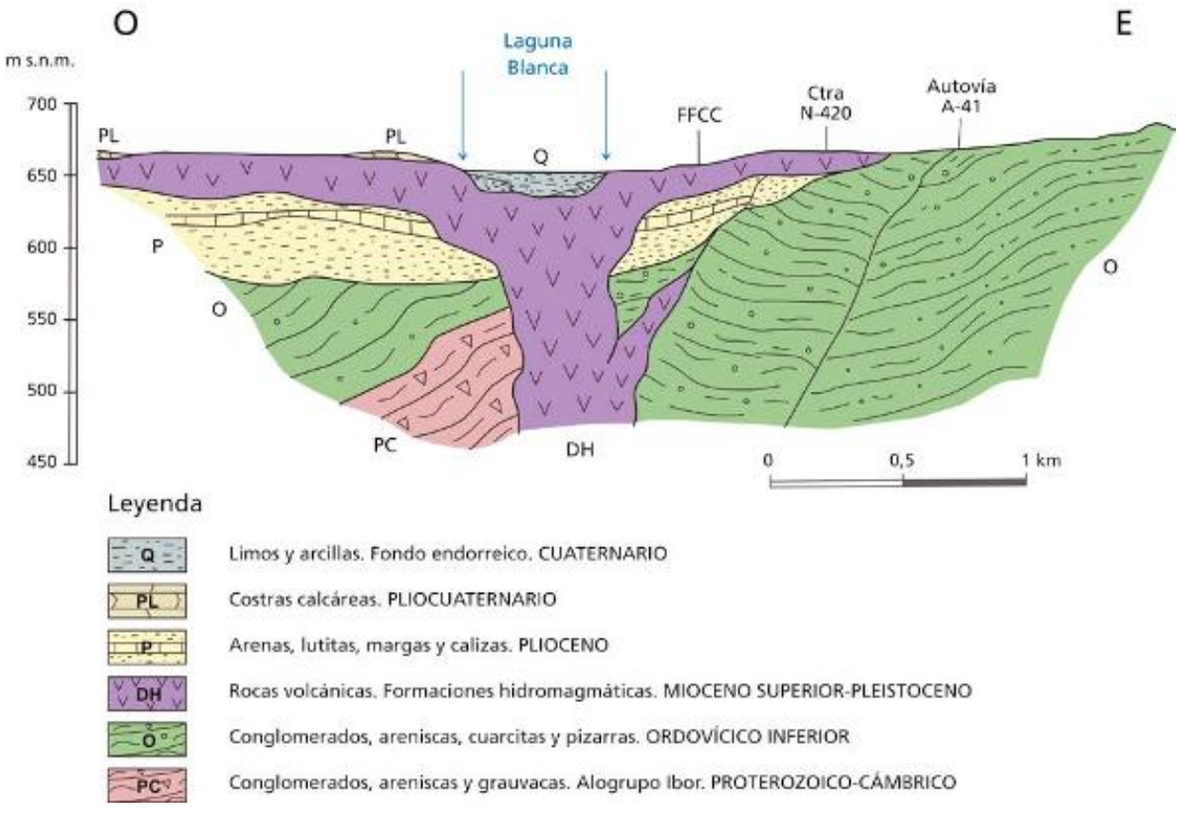


Figura 12.10. Corte geológico de la laguna Blanca

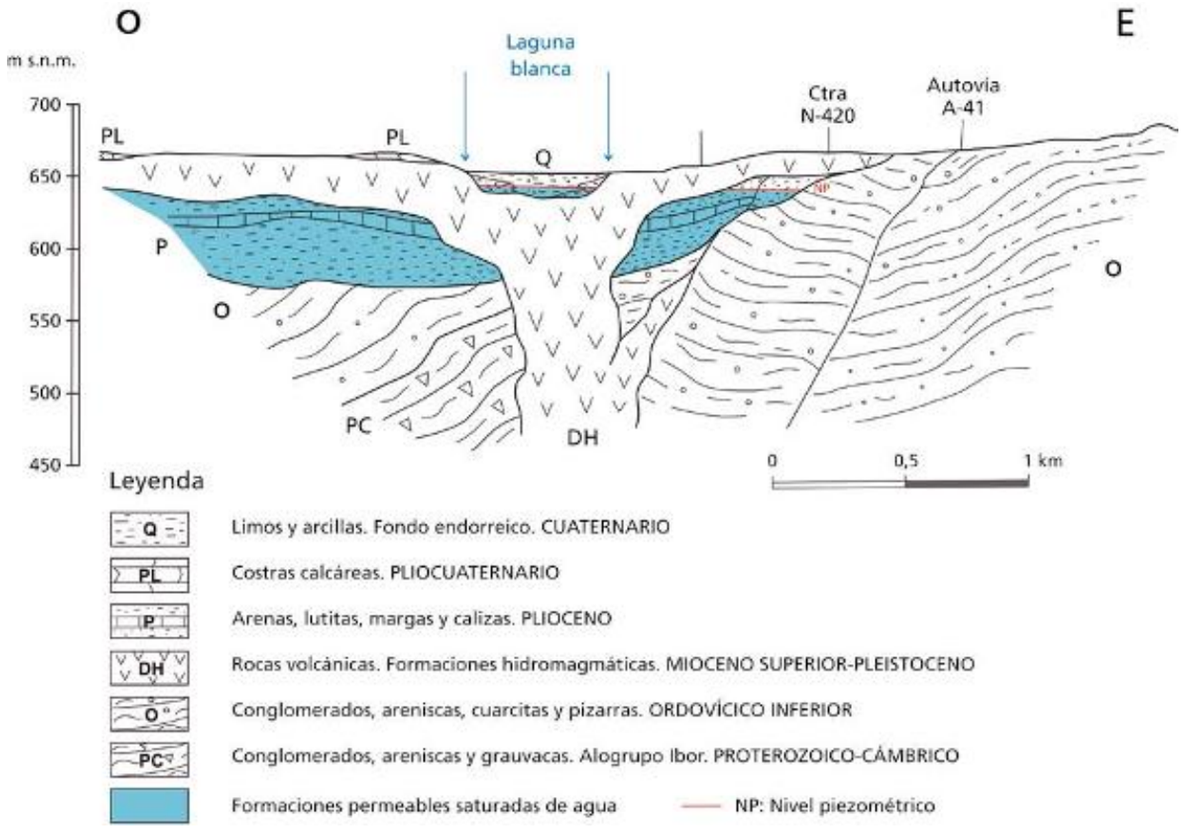


Figura 12.11. Corte hidrogeológico de la laguna Blanca

Según los datos disponibles, y como resulta habitual en estos ecosistemas, el nivel de las aguas subterráneas en su entorno se encuentra muy próximo a la superficie y, en este caso, se localiza alrededor de los 655 m s.n.m. Dentro de este esquema hidrogeológico, el flujo subterráneo se establece en sentido norte (Figura 12.11).

Respecto al comportamiento hidrodinámico de las distintas formaciones aflorantes en la cuenca vertiente a la laguna (Tabla 12.5), predominan, con el 56% de toda su extensión, los materiales de permeabilidad baja a muy baja (Tipología C) constituidos esencialmente por los depósitos de origen volcánico (hidromagmáticos, lávicos, piroclastos y cenizas). Le siguen, con el 35%, los de permeabilidad media del Ordovícico, correspondientes a areniscas, cuarcitas, conglomerados y pizarras, y las gravas y arenas pliocuaternarias (Tipología B). El restante 9% son los sedimentos de limos y arcillas de fondo endorreico, considerados como impermeables (Tipología D).

Tabla 12.5. Distribución tipológica de los afloramientos de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna Blanca

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE AFLORAMIENTOS DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
Formación geológica	**Edad**	**Tipología**	**%**
Conglomerados, areniscas, cuarcitas, arcillas y pizarras	Ordovícico inferior	B	35
Gravas y arenas	Pliocuaternario	B	
Depósitos hidromagmáticos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	56
Basaltos, basanitas, lavas y piroclastos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	
Costras calcáreas	Plioceno	C	
Limos y arcillas (fondo endorreico)	Cuaternario	D	9
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Hidroquímica

La analítica de la muestra tomada en la laguna Blanca en 2022 arroja una baja mineralización con un valor de 4.160 µS/cm para la CE y de 7,40 para el pH. No obstante, se tomó tras varios días de lluvia, por lo que su composición debe corresponder a la mezcla del agua contenida en la propia laguna con la procedente de ese episodio de precipitación.

La facies hidroquímica es clorurada sódica, con un contenido de 7.469 mg/L en cloruros y de 1.930 mg/L en sulfatos (Figura 12.12).

El resultado de los restantes compuestos analizados, así como la comparativa entre los principales parámetros hallados y los referidos en el Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano (Tabla 12.6), indica que el agua se encuentra algo afectada por actividades antrópicas y por compuestos orgánicos de diverso origen.

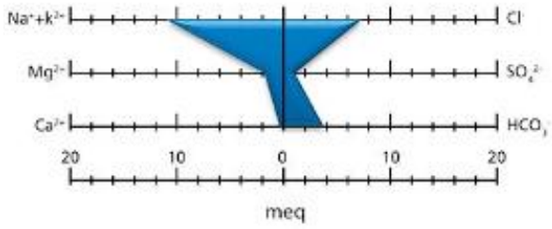


Figura 12.12. Diagrama de Stiff de la muestra de la laguna Blanca en 2022

	FECHA DE TOMA			15/12/2022	VALORES PARAMÉTRICOS FIJADOS EN EL R.D. 3/2023
	PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR DE LA ANALÍTICA LAGUNA	
Parámetros químicos	Antimonio	Sb	µg/L	3,2	5
	Arsénico	As	µg/L	2,31	1
	Cadmio	Cd	µg/L	< 0,8	5
	Cobre	Cu	mg/L	4,27	2
	Cromo	Cr	µg/L	< 0,2	50
	Mercurio	Hg	µg/L	< 2	1
	Níquel	Ni	µg/L	< 2	20
	Nitrato	NO_3	mg/L	11	50
	Nitrito	NO_2	mg/L	1,1	0,5
	Plomo	Pb	µg/L	< 0,2	10
	Selenio	Se	µg/L	< 2	10
Parámetros indicadores	Aluminio	Al	µg/L	19,2	200
	Amonio	NH_4	mg/L	4,5	0,5
	Cloruro	Cl	mg/L	168	250
	Conductividad	CE	µS/cm	4.160	2.500
	Hierro	Fe	µg/L	< 60	200
	Manganeso	Mn	µg/L	< 2	50
	Oxidabilidad	-	mg O_2/L	4,4	5
	pH	-	Ud de pH	7,40	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	137	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	1.930	250

Tabla 12.6. Calidad del agua de la laguna Blanca comparada con los valores referidos para consumo humano (en rojo los valores que superan los umbrales establecidos para consumo humano como agua potable)

Balance hídrico

La determinación del balance hídrico de la laguna Blanca, tal y como se expone en el capítulo donde se desarrolla la metodología seguida, se ha basado en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua al sistema. Las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento y a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (422,83 ha). Dentro de este capítulo, no se contemplan posibles aportes de aguas subterráneas procedentes de los afloramientos piroclásticos localizados al norte del humedal. En cuanto a las salidas, al tratarse de una cuenca endorreica, son debidas exclusivamente a la evapotranspiración. Tampoco se consideran salidas por infiltración a través de su lecho.

Según lo expuesto, el balance hídrico de la laguna queda simplificado en la siguiente expresión:

$$\Delta V_t = PPD_t + ESC_t - EVP_t$$

donde,

ΔV_t *variación del volumen de agua en el intervalo t*
PPD_t *precipitación directa en la lámina de agua*
ESC_t *escorrentía superficial a la laguna*
EVP_t *evaporación en la lámina de agua libre*

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del modelo digital del terreno (MDT), con tamaño de celda de 5x5 m, del Centro Nacional de Información Geográfica. El tratamiento de esta información ha permitido relacionar la superficie de la lámina libre con el volumen total de agua acumulada según distintos niveles de profundidad y en intervalos centimétricos (Figura 12.13).

La evaporación en la lámina de agua libre, aplicada a la superficie inundada establecida en cada momento por la curva hipsométrica, se ha calculado mediante la expresión de Penman (1948) a partir de las series de temperatura máxima y mínima de la estación meteorológica 4207 (Almodóvar del Campo), así como de las correspondientes a la radiación solar y velocidad media del viento de la estación 4121 (Ciudad Real).

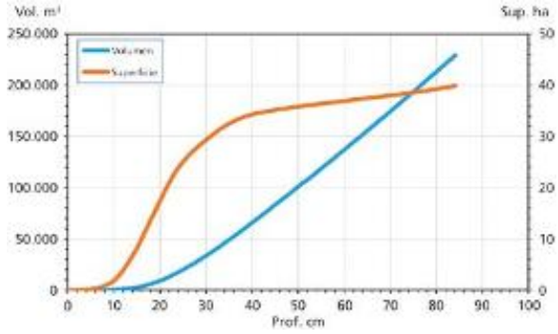


Figura 12.13. Curvas hipsométricas del vaso de la laguna Blanca: relación entre profundidad, volumen almacenado y superficie de la lámina de agua

La estimación de la escorrentía superficial, cifrada en 8.820 m³/a, se ha determinado mediante el código RENATA, para lo cual se ha discretizado la superficie de la cuenca vertiente en celdas de 50 x 50 m (Figura 12.13). Esta aplicación numérica utiliza el método del balance hídrico de Thornthwaite modificado por G. Girard para estimar la lluvia útil, y el del número de curva (NC) del USSC para diferenciar sus dos componentes: escorrentía e infiltración. En cuanto a la evapotranspiración, se ha aplicado el de Hargreaves a partir de las series diarias de precipitación y temperaturas máximas y mínimas de la estación de Almodóvar del Campo.

Los parámetros empleados y su distribución espacial (Tabla 12.7 y Figura 12.14) se han obtenido a partir de

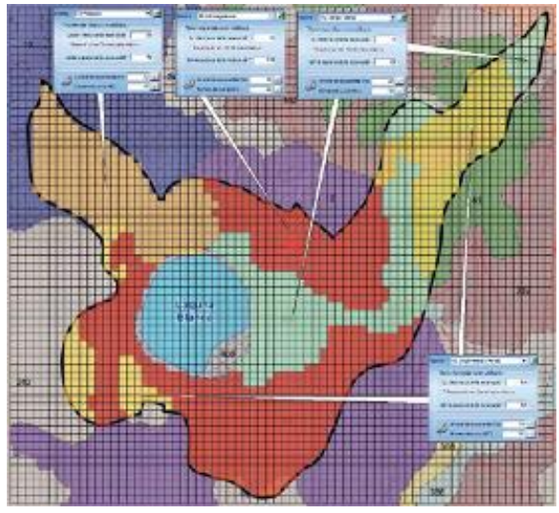


Figura 12.14. Modelo RENATA de la laguna Blanca para el cálculo de la escorrentía superficial. En cuadros de color azul, parámetros del suelo asignados

LITOLOGÍA	SUPERFICIE ha	PARÁMETROS	ESCORRENTÍA m³/a
Gravas y arenas pliocuaternarias	79,39	RU_{min} = 75 mm RU_{max} = 100 mm P_0 = 20 mm NC = 72	472
Conglomerados areniscas, cuarcitas, arcillas y pizarras ordovícicas	68,89	RU_{min} = 100 mm RU_{max} = 125 mm P_0 = 10 mm NC = 84	1.433
Rocas hidromagmáticas	171,49	RU_{min} = 85 mm RU_{max} = 115 mm P_0 = 10 mm NC = 84	3.970
Piroclastos, basaltos, basanitas y lavas	65,19	RU_{min} = 50 mm RU_{max} = 70 mm P_0 = 10 mm NC = 84	2.945
Fondo endorreico*	37,87		
Total	**422,83**		**8.820**

Tabla 12.7. Escorrentía superficial de la laguna Blanca. Parámetros y resultados (periodo 1972 a 2021)

** Contemplada en la precipitación directa caída sobre la lámina de agua*

las características de las distintas formaciones geológicas aflorantes en la cuenca, de su coherencia con las características hidrogeológicas de la zona y de los empleados para la estimación de la escorrentía en otras lagunas del Campo de Calatrava.

Determinación del balance hídrico

Con los procedimientos y parámetros descritos, se ha simulado diariamente el periodo de 50 años estudiado (1972 a 2021). La simulación muestra que la laguna contiene agua en algunos años especialmente lluviosos, pero sólo en invierno y otoño, ya que sus aportes provienen exclusivamente de la escorrentía superficial y de la precipitación directa sobre la lámina de agua (Figura 12.15). Lo anterior implica que el 80% del tiempo (Figura 12.16) el humedal se encontraría seco o casi seco (<0,5 ha encharcada), con largos periodos sin agua, como los transcurridos entre 1980 y 1995, o entre 1999 y 2009. El volumen medio almacenado en su vaso para el periodo analizado es de unos 5.000 m³, equivalente a una superficie inundada de 12 ha.

El balance hídrico medio anual indica que la laguna es alimentada principalmente por la precipitación directa caída sobre la lámina de agua, cifrada en 21.434 m³/a,

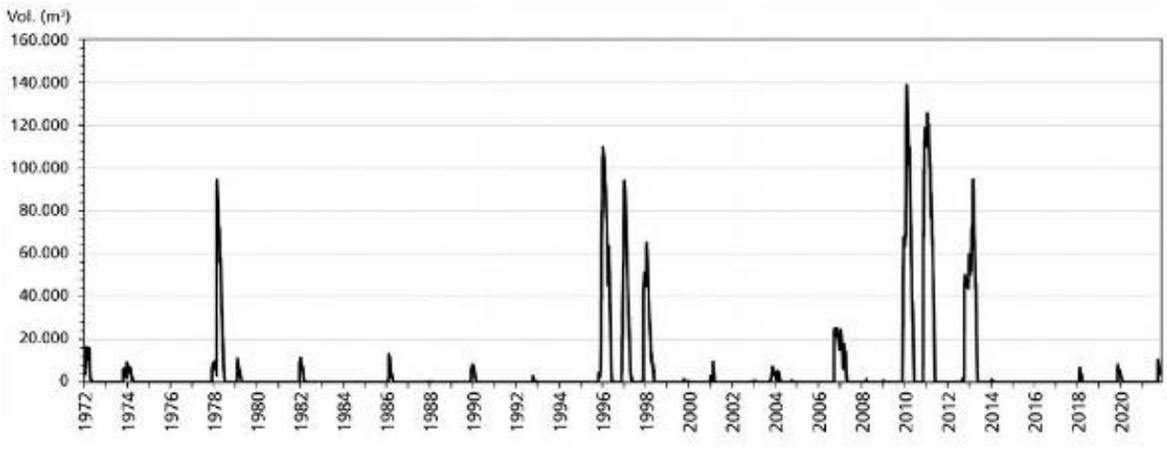


Figura 12.15. Simulación del volumen almacenado en la laguna Blanca (periodo 1972 a 2021)

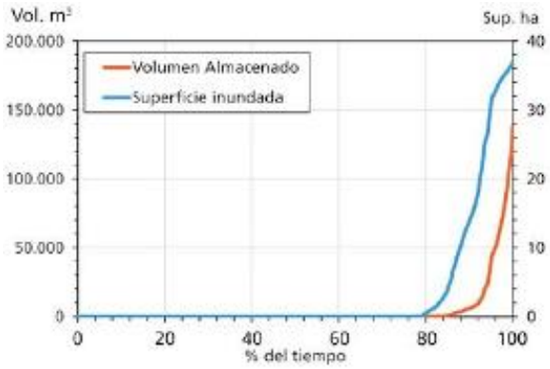


Figura 12.16. Distribución temporal (en %) de la superficie inundada y del volumen almacenado en la laguna Blanca

equivalente al 71% de sus aportes totales, y, en menor medida por la escorrentía superficial, que es de tan sólo 8.820 m³/a, en este caso correspondiente al 29%. En cuanto a las salidas, 30.254 m³/a, tienen lugar en su totalidad por evaporación (Tabla 12.8 y Figura 12.17).

Tabla 12.8. Balance hídrico medio anual en la laguna Blanca (periodo 1972 a 2021)

PRECIPITACIÓN MEDIA mm	CUENCA VERTIENTE km²	ENTRADAS m³		SALIDAS m³
		Precipitación directa	Escorrentía superficial	Evaporación directa
442	4,23	21.434	8.820	30.254
		71%	29%	100%

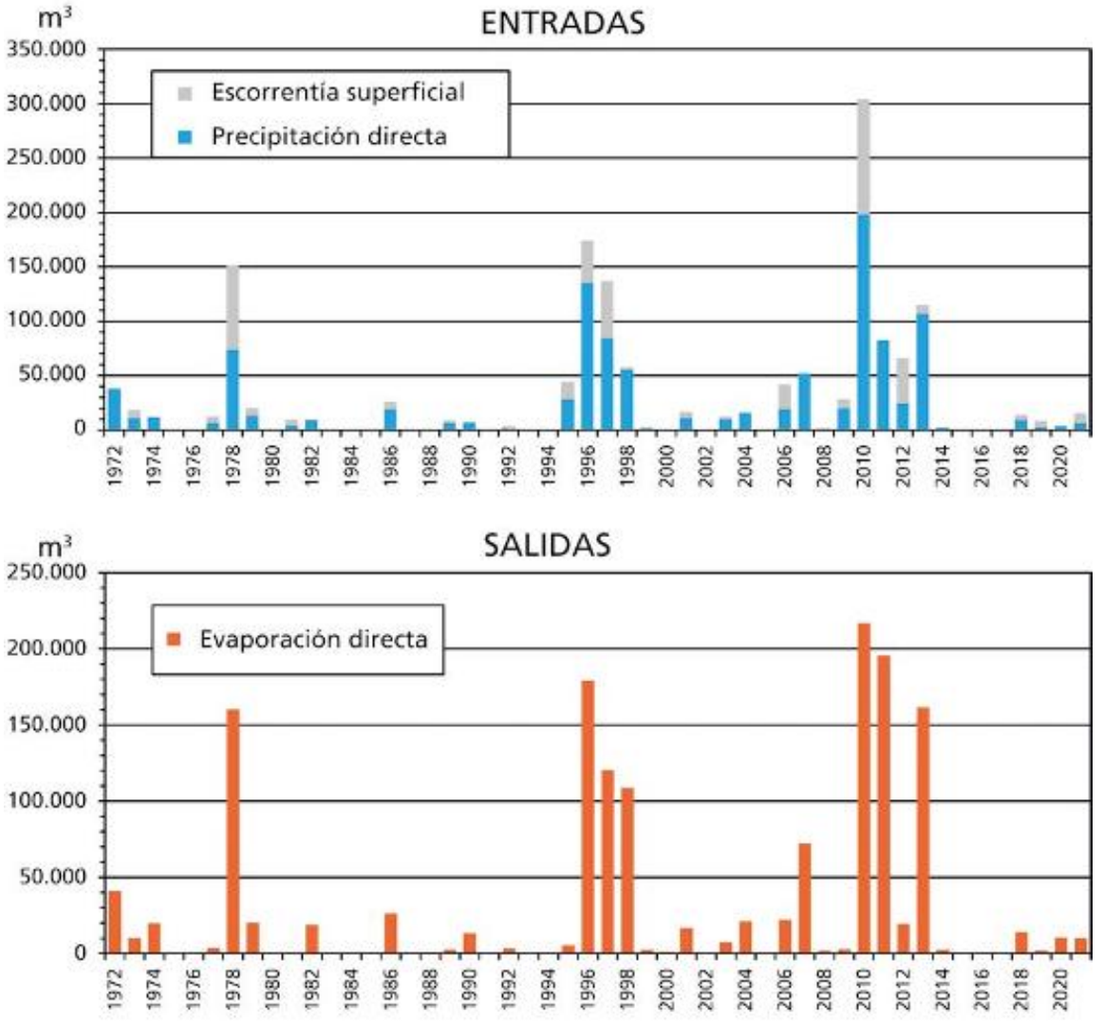


Figura 12.17. Balances hídricos anuales de la laguna Blanca

Evolución visual del territorio

Las imágenes aéreas de los años 1957 y 2018 (Figura 12.18) ofrecen dos perspectivas del entorno inmediato de la laguna y permiten analizar la trasformación del territorio sufrida a lo largo de los 61 años que las separa. El aspecto más relevante a destacar es el urbano, que ha experimentado un crecimiento importante, proporcional al desarrollo industrial y cultural de la región.

Durante el lapso temporal referido se han creado nuevas infraestructuras lineales, como la Autovía del IV Centenario, y ejecutado mejoras en el resto de vías circundantes. Los caminos vecinales de acceso a los terrenos agrarios, aunque no han sufrido modificaciones significativas en su trazado, algunos han sido asfaltados y mejorados.

Además de lo comentado, el cambio más relevante se da en la parte suroriental de la propia cubeta lagunar, donde se ha producido una colmatación parcial del vaso por la acumulación intencionada de materiales de desecho procedentes de actividades antrópicas. Esta circunstancia ha alterado el tamaño y delimitación del humedal, modificando su forma natural redondeada.

El mosaico de imágenes que se suceden (Figuras 12.19 a 12.24) muestra el encuadre geográfico y paisajístico de la laguna Blanca desde diferentes perspectivas, así como su vegetación ribereña.



Figura 12.18. Foto aérea comparativa del vuelo americano 1956-57 y ortofoto PNOA 2018 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 12.19. Aspecto general del entorno de la laguna, caracterizado por su suave orografía y por el uso agrícola del territorio (B.J. Ballesteros)



Figura 12.20. Vegetación y aspecto de la laguna en diciembre de 2022 (C. Camuñas)



Figura 12.21. La presión antrópica sobre el humedal es muy elevada debido a las importantes infraestructuras lineales que atraviesan su cuenca vertiente. Trazado de la vía de alta velocidad sobre el fondo de la laguna (B.J. Ballesteros)



Figura 12.22. Plataforma de avistamiento de aves en el borde sur de la laguna y vallado perimetral (B.J. Ballesteros)



Figura 12.23. Caseta de observación en el borde oriental de la laguna (B.J. Ballesteros)



Figura 12.24. Los reducidos aportes y la intensa evaporación son la causa de que la laguna se encuentre seca la mayor parte del tiempo (B.J. Ballesteros)



Capítulo 13

Laguna de Almodóvar

Miguel Mejías Moreno
Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro





13. LAGUNA DE ALMODÓVAR

Situación geográfica y accesos

La laguna de Almodóvar se ubica en la zona oriental del municipio de Almodóvar del Campo, en la provincia de Ciudad Real, a 43 km de su capital. El centro de la laguna tiene una altitud de 669,9 m s.n.m. y unas coordenadas X: 398.670, Y: 4.284.840 (UTM ETRS89 H30), según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional (Figura 13.1).

El humedal se ubica a los pies del Cerro de los Molinos, donde se hallan las ruinas de un antiguo molino de viento del siglo XVIII y un castillo. Se puede acceder

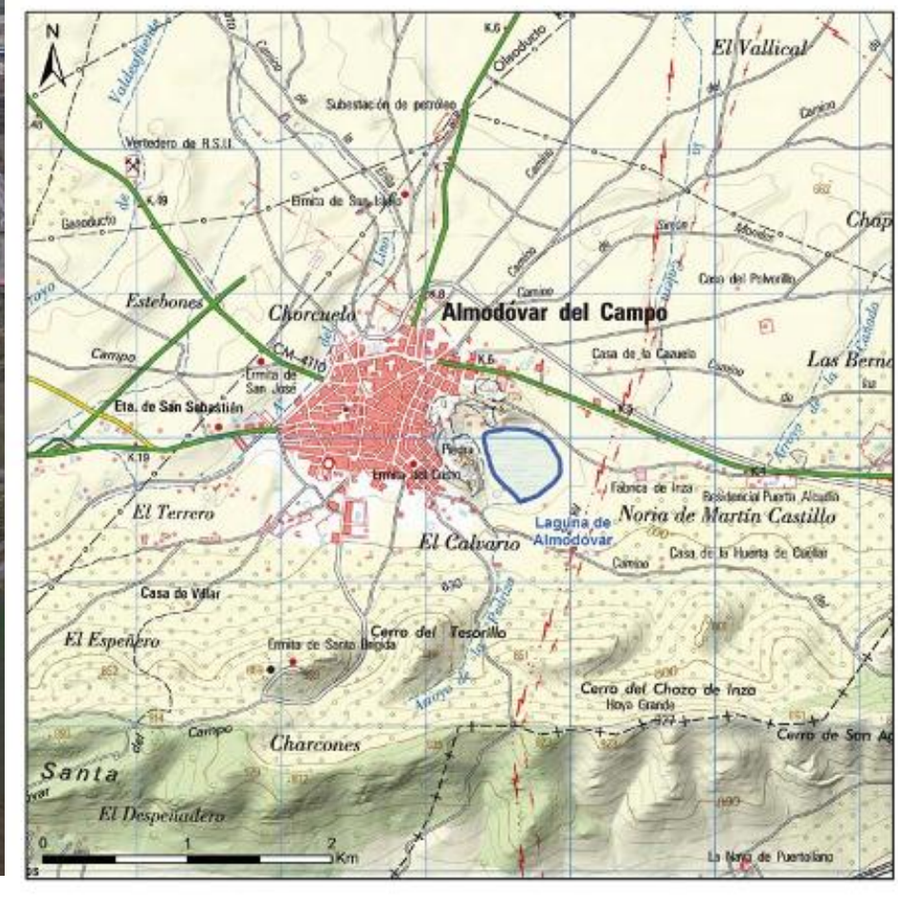


Figura 13.1. Situación geográfica de la laguna de Almodóvar (hoja 810 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)



Figura 13.2. Vista de la laguna de Almodóvar en mayo de 2022 (L.A. Carreño)

libremente desde la salida del p.k. 53,300 de la carretera CM-4110 que conecta Almodóvar del Campo con Puertollano. A 500 m por la antigua carretera, hay que tomar un camino de tierra por su margen izquierdo y dirigirse hacia el sur. Tras unos 200 m se llega al área inundable (Figura 13.2).

Su proximidad al casco urbano hace que sean varias las maneras de llegar al vaso de la laguna. Una de ellas es por la carretera de acceso ya mencionada. Otra es por la calle Laguna, que se convierte en un camino que rodea la laguna por el norte y el oeste. También se puede ir por el camino de la Fábrica, que bordea la laguna por el oeste. Por el sur, se puede empezar en la calle Calvario, que sale del pueblo y sigue hasta la vecina localidad de Puertollano, donde se llama 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. Tiene una forma ligeramente ovalada, y su eje mayor va en dirección noroeste-sureste. Ocupa una superficie de 18,93 ha y su perímetro es de 1,62 km (Figura 13.3).

A lo largo de su flanco occidental, en la falda del cerro de los Molinos y adherido al perímetro lagunar, aparecen 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 13.3. Vaso lagunar de la laguna de Almodóvar (ortofoto PNOA 2018. 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.

Historia y cultura

En el entorno de la laguna hay restos arqueológicos que evidencian un poblamiento paleolítico que se prolongó durante el Neolítico y la época prerromana. También se han hallado numerosos vestigios de la época romana en el término municipal de Almodóvar del Campo: Los Minguitos, Cerro de Marín, Cerro de Navalromo y Dehesa de Alcudia, así como en localidades cercanas como Fontanosas, Navacerrada y la más importante, La Bienvenida (Sisapo) (Almagro, 2012). En cambio, no se ha encontrado ninguna huella de la presencia visigótica.

Según Melero (2003), Almodóvar del Campo se origina en el siglo VIII como un castillo islámico junto al camino Real de Toledo a Córdoba, consolidado durante esta época como un bastión defensivo y de aprovisionamiento. La primera referencia histórica relativa a Almodóvar del Campo data de 1147, cuando Alfonso VII recibió Calatrava en virtud del acuerdo que había alcanzado con Abu Yafar Handin, ya que de esta medina dependían Caracuel, Almodóvar, Mestanza y Alcudia. Según las fuentes islámicas, la región contaba con algunas poblaciones con desarrollo urbano, aunque probablemente pequeñas (Calatrava, Malagón, Caracuel), así como una serie de núcleos rurales dispersos

o concentrados de los que a menudo se sabe poco más que su existencia, como era el caso de Almodóvar del Campo, y que, posteriormente, serían el origen de muchas de las poblaciones actuales.

La laguna es una de las señas de identidad del municipio 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 (Ortega, 1918): *"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 1500 nace en la localidad San Juan de Ávila y en 1561 San Juan Bautista de la Concepción. Almodóvar es declarada cabeza de la Rinconada. Otro ilustre nacido a mediados del siglo XVI fue Miguel Cano, arquitecto y escultor barroco, artífice de retablos y sagrarios y que, probablemente participó en la gran reforma de la Iglesia y en la construcción del Convento de la localidad, hasta que en 1587 se trasladó a Granada, donde nace su hijo Alonso Cano, pintor, escultor y arquitecto del Barroco.

A principios del siglo XVI se producen grandes litigios con la Mesta. Los Fúcares adquieren la administración de las minas del Rey. En esta época hay una notable emigración a las Indias. Santa Teresa de Jesús se detiene dos veces en el pueblo. Los Reformadores Descalzos hacen de Almodóvar el escenario de tres capítulos y vienen, entre otros, San Juan de la Cruz. En 1599 se funda el convento de Monjas Carmelitas.

El siglo XVI transcurre en un forcejeo por la jurisdicción entre Almodóvar y Almagro, que termina adquiriendo Almodóvar en 1ª Instancia. Así, el municipio es Cabeza de Jurisdicción, asiento de Gobernación de la Orden y Caballería de Calatrava, y autoridad sobre muchas villas y lugares, y el escudo de armas.

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*".

En los mapas topográficos del siglo XIX el castillo ya no aparece representado 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 y su entorno

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*".

En 1978, el sacerdote Cándelo López Serrano 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…"*.

Contexto socioeconómico

El término municipal de Almodóvar del Campo se extiende sobre una superficie de 1.208,27 km^2 y contaba (INE, 2022) con 5.873 habitantes, de los que 2.953 son hombres y 2.920 mujeres, lo que supone una densidad de 4,8 hab/km^2. La población ha ido descendiendo de manera notable desde su máximo histórico de 15.618 vecinos en 1960. Sin embargo, el ritmo de descenso se ha moderado desde 1981, que contaba con 8.128 habitantes. El 30% de su población actual supera los 65 años de edad.

Como se muestra en la Tabla 13.1, el sector servicios es el más importante de la actividad económica, con el 47,29% de las empresas censadas en la población y 697 trabajadores, seguido de la agricultura, con el 43,68% de las empresas y 429 trabajadores afiliados al sector. Ya, a considerable distancia, se encuentra la construcción, que cuenta con el 5,05% de las empresas y la industria con el 3,97% restante.

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	429	*28,11*	121	*43,68*
Industria	163	*10,68*	11	*3,97*
Construcción	200	*13,11*	14	*5,05*
Servicios	697	*45,67*	131	*47,29*
No consta	37	*2,42*	0	*0,00*
TOTAL	**1.526**	***100***	**277**	***100***

Tabla 13.1. Empresas y afiliación en Almodóvar del Campo (Tesorería General de la Seguridad Social, 2021)

La evolución ocupacional entre 2017 y 2022 (Tabla 13.2) presenta una estabilización en los cinco primeros años del periodo señalado y un notable descenso en los datos correspondientes al 31 de marzo de 2022.

AÑO	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Nº de parados	560	495	446	501	518	385

Tabla 13.2. Desempleados en Almodóvar del Campo (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha, SEPE)

En cuanto a los aprovechamientos agrarios, resaltar que Almodóvar del Campo es, con mucha diferencia, el término municipal que más hectáreas dedica a actividades agrarias. Los datos correspondientes al censo agrario de 2020 (Tabla 13.3) presentan, en las superficies labradas, una extensión de algo más de 23.000 ha de explotaciones herbáceas, con el 33,2% de las tierras cultivadas, seguida por los leñosos, con un 6,6%; el resto corresponde a pastos, que ocupan el 60,2% de la superficie rural.

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	**28.031,70**	23.362,83	*39,8*	*33,2*
	Leñosos		4.668,87		*6,6*
Pastos		**42.408,86**		*60,2*	
TOTAL		**70.440,56**		*100*	

Tabla 13.3. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2020, INE)

Finalmente, señalar que el presupuesto de la entidad local para el año 2021 fue de 5.277.244 €.

Normativa específica y figuras de protección

El humedal pertenece al ayuntamiento de Almodóvar del Campo y siempre ha estado ligado a la historia y tradiciones de la población. Es de carácter endorreico, ubicado sobre un cráter volcánico. La laguna posee un alto valor paisajístico, aunque debido a las explotaciones mineras situadas en su entorno, para aprovechar sus rocas volcánicas, sufre un importante deterioro ambiental.

A pesar a su importancia ecológica carece actualmente de normativa específica y figuras de protección. No obstante, la mayor parte del término municipal está incluido dentro de los límites del Parque Natural del valle de Alcudia y Sierra Madrona, declarado por Ley 6/2011, de 10 de marzo (BOE, 2011).

La primera persona que elevó su voz en defensa de la laguna fue el sacerdote D. Cándelo López Serrano. En 1978 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, instando a que se tomaran 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, calificaban su entorno como suelo urbano para uso industrial. Esta disparidad se resolvió a principios de 2016, con la aprobación del Plan de Ordenación Municipal, que contemplaba disposiciones para la mejora de la laguna y su promoción como espacio natural dedicado al ocio, con actividades culturales y deportivas.

La laguna de Almodóvar forma parte tanto del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico, con el número TM156 (20/10/2020), definido como representativo de unidad Vulcanismo neógeno y cuaternario de la Península Ibérica según la Ley 42/2007, (BOE, 2007), como del inventario español de zonas húmedas, con el código IH422018 (BOE, 2019).

La laguna carece prácticamente de macrófitos sumergidos (Angeler *et al.*, 2008) y su vegetación higrófila se compone principalmente de formaciones perilagunares de junco churrero (*Scirpoides holoschoenus*) y junco merino (*Juncus acutus*), que son un buen ejemplo de este tipo de vegetación (Gosálvez, 2011). Estas formaciones se benefician de los suelos ricos en bases y la alta humedad por la cercanía del nivel freático, pero su distribución está limitada por la presión de la agricultura y la actividad minera.

La presencia de aves depende del grado de encharcamiento, 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 ánade cuchara común (*Anas clypeata*) y la focha común (*Fulica atra*), esta última menos abundante.

Entre los invertebrados, se destaca la eclosión de varios microcrustáceos, como los branquiópodos *Pleuroxus denticulatus*, *Ceriodaphnia reticulata*, *Daphnia cucullata*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Diaphanosoma mongolianum* y *Latona setifera* (Fernández *et al.*, 2009). En cambio, no se observó la eclosión de copépodos, anostráceos u ostrácodos. Sin embargo, Castillo-Escrivà *et al*. (2015) encontraron en la laguna de Almodóvar tres especies de ostrácodos: *Ilyocypris gibba*, *Sarscypridopsis sp*. y *Limnocythere inopinata*, esta última exclusiva de esta laguna. Castillo-Escrivà *et al*. (2017) también registraron una moderada riqueza de ostrácodos, con 10 especies a lo largo del ciclo hidrológico, un dato peculiar en comparación con otros humedales (Camuñas *et al*., 2018).

Climatología

Para determinar las características climáticas de esta laguna se han usado los datos diarios de la estación de Almodóvar del Campo (4207), de la AEMET, situada a 670 m s.n.m., y de otras estaciones del entorno. El análisis abarca el periodo de 50 años comprendido entre 1972 y 2021 (Figura 13.4). La estación más representativa (4207) registra una precipitación media de 422 mm y una desviación típica de 128 mm, con mínimos de unos 172 mm (año 2005) y máximos de más de 892 mm (año 2010). El diagrama ombrotérmico, elaborado con la precipitación y la temperatura de la estación 4207 (Figura 13.5), muestra un marcado periodo de sequía desde junio a septiembre.

La comparación de la precipitación anual con la media de los 50 años de la serie estudiada permite identificar 4 periodos húmedos, 4 secos y 2 medios. Estos periodos suelen durar entre 4 y 8 años (Figura 13.6 y Tabla 13.4). El más húmedo fue el de 2006 a 2010 y el más seco el de 1990 a 1995.

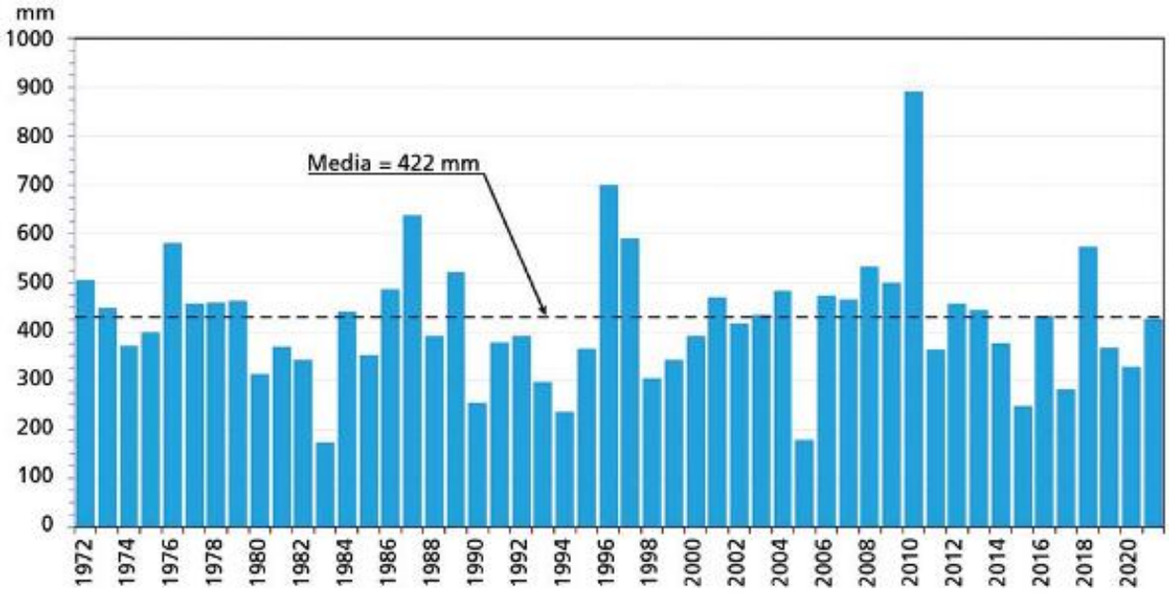


Figura 13.4. Hietograma de la precipitación anual en la estación de Almodóvar del Campo (4207)



Figura 13.5. Diagrama ombrotérmico del año medio

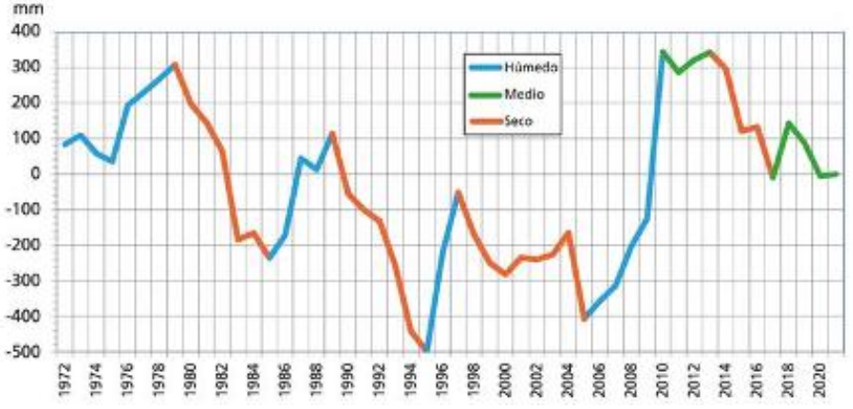


Figura 13.6. Desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media

PERIODO	TIPOLOGÍA CLIMÁTICA	DURACIÓN (AÑOS)	PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN CON RESPECTO A LA MEDIA
1972 a 1979	Húmedo	8	9% superior
1980 a 1985	Seco	6	21% inferior
1986 a 1989	Húmedo	4	20% superior
1990 a 1995	Seco	6	24% inferior
1996 a 1997	Húmedo	2	53% superior
1998 a 2005	Seco	8	10% inferior
2006 a 2010	Húmedo	5	36% superior
2011 a 2013	Medio	3	-
2014 a 2017	Seco	4	20% inferior
2018 a 2021	Medio	4	-

Tabla 13.4. Análisis de los diferentes periodos climáticos entre 1972 y 2021

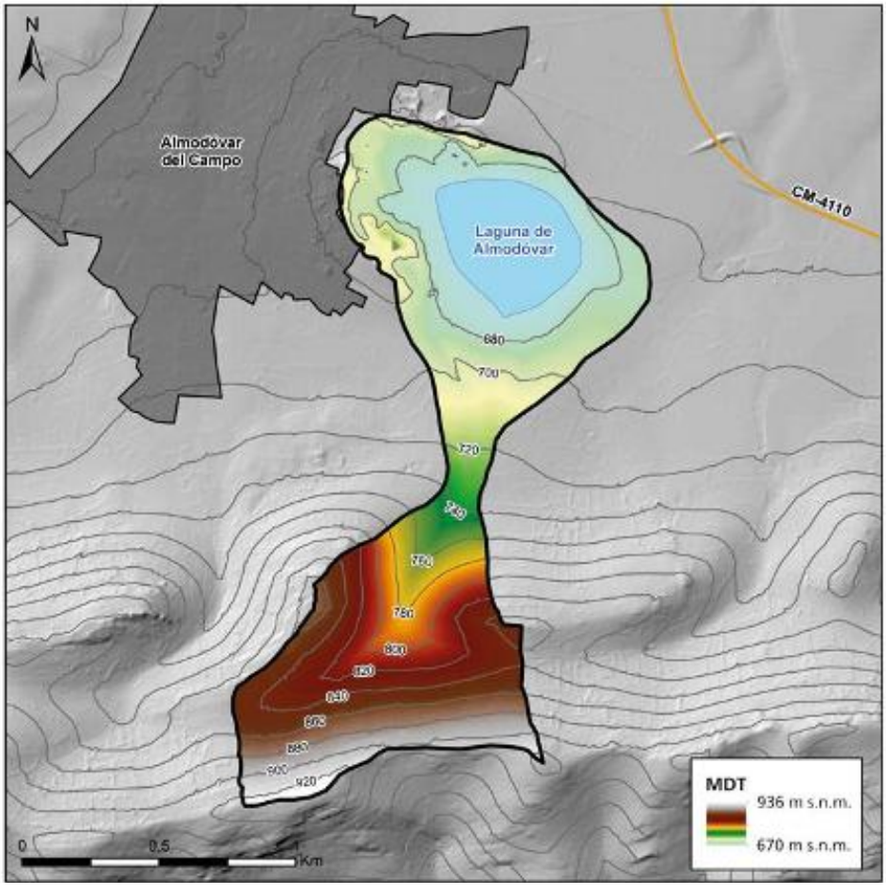
Hidrología

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.

Su superficie es reducida, 161,47 ha, localizadas casi en su totalidad en el término municipal de Almodóvar del Campo. Sólo su extremo meridional pertenece al vecino municipio de Puertollano.

El arroyo de La Pedriza desemboca en la propia laguna. Este arroyo es estacional y tiene una longitud de 1,8 km. Fluye 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.

Figura 13.7. Cuenca hidrológica de la laguna de Almodóvar



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 un eje suavemente inclinado en dirección noreste-suroeste (Figura 13.7). Los relieves más escarpados y elevados se localizan en la mitad meridional, con una altitud máxima de 936,2 m s.n.m. Los puntos más bajos se encuentran en la parte septentrional, donde se ubica el vaso de la laguna. El fondo del vaso se encuentra a 669,8 m s.n.m. Por lo 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 ligeramente ovalada y la superficie de máximo encharcamiento es de 18,93 ha, por lo que la cuenca hidrológica es unas 8 veces mayor que la superficie de la propia laguna.

Geología

Los materiales aflorantes en la cuenca hidrológica de la laguna de Almodóvar incluyen edades desde el Cámbrico al Cuaternario. Se encuentran rocas volcánicas de edad Mioceno superior - Pleistoceno inferior (Figura 13.8), pero en los que están ausentes las formaciones mesozoicas. Las litologías son en su mayoría detríticas y las formaciones volcánicas corresponden a melilitas olivínicas y depósitos hidromagmáticos.

Desde un punto de vista geológico, el área queda enmarcada en la zona volcánica del Campo de Calatrava. 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

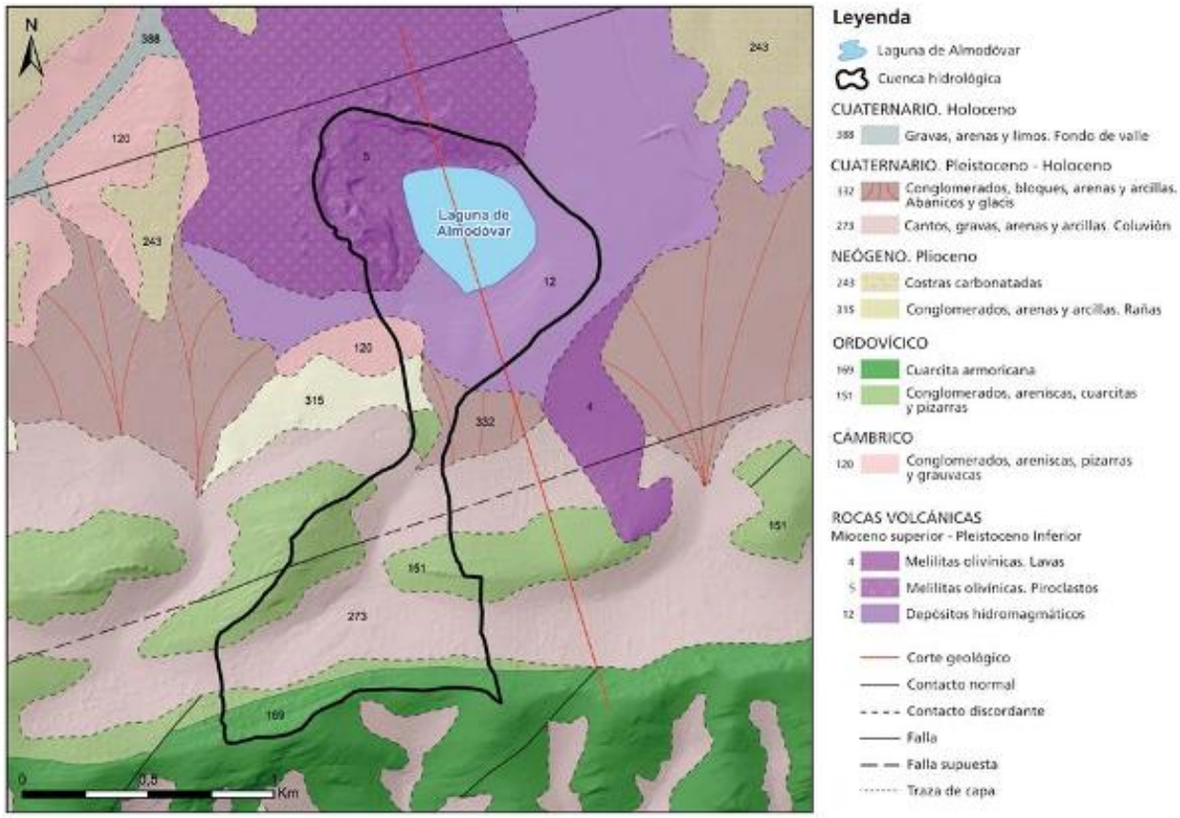


Figura 13.8. Entorno geológico de la cuenca hidrológica de la laguna de Almodóvar (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Baquedano y C. Camuñas)

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 (Figura 13.9).

En las zonas más elevadas afloran las cuarcitas armoricanas, de tonos blanquecinos y en estratos de orden 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, datado 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 están asociados 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.

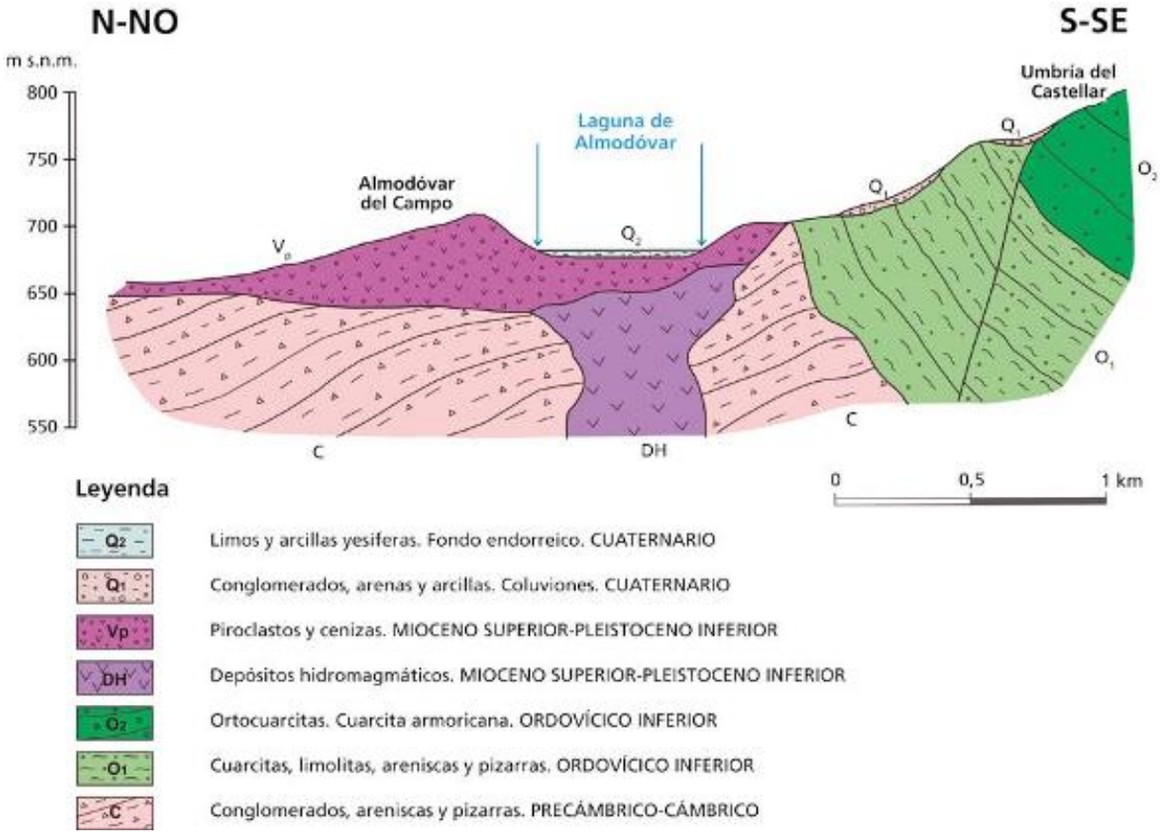


Figura 13.9. Corte geológico de la laguna de Almodóvar

Hidrogeología

En cuanto a las características hidrogeológicas de los materiales aflorantes alcanzan poco más de la mitad los considerados de permeabilidad baja (Tipología C: 51%), entre los que se encuentran los conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras del Ordovícico y las rocas volcánicas constituidas por los depósitos hidromagmáticos y los piroclastos de melilitas olivínicas.

A continuación, en porcentaje, se encuentran los niveles considerados de permeabilidad media (Tipología B: 37%), constituidos en su gran mayoría por los cantos, gravas, arenas y arcillas que forman los coluviones del Pleistoceno-Holoceno y por las cuarcitas armoricanas del Ordovícico (Tabla 13.5). De forma casi testimonial en esta tipología también se encuentran los conglomerados, areniscas, pizarras y grauvacas del Cámbrico, las rañas (conglomerados, arenas y arcillas) del Plioceno

Tabla 13.5. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica de la laguna de Almodóvar

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
Formación geológica	**Edad**	**Tipología**	**%**
Conglomerados, areniscas, pizarras y grauvacas	Cámbrico	B	
Cuarcita armoricana	Ordovícico	B	
Conglomerados, arenas y arcillas	Plioceno	B	37
Cantos, gravas, arenas y arcillas	Pleistoceno - Holoceno	B	
Conglomerados, bloques, arenas y arcillas	Pleistoceno - Holoceno	B	
Conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras	Ordovícico	C	
Melilitas olivínicas. Piroclastos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	51
Depósitos hidromagmáticos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	
Limos y arcillas	Cuaternario	D	12
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

y los abanicos y glacis pertenecientes al Pleistoceno-Holoceno, constituidos por conglomerados, bloques, arenas y arcillas. El 12% restante corresponden a los actuales sedimentos de limos y arcillas del fondo endorreico, a los que se les atribuye una muy baja permeabilidad (Tipología D).

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 que tienen este tipo de depósitos (Figura 13.10).

La formación con un mejor comportamiento hidrodinámico corresponde a las cuarcitas armoricanas (O_2) que adquieren una permeabilidad media por fisuración 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 el sur y yacente sobre la secuencia púrpura integrada por una alternancia de tramos permeables e impermeables (O_1), 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 menores, 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

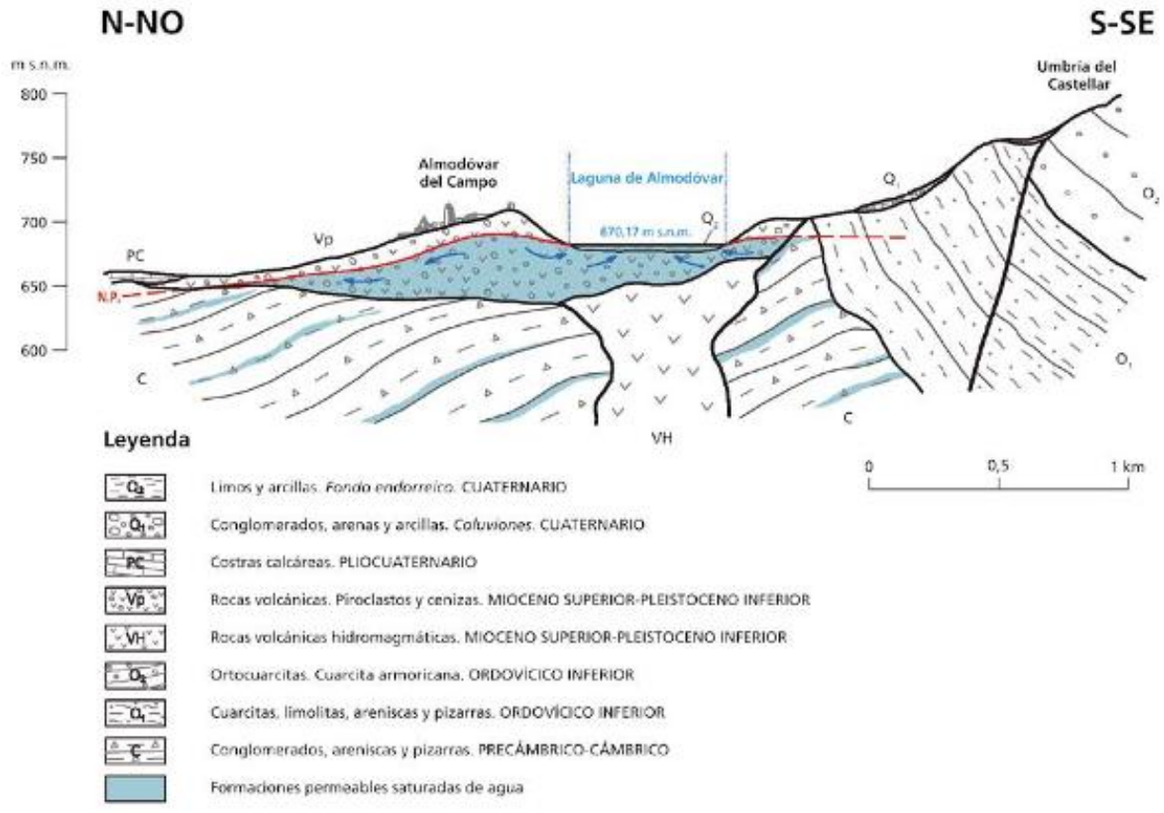


Figura 13.10. Perfil hidrogeológico de la laguna de Almodóvar

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 (Q_1), 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 13.10).

Hidroquímica

La calidad de las aguas subterráneas es buena, con una conductividad eléctrica (CE) entre 680 y 990 µS/cm (Camuñas *et al*., 2018). La laguna ha permanecido seca a lo largo de prácticamente todo el año 2022, por lo que sólo se pudo tomar una muestra el 14 de diciembre de 2022, aunque recogida unos días después de las lluvias, por lo que refleja más la composición del agua de precipitación que la propia calidad del agua de la laguna. Los valores obtenidos en campo fueron: CE 1.710 µS/cm, pH 8,71 y Tª 12,9 °C.

El análisis de la muestra de agua tomada en la zona inundada (noviembre 2014), en el marco del proyecto Ecolake, y publicado en Camuñas *et al*., 2018, presentan una CE de 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. La muestra del año 2022 tiene una CE de 1.316 µS/cm, que queda incluso dentro de los límites paramétricos del R.D. 3/2023. Esta circunstancia se debe a que la muestra de agua tomada en diciembre de 2022 está condicionada por el agua de lluvia precipitada unos días antes, sin que haya sufrido de manera importante los procesos de evolución hidroquímica propios de esta laguna.

No obstante, en la muestra de 2022 aparecen valores muy altos de As, Cu, Cr, Ni y Pb y, especialmente, de Al, Fe y Mn, que alcanzan una concentración de 27.883 µg/L, 37.462 µg/L y 1.144 µg/L, respectivamente.

Los valores de los aniones mayoritarios son mucho más altos en la muestra de 2014 que en la de 2022. Para la primera se obtienen 12.816 mg/L en cloruros y

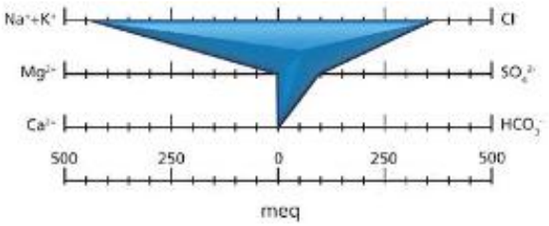
Tabla 13.6. Comparativa de las muestras de la laguna con el agua para consumo humano (en rojo los valores que superan los umbrales establecidos para consumo humano como agua potable)

	FECHA DE TOMA			27/11/2014	14/12/2022	VALORES PARAMÉTRICOS FIJADOS EN EL R.D. 3/2023
	PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR DE LA ANALÍTICA		
				LAGUNA		
Parámetros químicos	Antimonio	Sb	µg/L		2,31	**5**
	Arsénico	As	µg/L	144,0	65,4	**1**
	Cadmio	Cd	µg/L		< 0,2	**5**
	Cobre	Cu	mg/L		29,8	**2**
	Cromo	Cr	µg/L		58,9	**50**
	Mercurio	Hg	µg/L		< 0,5	**1**
	Níquel	Ni	µg/L		50,4	**20**
	Plomo	Pb	µg/L		79,2	**10**
	Selenio	Se	µg/L		0,98	**10**
Parámetros indicadores	Aluminio	Al	µg/L		27.883	**200**
	Cloruro	Cl	mg/L	12.816	128	**250**
	Conductividad	CE	µS/cm	49.300	1.316	**2.500**
	Hierro	Fe	µg/L		37.462	**200**
	Manganeso	Mn	µg/L	15,9	1.144	**50**
	pH	-	Ud de pH	10,15	9,22	**6,5 - 9,5**
	Sodio	Na	mg/L	10.018	300	**200**
	Sulfato	SO_4	mg/L	4.639	10	**250**

4.639 mg/L en sulfatos, mientras que en 2022 están dentro de los límites del Real Decreto 3/2023. El catión sodio también refleja esta circunstancia, con un valor de 10.018 mg/L en 2014 y 300 mg/L en 2022.

La comparativa entre los principales parámetros del agua del humedal, en las dos muestras de las fechas señaladas, y los recogidos en el Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, se expone en la Tabla 13.6.

En cuanto a la facies hidroquímica, la muestra de la laguna del año 2014 es claramente clorurada sódica, mientras que en la muestra de 2022 es bicarbonatada sódica (Figura 13.11).



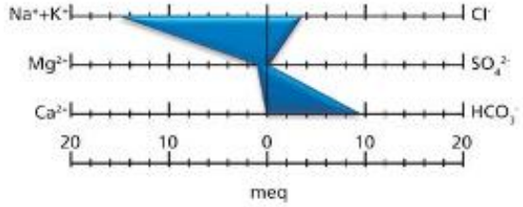


Figura 13.11. Diagramas de Stiff de las muestras de la laguna de Almodóvar en 2014 (izquierda) y 2022 (derecha)

Modelo conceptual de funcionamiento y balance hídrico

Modelo conceptual de funcionamiento

La laguna de Almodóvar, como es frecuente en este tipo de ecosistemas, está constituida por una zona húmeda muy somera de carácter temporal. Solo tiene una delgada lámina de agua permanente durante los años con elevada pluviometría y se seca durante meses en secuencias climatológicas secas y/o en años de precipitación media, 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 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

Para la determinación del balance hídrico de la laguna de Almodóvar, tal y como se expone en el capítulo de metodología, se ha utilizado el código informático RENATA, basado en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua al sistema. Las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento y a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (161,47 ha), así como a aportes de aguas subterráneas. Por su parte, las salidas son debidas exclusivamente a la evapotranspiración producida sobre la lámina de agua libre, limitada por el volumen de agua disponible en cada momento.

Según lo expuesto, el balance hídrico de la laguna puede quedar simplificado en la siguiente expresión, cuyos términos deberán de ser determinados:

$$\Delta V_t = PPD_t + ESC_t + ASB_t - EVP_t$$

donde,

ΔV_t *variación del volumen de agua en el intervalo t*
PPD_t *precipitación directa en la lámina de agua*
ESC_t *escorrentía superficial a la laguna*
ASB_t *aportes subterráneos*
EVP_t *evaporación en la lámina de agua libre*

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del MDT del Centro Nacional de Información Geográfica, con tamaño de celda de 5x5 m. El procesamiento de la información ha permitido establecer la relación entre la superficie de la lámina libre con el volumen total de agua acumulada según distintos niveles de profundidad y para intervalos centimétricos (Figura 13.12).

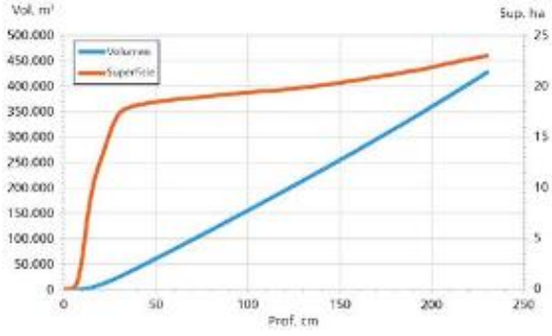


Figura 13.12. Curvas hipsométricas en el vaso de la laguna de Almodóvar: relación entre profundidad, volumen almacenado y superficie de la lámina de agua

La evaporación en la lámina de agua libre, establecida para la curva hipsométrica en cada momento, se ha calculado a nivel diario mediante la expresión de Penman (1948) a partir de las series de temperatura máxima y mínima de la estación climática 4207 (Almodóvar del campo), así como de las correspondientes a la radiación solar y velocidad media del viento de la estación climática 4121 (Ciudad Real). Esta evaporación se ha aplicado a la superficie inundada calculada diariamente, aunque se tienen que tener en cuenta las diferencias entre la situación de la estación meteorológica y la propia laguna, con los relieves circundantes.

Para la aplicación del código RENATA se ha discretizado la superficie de la cuenca vertiente en celdas de 50x50 m (Figura 13.13). El método utilizado para el cálculo de la lluvia útil parte del balance hídrico del suelo diseñado por Thornthwaite a nivel diario modificado por G. Girard. La escorrentía superficial se ha obtenido mediante el método racional a partir del número de curva (NC) del USSCS, y para la evapotranspiración se ha aplicado el de Hargreaves a partir de las series diarias de temperatura máxima y mínima de la estación de Ciudad Real (4121), y de la precipitación de la estación de Almodóvar del Campo (4207).

El valor de los parámetros asignados (Tabla 13.7 y Figura 13.13) se ha determinado a partir de las características de las distintas formaciones geológicas aflorantes en la cuenca y de los empleados para la estimación de la escorrentía en otras lagunas del Campo de Calatrava. Verificando, siempre, su coherencia con las características hidrológicas de la zona.

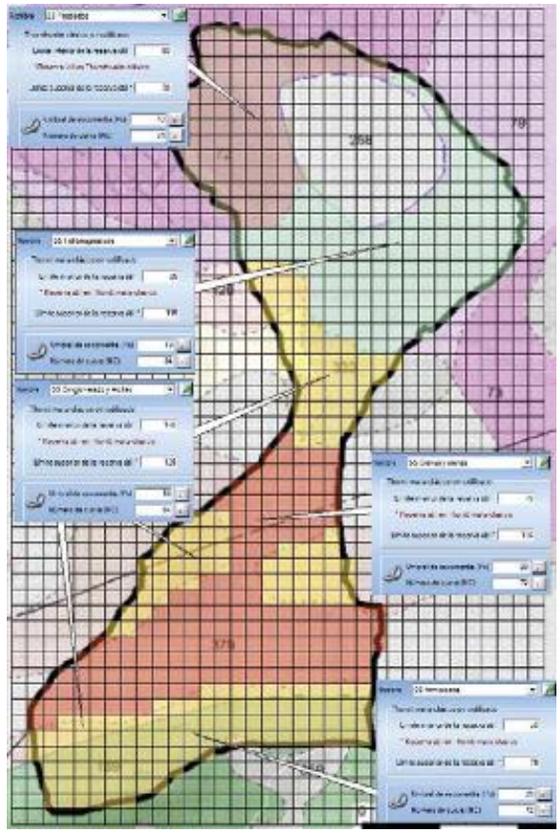


Figura 13.13. Modelo RENATA de la laguna de Almodóvar para el cálculo de la escorrentía superficial. En cuadros de color azul, parámetros del suelo asignados

LITOLOGÍA	SUPERFICIE ha	PARÁMETROS	ESCORRENTÍA m^3/a
Cuarcita armoricana	18,09	RU_{min} = 50 mm RU_{max} = 75 mm P_0 = 20 mm NC = 84	164
Gravas y arenas pliocuaternarias	39,03	RU_{min} = 75 mm RU_{max} = 100 mm P_0 = 20 mm NC = 72	244
Conglomerados, areniscas y arcillas	30,70	RU_{min} = 100 mm RU_{max} = 125 mm P_0 = 10 mm NC = 84	671
Rocas hidromagmáticas	32,84	RU_{min} = 85 mm RU_{max} = 115 mm P_0 = 10 mm NC = 84	799
Piroclastos y cenizas	21,88	RU_{min} = 50 mm RU_{max} = 70 mm P_0 = 10 mm NC = 84	1.039
Vaso impermeable*	18,93		
Total	**161,47**		**2.917**

Tabla 13.7. Escorrentía superficial de la laguna de Almodóvar. Parámetros y resultados (periodo 1972 a 2021)

** Contemplada en la precipitación directa caída sobre la lámina de agua*

En cuanto a la determinación de los aportes de agua al humedal, los parámetros utilizados en el código RENATA se han calibrado previamente a partir del cálculo del balance hídrico para el tramo climático con datos limnimétricos (de junio a octubre de 2013) en el que la precipitación es mínima y, por tanto, el término correspondiente a la escorrentía superficial puede ser despreciado. En consecuencia, si se considera sólo la evaporación y la precipitación directa, el contraste del resultado obtenido con los valores reales medidos indicaría un importante déficit de agua para el llenado de la laguna. Dado que dicho déficit no existe, el volumen equivalente corresponde a aportes de agua subterránea procedentes del acuífero colindante, que se encuentra en conexión hidráulica con el humedal.

Con el esquema de funcionamiento establecido, se ha modelado mediante la aplicación RENATA el acuífero asociado al humedal, constituido por rocas volcánicas de piroclastos y cenizas que afloran al noroeste del mismo, más allá de los límites de su cuenca vertiente. Esta superficie, de 0,82 km^2 de extensión, se ha discretizado en celdas de 50x50 m (Figura 13.14). En la asignación de parámetros y la delimitación del acuífero drenante se han tenido en cuenta criterios coherentes con las propiedades hidrogeológicas de las diferentes formaciones y la comparativa entre los resultados obtenidos y los datos reales medidos. La cota topográfica se ha hecho coincidir con el techo del sistema, mientras que el muro se ha ubicado a una cota constante de 650 m s.n.m.

Para obtener los aportes subterráneos que recibe la laguna, se han establecido celdas de drenaje del acuífero en el interior de la misma a una cota de 669,8 m s.n.m.

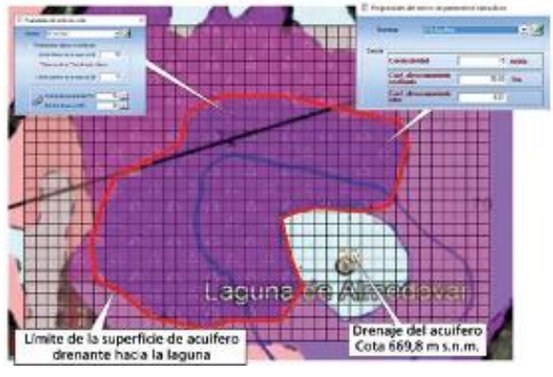


Figura 13.14. Modelo RENATA para la determinación de los aportes subterráneos a la laguna de Almodóvar. En cuadros de color azul parámetros del suelo asignados

Calibración de los aportes subterráneos

La estimación de la infiltración del agua de lluvia en el acuífero asociado, que finalmente contribuye a alimentar a la zona húmeda, se ha obtenido por el método del balance del suelo de Thornthwaite a nivel diario modificado por G. Girard, mientras que para la evapotranspiración se ha aplicado el de Hargreaves a partir de las series diarias de precipitación, junto con la temperatura máxima y mínima de la estación de Almodóvar del Campo (4207). A la lluvia útil resultante se le ha restado la escorrentía superficial, determinada mediante el método del número de curva del USSCS, con lo que, finalmente, se ha obtenido la recarga del acuífero para los dos años de los existen medidas limnimétricas (Tabla 13.8).

Tabla 13.8. Estimación de los aportes subterráneos a la laguna de Almodóvar mediante el modelo RENATA. Parámetros utilizados y resultados (periodo 2013 a 2014)

LITOLOGÍA	SUPERFICIE km²	PARÁMETROS	PRECIPITACIÓN		INFILTRACIÓN		TASA DE RECARGA
			mm/a	m³/a	mm/a	m³/a	
Piroclastos y cenizas volcánicas	0,82	RU_{min} = 50 mm RU_{max} = 70 mm P_0 = 10 mm NC = 84	422,0	346.000	68,3	56.000	16,2%

Figura 13.15. Volumen almacenado en la laguna de Almodóvar: simulado y medido en el periodo estival utilizado para la calibración (junio 2013 a octubre 2013)

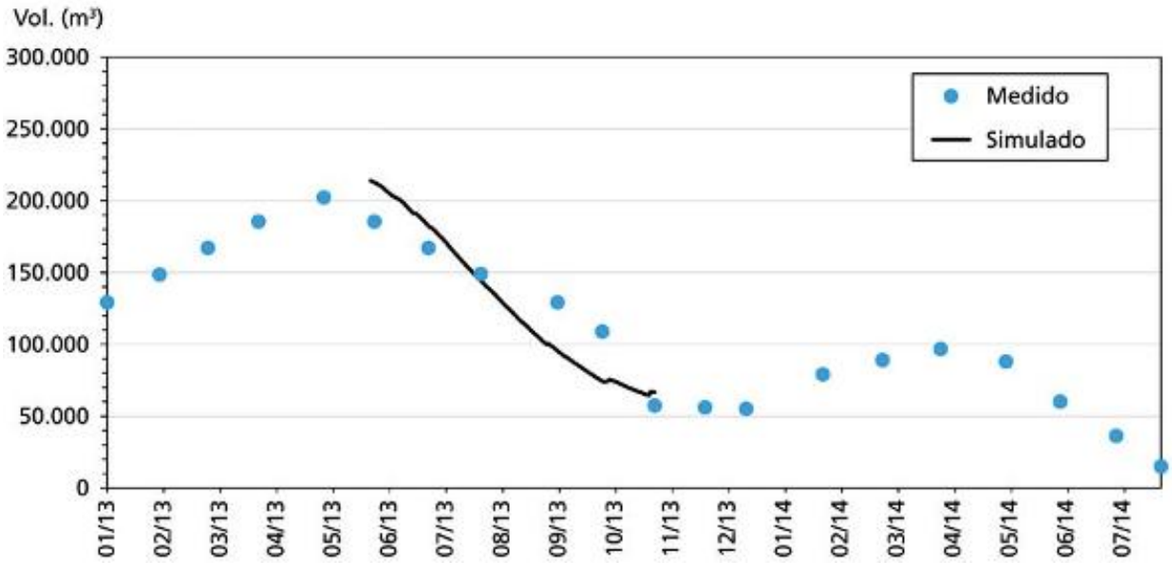
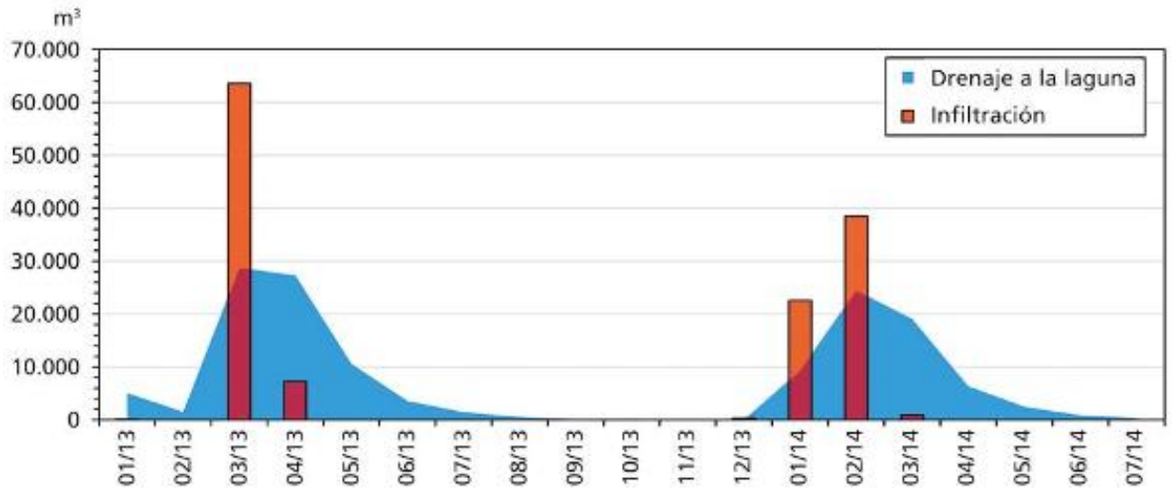


Figura 13.16. Aportaciones mensuales a la laguna de Almodóvar por entradas subterráneas ocultas procedentes de su acuífero asociado (enero 2013 a julio 2014)



Los parámetros hidráulicos del acuífero que mejor se ajustan a lo observado han sido: 15 m/d para la conductividad hidráulica, 0,01 para la porosidad eficaz y $1x10^{-5}$ para el coeficiente de almacenamiento específico. La comparativa entre los valores simulados y medidos muestra un aceptable grado de ajuste (Figura 13.15), actuando el acuífero como factor modulador de la alimentación a la laguna, con unos aportes dilatados en el tiempo que se mantienen hasta 3 a 4 meses después de producirse la infiltración en el acuífero (Figura 13.16).

Determinación del balance hídrico

Con los parámetros calibrados se han simulado y representado a nivel diario los valores reales medidos y el volumen almacenado en el periodo temporal del que se dispone de medidas limnimétricas (enero de 2013 a julio de 2014), así como para el periodo analizado de 50 años (Figura 13.17).

En esta simulación se observa que, en los episodios especialmente lluviosos, como el ocurrido entre los años 2010 y 2013, el volumen almacenado puede superar los 500.000 m^3, con una altura de la lámina de agua superior a los 2,5 m.

Los resultados muestran que el volumen medio almacenado en el vaso de la laguna es de unos 50.000 m^3, equivalente a una superficie inundada de 18 ha, y que durante el 40% del tiempo el humedal se encuentra seco o con muy poca agua (<100 m^3). También indican que sólo durante el 20% del tiempo se superan los 70.000 m^3 (17% de su capacidad máxima), equivalente a una superficie de unas 18 hectáreas (Figura 13.18).

También es de destacar que el mayor periodo en el que la laguna ha estado seca o casi seca (<1 ha y <100 m^3) coincide con la intensa sequía de la primera mitad de la década de los 90, especialmente entre el 6 de mayo de 1993 y el 31 de octubre de 1995, con un total de 909 días, precedida, además, de un largo periodo sin lluvias desde mediados del año 1990.

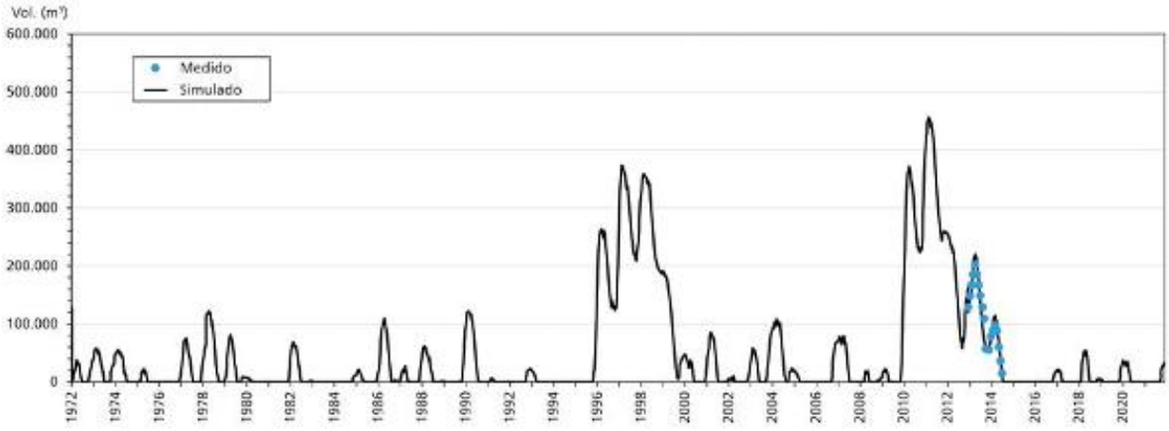


Figura 13.17. Volumen almacenado en la laguna: simulado y medido (periodo 1972 a 2021)

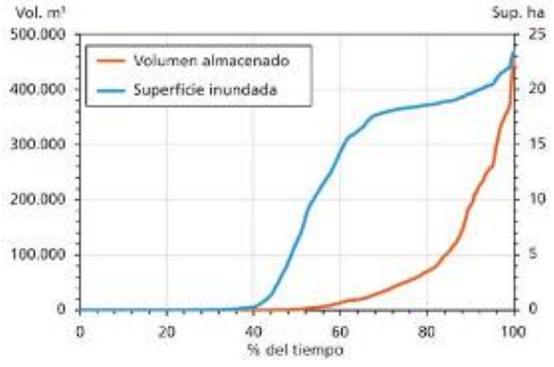


Figura 13.18. Distribución temporal (en %) de la superficie inundada y del volumen almacenado en la laguna de Almodóvar

El balance hídrico medio anual, finalmente obtenido, indica que la laguna es alimentada principalmente por aportes subterráneos, 56.000 m³/a, equivalente al 54% del total, y en menor medida por la precipitación directa caída sobre la lámina de agua libre, 45.000 m³/a en este caso el 43%. Las aportaciones de la escorrentía superficial son comparativamente muy inferiores, el 3% restante, 2.917 m³/a. Por el lado opuesto, el drenaje de la laguna tiene lugar de forma exclusiva por evapotranspiración, concepto que constituye el 100% de las salidas, 103.917 m³/a (Tabla 13.9 y Figura 13.19).

PRECIPITACIÓN MEDIA mm	CUENCA VERTIENTE km²	ACUÍFERO ASOCIADO km²	ENTRADAS m³			SALIDAS m³
			Precipitación directa	Escorrentía superficial	Aportes subterráneos	Evapotranspiración directa
442	1,615	0,82	45.000	2.917	56.000	103.917
			43%	3%	54%	100%

Tabla 13.9. Balance hídrico medio anual de la laguna de Almodóvar (periodo 1972 a 2021)

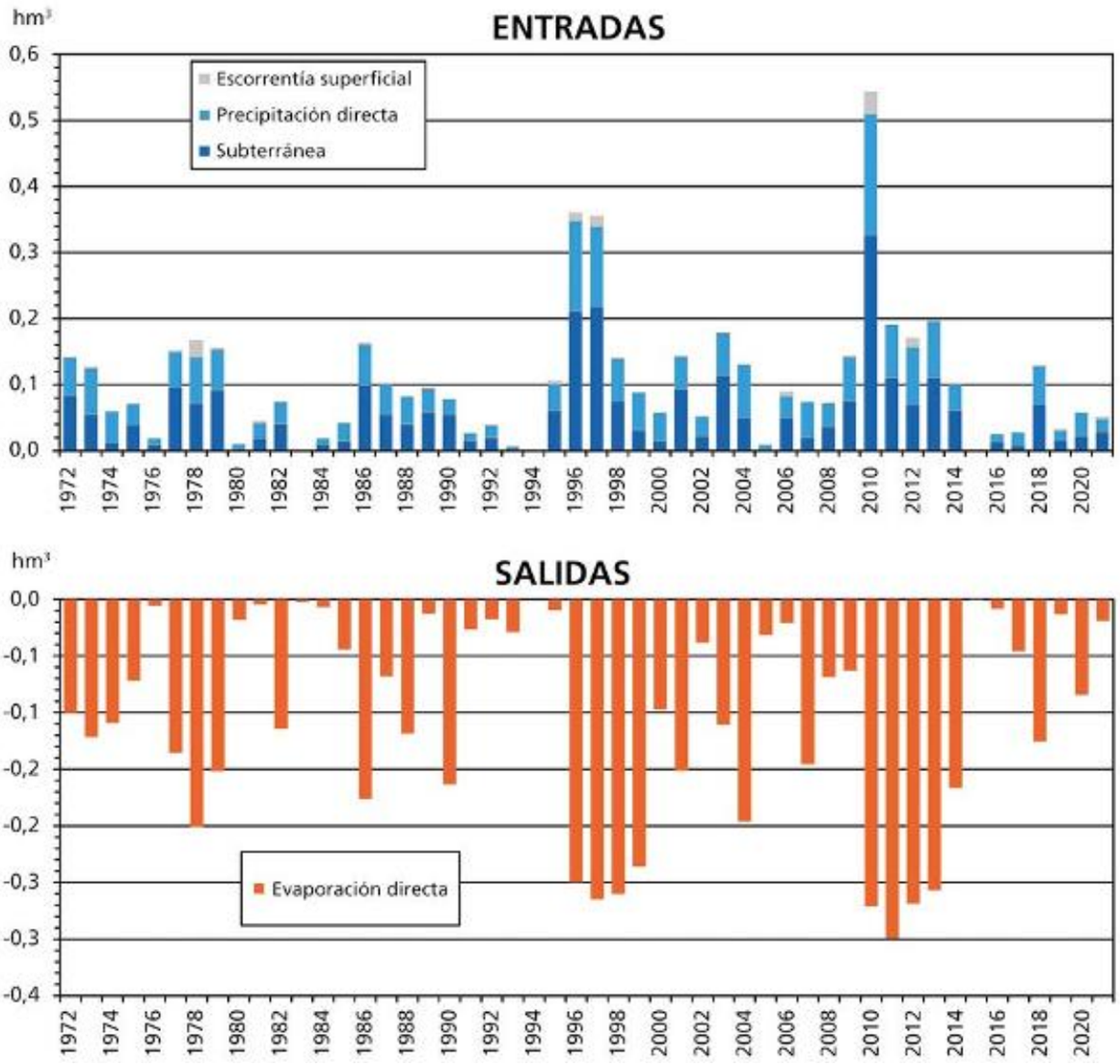


Figura 13.19. Balances hídricos anuales de la laguna de Almodóvar

Evolución visual del territorio

El perímetro lagunar y su entorno más inmediato no han sufrido modificaciones relevantes en los últimos 60 años, como se puede apreciar en las dos imágenes comparativas de la Figura 13.20. No obstante, se aprecia un crecimiento urbano en el lado occidental de la población y un incremento de edificaciones dispersas, tanto urbanas como agrícolas y, en menor medida, industriales, en esta zona más próxima al humedal. Como nueva vía de comunicación se observa, al noreste del humedal, la carretera CM 4110, que circunvala la población y la une con la vecina localidad de Puertollano.

Las imágenes expuestas en las páginas que siguen (Figuras 13.21 a 13.25) reflejan el aspecto del humedal en diferentes meses y años de la última década y dan idea de su origen volcánico, con su característica forma semicircular y elíptica, mostrando el detalle de la explotación de rocas volcánicas existente en su sector norte.



Figura 13.20. Foto aérea comparativa del vuelo americano 1956-57 y la ortofoto PNOA 2018 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 13.21. Panorámica de la laguna de Almodovar en noviembre de 2013 (B.J. Ballesteros)



Figura 13.22. Panorámica desde el cerro de Los Molinos, abril de 2018 (C. Camuñas)





Figura 13.23. Panorámica de la laguna de Almodóvar, abril de 2022 (C. Camuñas)



Figura 13.24. Periodo estival de 2022 en la laguna de Almodóvar (C. Camuñas)



Figura 13.25. Laguna de Almodóvar desde la sierra Decarada de la Santa, abril de 2022 (C. Baquedano)



Capítulo 14

Maar de la Hoya de Cervera

Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno





14. *MAAR* DE LA HOYA DE CERVERA

Situación geográfica y accesos

El *maar* de La Hoya de Cervera, ubicado a unos 14 km de Almagro y a otros 7 de Aldea del Rey, se encuentra dentro del término municipal de la primera de estas poblaciones, ambas pretendientes a la provincia de Ciudad Real, de la que dista cerca de 20 km. Según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional, su punto central tiene una cota de 662,5 m s.n.m. y sus coordenadas son X: 426.915, Y: 4.294.600 (UTM ETRS89 H30).



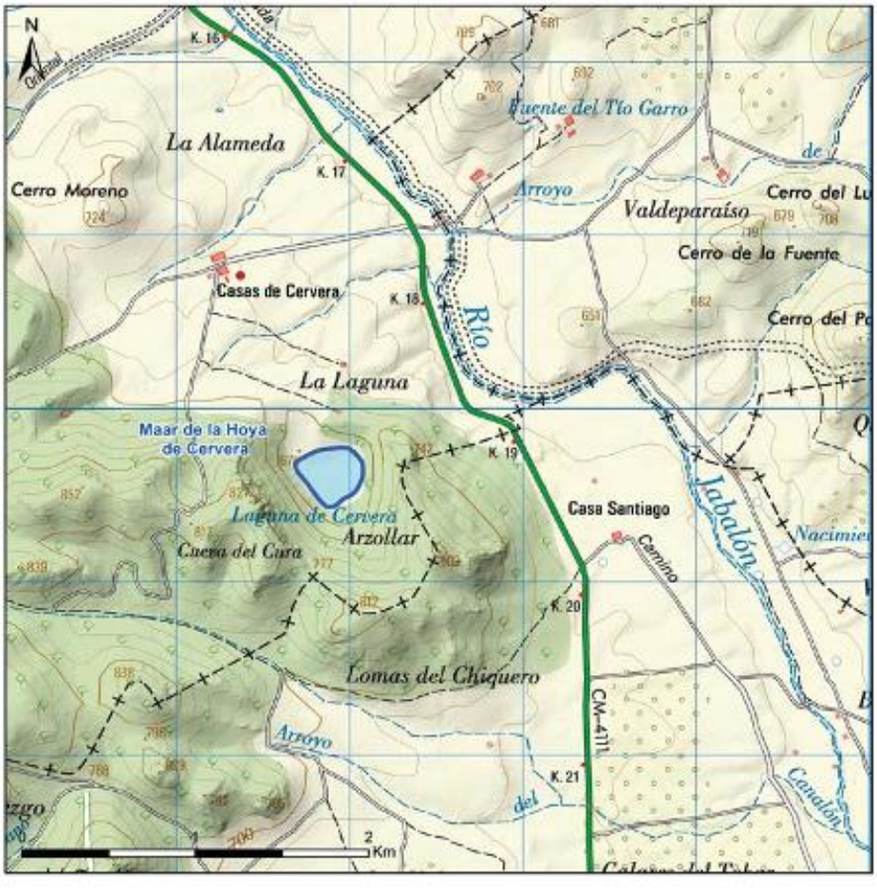


Figura 14.1. Situación geográfica del maar *de la Hoya de Cervera (hoja 811 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)*

El acceso a la laguna, al igual que la mayoría de las estudiadas, es libre y no presenta especiales restricciones. Se puede llegar a ella desde Aldea del Rey, la población más cercana, a través de la carretera CM-4111 que une esta localidad con Ciudad Real. Pasados algo más de 7 km, y en torno al punto kilométrico 18 (Figura 14.1), se encuentra una pequeña explanación en el lado izquierdo de esta vía de comunicación, lugar en el que es necesario aparcar el vehículo. Si se viene desde Almagro se ha de tomar la CR 5123 en dirección a Valenzuela de Calatrava y, desde allí, continuar por caminos hasta su confluencia con la CM-4111, donde poco después de atravesar el río Jabalón se debe girar hacia la izquierda. Después de recorrer poco más de 2 km, se llega a la mencionada explanación, en este caso en el lado derecho de la carretera. Localizar este punto no es sencillo, ya que la zona de aparcamiento es muy reducida y si no se circula a poca velocidad es muy fácil pasar de largo. A partir de aquí hay que cruzar una valla y se sigue a pie una ruta ascendente cercana al kilómetro. Esta senda traza inicialmente una línea recta, pero cerca de la cima enlaza con un camino en el que hay que girar hacia la izquierda. Al finalizar el recorrido se tiene una visión en alto de la laguna, complementada por unos paneles explicativos.

La cartelería está algo deteriorada por las inclemencias meteorológicas pero, tanto la situada en las proximidades de la carretera CM-4111 (Figura 14.2) como la del mirador en el propio *maar* (Figura 14.3), permiten visualizar adecuadamente los procesos geológicos que han dado lugar a su génesis.



Figura 14.2. Panel informativo junto a la carretera CM-4111 (B.J. Ballesteros)

Figura 14.3. Cartel en las proximidades del maar *(B.J. Ballesteros)*





Figura 14.4. Vaso lagunar del maar *de la Hoya de Cervera (ortofoto PNOA 2018. Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)*

Características fisiográficas

Se trata de un humedal de origen volcánico y de carácter estacional, como es el caso del resto de las lagunas descritas en este libro. Tiene unas dimensiones reducidas, ya que su superficie más amplia es de 9,25 ha y su perímetro de 1,13 km. Presenta una morfología redondeada, con un diámetro aproximado de 350 m, en el que el flanco oeste viene definido por un límite rectilíneo (Figura 14.4). La zona inundable se instala en el área más deprimida del *maar*, flanqueada por fuertes escarpes rocosos en su límite suroccidental.

Historia y cultura

Al estar en su término municipal, y por ser el núcleo urbano más importante de los dos con los que tiene relación la laguna, este apartado se centra en describir la historia de la ciudad de Almagro.

Aunque no se tienen referencias escritas de su existencia antes de la Edad Media, se puede afirmar, con cierta seguridad, que la población de Almagro tiene su origen en la Edad del Bronce y seguiría la misma evolución que los asentamientos humanos existentes en su entorno geográfico relacionados con la Cultura de las Motillas y con Bocapucheros. Este último, lugar sagrado en la Prehistoria Reciente, se encuentra a unos 6 km al sureste de la ciudad de Almagro (Benítez de Lugo *et al.*, 2022a), por lo que podría existir un asentamiento similar entorno al actual casco urbano.

De la posterior época romana y visigoda quedan muy escasos, y poco relevantes, restos y vestigios arqueológicos, como el trazado de algunas calzadas y pequeños puentes diseminados por su municipio, así como pilastras y columnas de decoración visigoda (Turismo Almagro, 2020).

Según la tradición cultural, el origen del núcleo urbano fue un pequeño castillo almohade, denominado

"Almagrib", levantado para controlar el tránsito entre los caminos y rutas que enlazaban las ciudades de Toledo y Córdoba. El vocablo hace alusión a la característica arcilla roja, con óxidos de hierro, que predomina en los suelos de la comarca. Conocida localmente como "almagre", es utilizada tradicionalmente para pintar las vigas de madera, hecho visible en los soportales de la Plaza Mayor de la ciudad (Figura 14.5).

Las primeras referencias contrastadas sobre el origen de la ciudad de Almagro se remontan a finales del siglo XIII, cuando la Orden de Calatrava trasladó su capitalidad a esta localidad. Hasta entonces debía constituir un centro de segunda importancia en el contexto regional, pero a partir de ese momento experimenta un significativo crecimiento hasta convertirse en uno de los puntos nodales del territorio.

En 1213 se concede el fuero a la villa por D. Gonzalo Yáñez, maestre de la Orden de Calatrava, confirmado por Fernando III en 1222. Desde esta fecha la localidad gana importancia hasta que en 1273 Alfonso X convoca las Cortes en Almagro. Para entonces, la villa se convierte en un recinto amurallado y cuenta con una parroquia principal, San Bartolomé el Real, además de diferentes edificios públicos como las carnicerías, el pósito, la cárcel, las casas del Concejo y un pequeño castillo reemplazado por las Casas Maestrales, que demuestran el crecimiento de la localidad (Turismo Almagro, 2023).

Durante los siglos XV y XVI, Almagro desarrolló la dinámica socioeconómica centro-periferia aplicada por la Orden en Campo de Calatrava, desplazando la proyección económica de las poblaciones desde el centro hacia su franja exterior (Almagro, 2012). Estas dinámicas, de las que la localidad es un buen ejemplo, afectaron a la mayoría de los concejos del entorno. Así, al contar con un término relativamente amplio, adquirió derechos ganaderos sobre muchos de estos concejos. En 1487 el Maestrazgo se incorpora a la Corona, por lo que son muchas las órdenes religiosas que eligen la localidad como lugar de residencia y destino, fundándose diferentes conventos y erigiéndose multitud de iglesias. Así durante los siglos XV a XVII, Almagro incrementa su importancia y, al igual que en otras villas medievales del mismo periodo, comienza a urbanizarse la parte exterior de sus murallas, al no ser ya necesarias. Se crean entonces en sus afueras los arrabales de San Pedro, Santiago, San Ildefonso, San Juan, San Sebastián y San Lázaro.



Figura 14.5. Vista panorámica de los soportales de la Plaza Mayor de Almagro (B.J. Ballesteros)

Durante el reinado de Carlos I, desde 1516 a 1556, los problemas financieros de la Corte hacen que la familia Fugger, banqueros alemanes, se convierta en beneficiaria de las rentas de las minas de Almadén. Esta fue la razón por la que se establecieron en Almagro, favoreciendo el desarrollo de la villa y construyendo edificios de gestión administrativa, así como palacetes y casas particulares. Entre otros, introdujeron la manufactura del encaje de bolillos, actividad tradicional de la población que todavía perdura.

Entre los ilustres vecinos de la villa destaca Diego de Almagro, quien participó junto a Francisco Pizarro en la conquista de Perú, además de estar oficialmente considerado como el descubridor de Chile. También es considerado el primer europeo en llegar al actual territorio de Bolivia.

Durante el siglo XVIII, Almagro se convierte en la capital de la provincia de La Mancha (1750-1761) gracias al entonces ministro de Hacienda, Conde de Valdeparaíso, quien propició un importante desarrollo urbanístico y social. A finales del siglo XVIII e inicios del XIX, Almagro vive un periodo de decadencia económica y social derivado de la pérdida de la capitalidad. La





Figura 14.6. Inscripción en el Corral de Comedias que recuerda la promoción para su declaración por la UNESCO como patrimonio de la humanidad

invasión del territorio por los franceses, las guerras carlistas y la desamortización de Mendizábal de 1835, hicieron que la localidad fuese abandonada por la mayoría de las órdenes religiosas. También desaparece la universidad y son muchos los nobles e hidalgos que dejan Almagro.

A lo largo del siglo XIX llegan progresivamente los avances técnicos, como el telégrafo, o el ferrocarril en 1858, que trasformaron la sociedad española. Se construye el casino, la plaza de toros y el teatro municipal en 1864, llegando la electricidad en 1897. En la década de los años 50 del siglo XX se restaura el Corral de Comedias, que desde entonces se erige en el icono de la localidad. En 1972, su núcleo urbano es declarado Conjunto Histórico-Artístico y se rehabilitan numerosos edificios. Por último, en 1978 se pone en marcha el Festival Internacional de Teatro Clásico y Almagro se convierte en un centro de atracción turística, siendo la tercera población más visitada de Castilla-La Mancha. En la actualidad, el consistorio de la ciudad se encuentra tramitando la solicitud a la UNESCO para declarar el Corral de Comedías como patrimonio de la humanidad (Figura 14.6).

Contexto socioeconómico

El municipio de Almagro, cuyo término municipal abarca una superficie de 249,73 km^2, cuenta con 8.907 habitantes (INE, 2022), concretamente 4.394 hombres y 4.513 mujeres, lo que supone una densidad de 35,7 hab/km^2. En el año 1960 la población alcanzó 9.681 habitantes, y desde entonces sufre un ligero descenso hasta estabilizarse en el año 2011 en torno a la cifra actual.

El sector servicios es la principal fuente de actividad económica (Tabla 14.1), con casi el 68% de las empresas censadas y 1.651 trabajadores afiliados. Le siguen la agricultura y la industria, con el 11,6% y el 11,0% respectivamente, aunque la primera con menos de la mitad de trabajadores que la segunda. En último lugar se encuentra la construcción, con el 9,6% de las empresas y 220 trabajadores. Como dato económico relevante se tiene que el último presupuesto del consistorio municipal (2021) ascendió a la cantidad de 11.657.448 €.

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	221	*8,4*	42	*11,6*
Industria	528	*20,0*	40	*11,0*
Construcción	220	*8,3*	35	*9,6*
Servicios	1.651	*62,4*	246	*67,8*
No consta	25	*0,9*	0	*0,00*
TOTAL	**2.645**	***100***	**363**	***100***

Tabla 14.1. Empresas y afiliación en Almagro (Tesorería General de la Seguridad Social, 2021)

La evolución ocupacional entre 2017 y 2022 (Tabla 14.2) presenta un descenso del desempleo entre los años 2017 y 2019, con un repunte en 2020 que se mantuvo en 2021, volviendo a descender notablemente en 2022.

AÑO	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Nº de parados	950	869	825	946	941	719

Tabla 14.2. Desempleados en Almagro (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha, SEPE)

En cuanto a la agricultura, Almagro es el tercer término municipal de la provincia de Ciudad Real en el número de hectáreas dedicadas a labores agrícolas, tan solo por detrás de Almodóvar del Campo y la propia Ciudad Real. Los últimos datos disponibles sobre los aprovechamientos agrarios corresponden al censo de 2020 (Tabla 14.3). Según éste, en las superficies labradas predominan las explotaciones herbáceas, con el 54,8% de las tierras cultivadas, y los leñosos, con un 29,2%. El 8% de la superficie rural se dedica a pastos y el otro 8% restante a diferentes tipos de cultivos.

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	**18.745,51**	11.164,74	*92,0*	*54,8*
	Leñosos		5.948,29		*29,2*
	Otros		1.632,48		*8,0*
Pastos		**1.632,00**		8,0	
TOTAL		**20.377,51**		***100***	

Tabla 14.3. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2020, INE)



Figura 14.7. Vista general de la laguna donde se observa la distribución de la vegetación ribereña. Diciembre de 2022 (C. Lorenzo, STA CN IGME-CSIC)

Normativa específica y figuras de protección

El *maar* de la Hoya de Cervera se caracteriza por tener laderas ocupadas por abundante vegetación termófila de matorral con alguna pequeña zona de bosque de acebuchar. El área más deprimida se encuentra rodeada casi en su totalidad por una banda de vegetación anfibia temporal en la que aparecen especies como *Marsilea strigosa*, *Parapholis incurva*, *Damasonium polyspermum*, *Lythrum borysthenicum*, *Elatine macropoda*, *Pulicaria paludosa*, *Juncus pygmaeus* o *Corrigiola telephiifolia* (Figura 14.7). Esta vegetación desaparece en la orla perilagunar del borde oriental, pegada a la zona más escarpada, donde es sustituida por formaciones de castañuela. En el resto de sus límites el área inundable se encuentra rodeada por una estrecha franja de cultivo. Cuando se alcanza cierta lámina de agua en el interior de la laguna aparece la especie *Eleocharis palustris* (DOCM, 2019).

El enclave cuenta con varias figuras de protección, la principal es la que lo califica como Monumento Natural mediante Decreto 210/1999, de 5 de octubre (DOCM, 1999c). Además, está declarada Zona de Especial Conservación (ZEC) "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava", según Decreto 26/2015, de 7 de mayo (DOCM, 2015a), y Lugar de Importancia Comunitaria (LIC). Por otro lado, el 20 de octubre de 2020 fue incluido en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico, identificado con el código TM148 (*Maar* Pliopleistoceno de la Hoya de Cervera), definido en el contexto de Ley 42/2007 como parte del Vulcanismo neógeno y cuaternario de la península ibérica (BOE, 2007).

La laguna tiene el código Natura 2000: ES4220005 y dispone de un plan de gestión aprobado mediante la Orden de 07/05/2015, de la Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (DOCM, 2015b). Finalmente, está catalogada con el código IH422016 en el Inventario Español de Zonas Húmedas (BOE, 2019).

Climatología

La descripción climática del *maar* se basa en los datos suministrados por la AEMET de la cercana estación de Aldea del Rey (4159), situada a una cota de 600 m s.n.m. Para analizar el contexto regional y calcular la evaporación también se han utilizado datos procedentes de otras estaciones de su entorno. El análisis se ha realizado para el periodo de 50 años comprendido entre 1972 y 2021.

El hietograma (intensidad de lluvia) de la estación más representativa (4159) muestra una precipitación media de 405 mm con una desviación típica de 120 mm

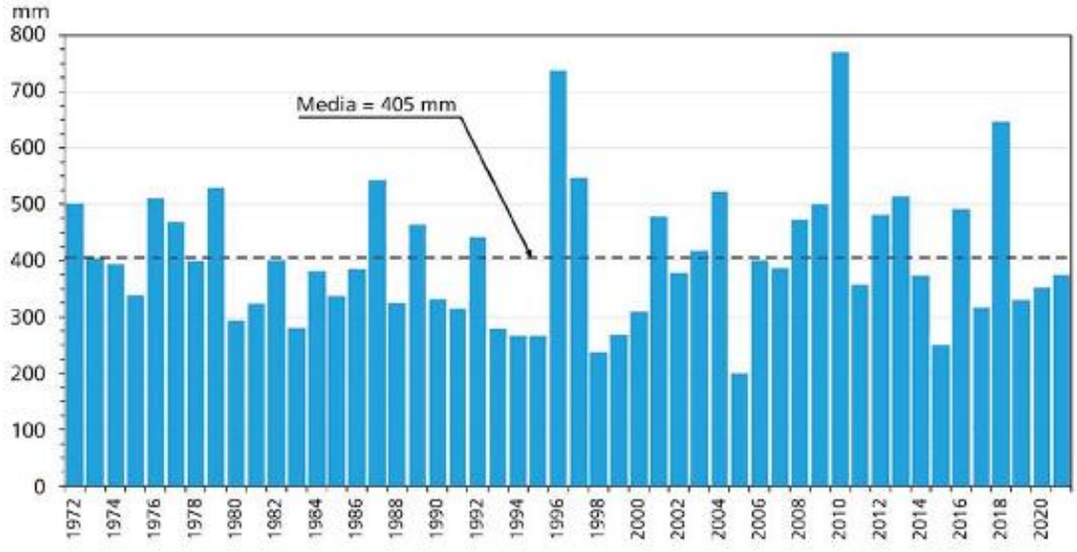


Figura 14.8. Hietograma de la precipitación anual en la estación de Aldea del Rey (4159)

(Figura 14.8). Por otra parte, el rango de las precipitaciones oscila entre un mínimo de 199 mm en 2005 y un máximo de 770 mm en 2010. El diagrama ombrotérmico, elaborado en este caso con la precipitación de la estación 4159 y la temperatura la 4114, muestra un intenso estiaje entre los meses de junio y septiembre (Figura 14.9).



Figura 14.9. Diagrama ombrotérmico del año medio

El análisis de la desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media de los 50 años de la serie climática permite diferenciar 3 periodos húmedos, 4 secos y 4 medios (Figura 14.10 y Tabla 14.4). Como periodo húmedo destaca el trascurrido desde 2008 a 2013, y entre los más secos el comprendido entre 1980 y 1986.

Figura 14.10. Desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media



PERIODO	TIPOLOGÍA CLIMÁTICA	DURACIÓN (AÑOS)	PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN CON RESPECTO A LA MEDIA
1972 a 1975	Medio	4	-
1976 a 1979	Húmedo	4	18% superior
1980 a 1986	Seco	7	15% inferior
1987 a 1990	Medio	4	-
1991 a 1995	Seco	5	23% inferior
1996 a 1997	Húmedo	2	58% superior
1998 a 2000	Seco	3	33% inferior
2001 a 2007	Medio	7	-
2008 a 2013	Húmedo	6	27% superior
2014 a 2018	Medio	5	-
2019 a 2021	Seco	3	13% inferior

Tabla 14.4. Análisis de los diferentes periodos climáticos entre 1972 y 2021

Hidrología

La cuenca hidrológica que ha generado el *maar* de la Hoya de Cervera se sitúa unos centenares de metros al oeste del río Jabalón, en la Cuenca Alta del río Guadiana, y es poco más extensa que el vaso de la laguna ubicada en su interior (Figura 14.11). Su morfología es redondeada, con un ligero alargamiento según un eje de dirección noroeste-sureste, y su superficie total apenas alcanza las 96,84 ha, incluyendo en esta cifra la propia zona inundable, con una relación de 1 a 10 entre ambas. Toda ella se encuentra dentro del término municipal de Almagro, coincidiendo el límite de su mitad suroriental con la divisoria que separa este municipio del de Aldea del Rey.

La cuenca presenta un cierto relieve, especialmente en los sectores occidental y meridional, donde se superan los 800 m s.n.m., con una diferencia de casi 165 m entre el punto más elevado, La Cueva del Cura (827 m s.n.m.), y la cubeta del humedal, lo que se traduce en escarpes muy verticalizados con pendientes medias superiores al 40% (Figura 14.12). Coherente con estas características, así como con su escasa superficie y con la naturaleza de las formaciones geológicas aflorantes en la cuenca, en ella no se observa ninguna línea de drenaje especialmente reseñable.

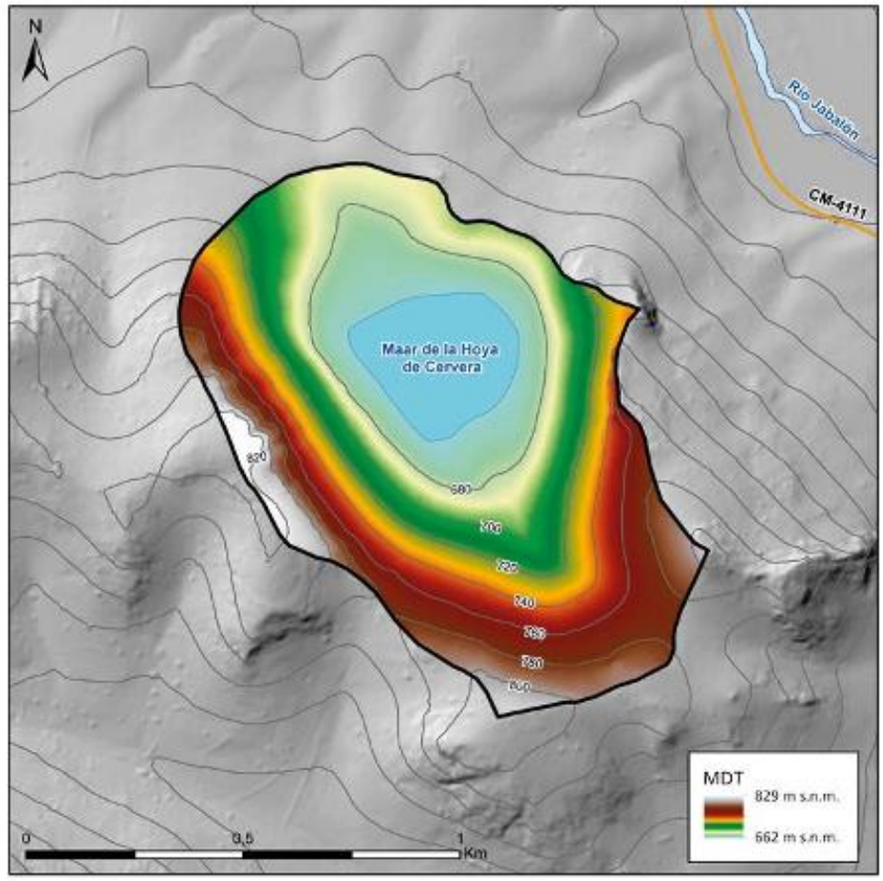


Figura 14.11. Cuenca hidrológica del maar *de la Hoya de Cervera*



Figura 14.12. El borde occidental de la cuenca hidrológica configura una zona muy escarpada (C. Lorenzo, STA CN IGME-CSIC)

Como se ha comentado, es un humedal de carácter estacional cuyas aguas provienen de las generadas por la lluvia en su pequeña área de recepción, por lo que inundación se produce esporádicamente y en años con cierta pluviometría.

Geología

Las diferentes formaciones aflorantes en la cuenca hidrológica de este *maar* son similares a las de las restantes lagunas volcánicas. Están representadas por los sedimentos paleozoicos del Ordovícico y por las rocas volcánicas de edad terciario-cuaternaria. También aparecen sedimentos sincrónicos con estos últimos, pero de diferente naturaleza y espesor, que pueden localizarse bajo los materiales volcánicos, en el caso de los más antiguos, o recubrirlos parcial o totalmente, según zonas. De manera subordinada se encuentran los sedimentos más recientes pertenecientes al Holoceno (Figura 14.13).

La secuencia litoestratigráfica, como sucede en gran parte de este territorio, comienza con la "Formación de Base" o "Serie Púrpura", de edad Ordovícico inferior (151 y O_1), si bien en este caso no llega a aparecer en superficie. Dicha formación tiene varios cientos de metros de espesor con una litología de areniscas, cuarcitas, pizarras y limolitas masivas. En menor medida, aparecen niveles conglomeráticos poligénicos de base erosiva con cantos redondeados y heterométricos de cuarzo, arenisca y fragmentos de pizarra. Sobre estos materiales se encuentran las características cuarcitas armoricanas del Ordovícico (169 y O_2), de tonos blanquecinos y estratos métricos bien diferenciados, que dan lugar a los relieves más elevados debido a su gran dureza. Con un espesor importante, ya que pueden superar los 300 m, en superficie afloran a modo de orla alrededor del *maar,* delimitando en la práctica la cuenca hidrológica de la laguna con la excepción de su borde septentrional (Figura 14.14).

Esta disposición tectónica es típica de los denominados *maares* en rocas duras, es decir aquéllos en los que las extrusiones magmáticas se han producido en lugares donde los materiales encajantes están constituidos por este tipo de rocas.

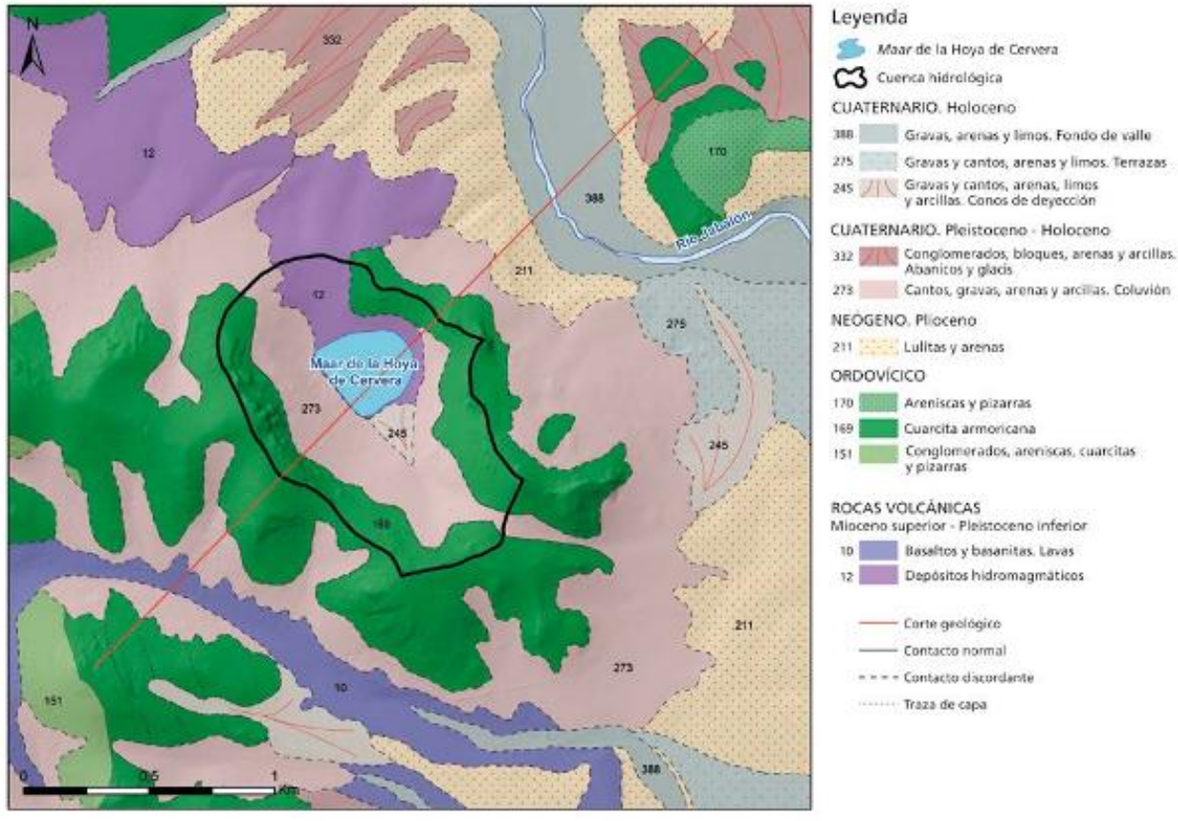


Figura 14.13. Entorno geológico de la cuenca hidrológica del maar *de la Hoya de Cervera*

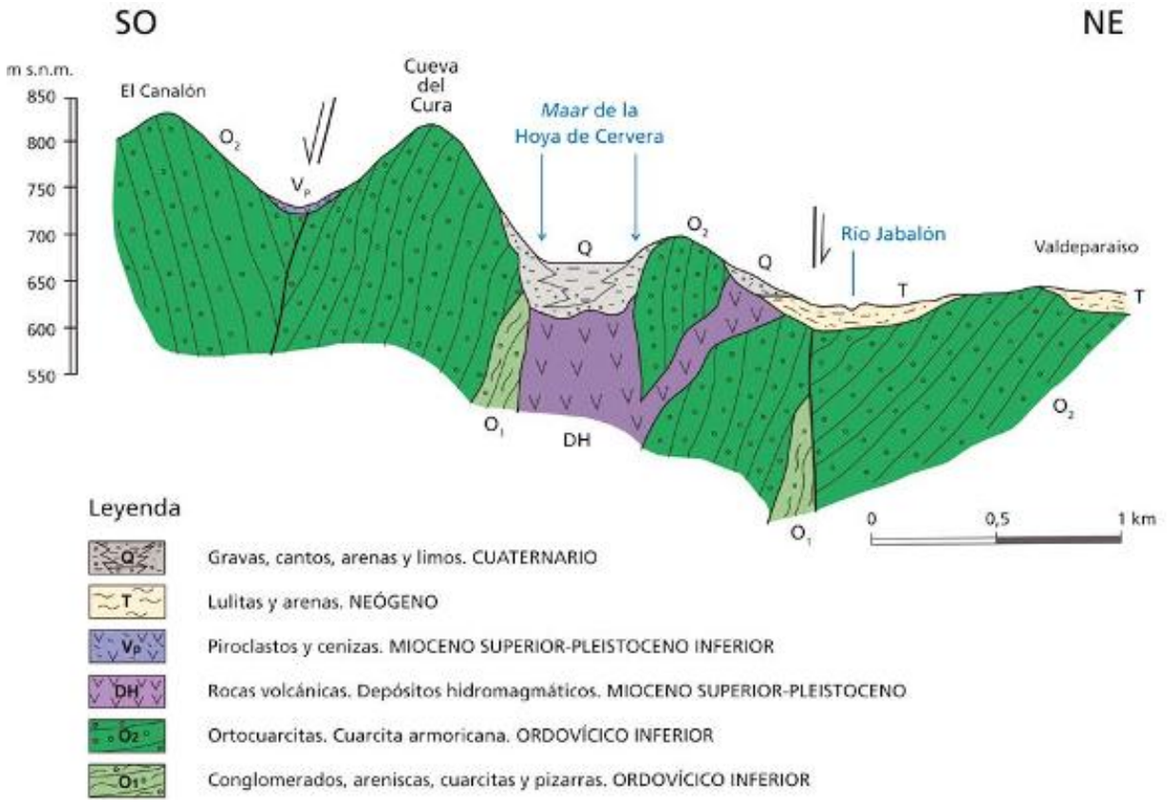


Figura 14.14. Corte geológico del maar *de la Hoya de Cervera*

Por su parte, los procesos hidromagmáticos, de edad Mioceno superior-Pleistoceno inferior, han formado depósitos compuestos por piroclastos y fragmentos de rocas meta-sedimentarias (12 y DH), que se extienden en profundidad en el subsuelo del *maar*, así como conos de lavas, cenizas y piroclastos (10 y Vp). Aunque con escaso interés, en el entorno también aparecen sedimentos de lutitas y arenas (211 y T) sincrónicos con los materiales eruptivos (Figura 14.15).

Por último, en el fondo de la cubeta lagunar y en sus alrededores se encuentran depósitos recientes de escaso espesor e interés, pertenecientes al Holoceno (Q), compuestos por arenas y limos.

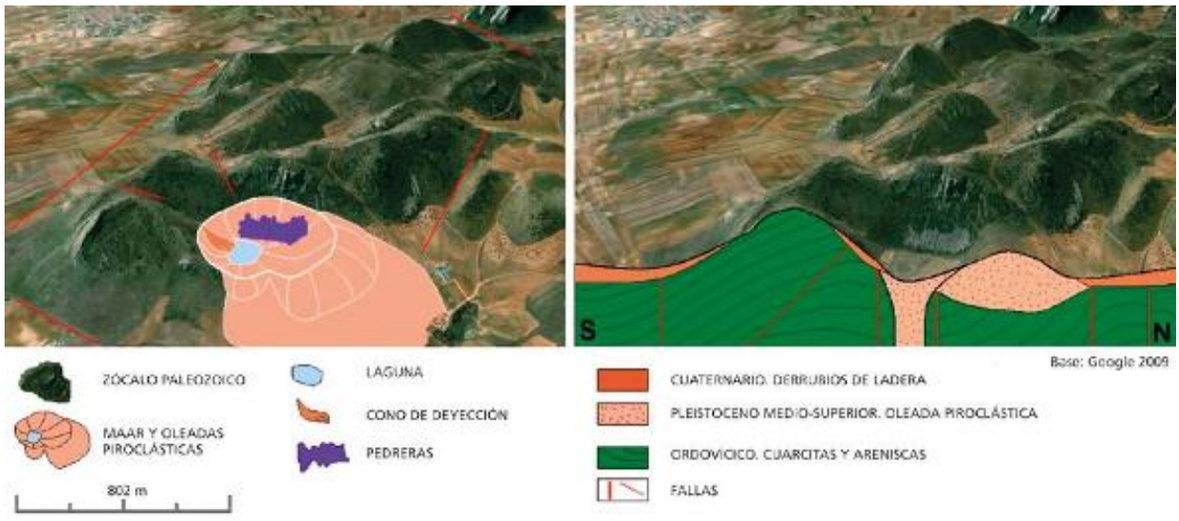


Figura 14.15. Interpretación geológica del maar *de la Hoya de Cervera (González-Cárdenas, 2009)*

Hidrogeología

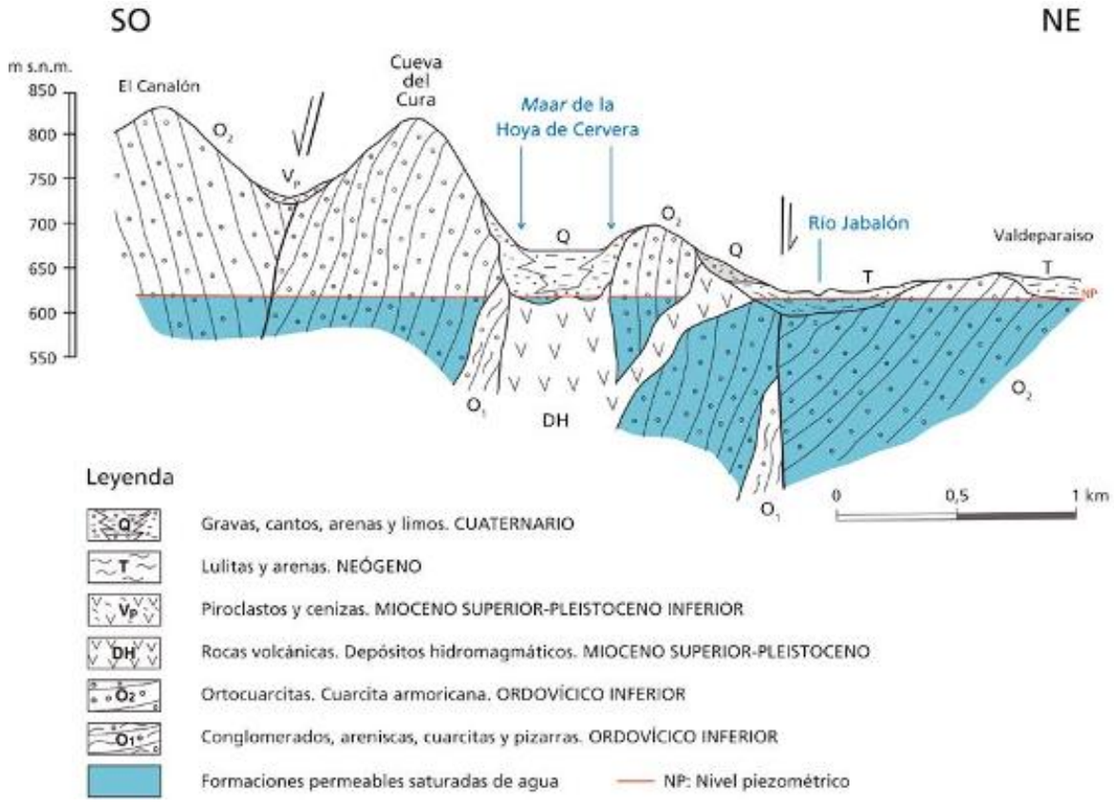
El conjunto de formaciones geológicas que afloran en cuenca vertiente del *maar* de la Hoya de Cervera tienen origen, naturaleza y composición variable, hecho que condiciona su comportamiento hidrogeológico. En este aspecto, el predominio, con el 78% de la superficie, corresponde a los afloramientos de materiales de permeabilidad media (Tipología B) constituidos fundamentalmente por las cuarcitas armoricanas ordovícicas y por depósitos coluvionares (Pleistoceno-Holoceno) de cantos, gravas, arenas y arcillas (Tabla 14.5). Completan estos materiales las gravas y cantos, junto con arenas, limos y arcillas, que constituyen los conos de deyección del Holoceno. Formaciones de otra naturaleza se reparten el resto de la superficie de la cuenca hidrológica en porcentajes similares, de tal manera que el 13% está ocupada por depósitos hidromagmáticos de baja permeabilidad (Tipología C) y el 9% por los limos y arcillas cuaternarios del fondo endorreico, considerados como materiales impermeables (Tipología D).

Por otra parte, la laguna se ubica dentro de la MASb 040.009 Campo de Calatrava, cuyo flujo subterráneo se verifica en sentido noroeste, con un nivel piezométrico en sus inmediaciones localizado en torno a los 30-40 m de profundidad (Figura 14.16).

Tabla 14.5. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica del maar *de la Hoya de Cervera*

DISTRIBUCIÓN Y TIPOLOGÍA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS			
Formación geológica	**Edad**	**Tipología**	**%**
Cuarcita armoricana	Ordovícico	B	78
Gravas y cantos, arenas, limos y arcillas	Holoceno	B	
Cantos, gravas, arenas y arcillas	Pleistoceno-Holoceno	B	
Depósitos hidromagmáticos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	13
Limos y arcillas	Cuaternario	D	9
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Figura 14.16. Corte hidrogeológico del maar *de la Hoya de Cervera*



Balance hídrico

La determinación del balance hídrico de este *maar*, tal y como se expone en el capítulo donde se desarrolla la metodología seguida para su estimación, se ha basado en el cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua del sistema. Las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento y a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (96,84 ha). No existen entradas subterráneas significativas asociadas a acuíferos colindantes, dado que el nivel piezométrico regional se encuentra muy por debajo del nivel de base de la laguna. En cuanto a las salidas, al tratarse de una cuenca endorreica son debidas exclusivamente a la evaporación producida sobre la lámina de agua libre, ya que también se descartan pérdidas hacia las aguas subterráneas por infiltración a través de su lecho.

Por lo tanto, y según lo expuesto, el balance hídrico de la laguna queda simplificado por la siguiente expresión:

$$\Delta V_t = PPD_t + ESC_t - EVP_t$$

donde,

ΔV_t *variación del volumen de agua en el intervalo t*
PPD_t *precipitación directa en la lámina de agua*
ESC_t *escorrentía superficial a la laguna*
EVP_t *evaporación en la lámina de agua libre*

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del modelo digital del terreno (MDT), con tamaño de celda de 5x5 m, del Centro Nacional de Información Geográfica. El tratamiento de esta información ha permitido relacionar la superficie de la lámina libre con el volumen total contenido en el vaso según su profundidad (Figura 14.17).

La evaporación en la lámina de agua libre, establecida en cada momento por la curva hipsométrica, se ha calculado mediante la expresión de Penman (1948) a partir de las series de temperatura máxima y mínima de la estación climática 4114 (Bolaños de Calatrava), así como de las correspondientes a la radiación solar y velocidad media del viento de la estación climática

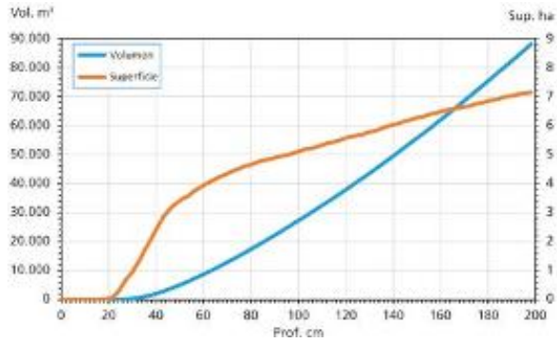


Figura 14.17. Curvas hipsométricas del vaso del maar *de la Hoya de Cervera: relación entre profundidad, volumen almacenado y superficie de la lámina de agua*

4121 (Ciudad Real). Esta evaporación se ha aplicado a la superficie inundada calculada diariamente, aunque se tienen que tener en cuenta las diferencias entre la situación de la estación meteorológica y la propia laguna, con los relieves circundantes.

Para completar el balance hídrico se ha utilizado la aplicación RENATA. Para ello, se ha diseñado un modelo de la cuenca vertiente cuya superficie se ha discretizado en celdas de 50x50 m (Figura 14.18). Este código numérico utiliza el método del balance hídrico de Thornthwaite modificado por G. Girard para calcular la lluvia útil, y el método racional a partir del número de curva (NC) del USSCS para obtener el término de la escorrentía superficial, evaluada en 585 m^3/a (Tabla 14.6). Para la evapotranspiración se ha aplicado el de Hargreaves, a partir de las series de temperatura máxima y mínima de la estación 4114 y de la precipitación de la de Hoya de Cervera (4159). El valor de los

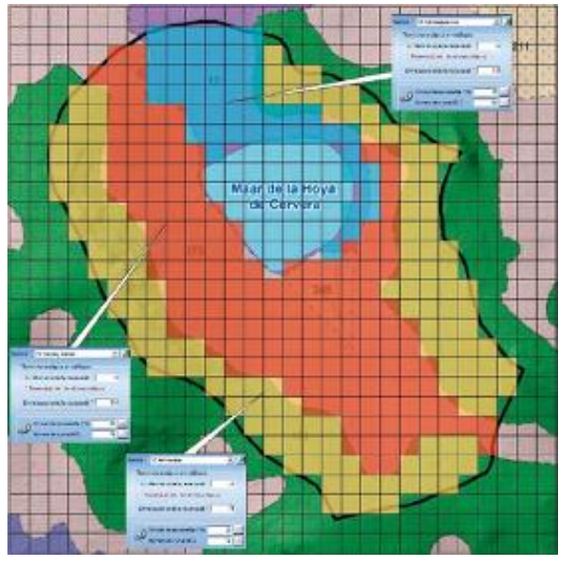


Figura 14.18. Modelo RENATA del maar *de la Hoya de Cervera para el cálculo de la escorrentía superficial.*
En cuadros de color azul, parámetros del suelo asignados

Tabla 14.6. Escorrentía superficial del maar *de la Hoya de Cervera. Parámetros y resultados (periodo 1972 a 2021)*

LITOLOGÍA	SUPERFICIE ha	PARÁMETROS	ESCORRENTÍA m^3/a
Gravas y arenas pliocuaternarias	39,38	RU_{min} = 75 mm RU_{max} = 100 mm P_0 = 20 mm NC = 72	149
Cuarcitas armoricanas	35,84	RU_{min} = 50 mm RU_{max} = 75 mm P_0 = 20 mm NC = 72	219
Rocas hidromagmáticas	12,37	RU_{min} = 85 mm RU_{max} = 115 mm P_0 = 10 mm NC = 84	217
Vaso impermeable*	9,25		
Total	**96,84**		**585**

** Contemplada en la precipitación directa caída sobre la lámina de agua*

parámetros asignados se ha obtenido a partir de las características de los afloramientos de las distintas formaciones geológicas de la cuenca, de su coherencia con las condiciones hidrológicas de la zona y de los empleados para la estimación de la escorrentía en otras lagunas del Campo de Calatrava de similares características.

Determinación del balance hídrico

Con los procedimientos y parámetros descritos, la simulación diaria del llenado de la laguna (Figura 14.19) para el periodo de 50 años (1972 a 2021) muestra que al tener una cuenca vertiente muy pequeña y recibir agua exclusivamente de la precipitación directa caída sobre la lámina de agua y de la escorrentía superficial, la laguna estaría seca o casi seca la mayor parte del tiempo, en torno al 88% (Figura 14.20), y tan sólo contendría agua en episodios tormentosos o en años lluviosos, como durante el invierno de 2010.

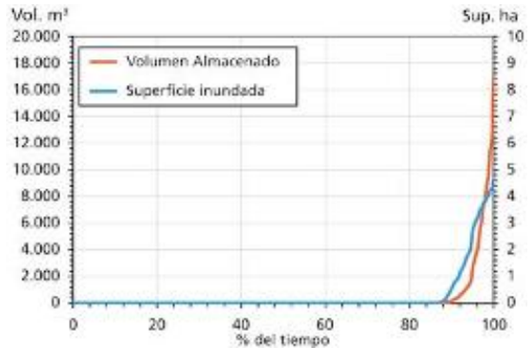
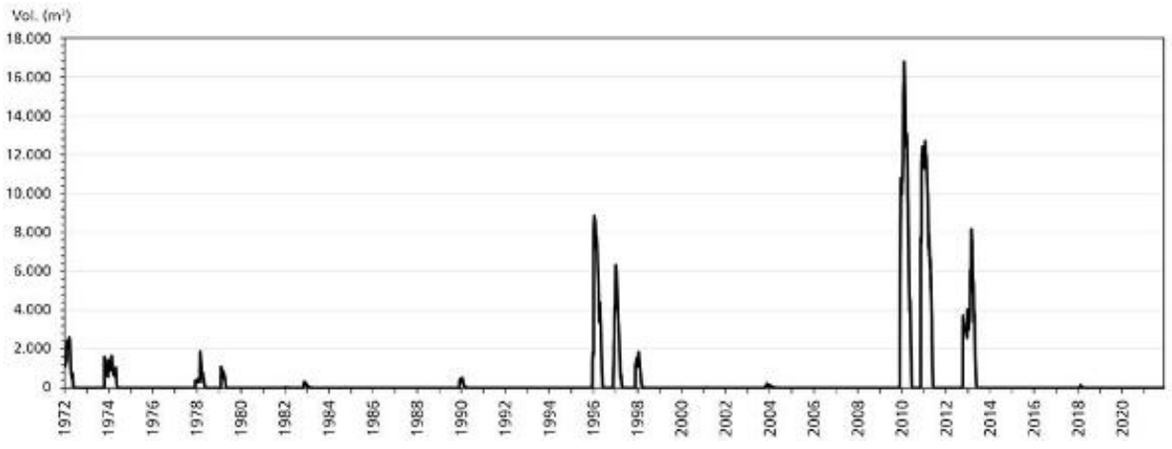


Figura 14.20. Distribución temporal (en %) de la superficie inundada y del volumen almacenado en el maar *de la Hoya de Cervera*

Figura 14.19. Simulación del volumen almacenado en el maar *de la Hoya de Cervera (periodo 1972 a 2021)*



El balance hídrico medio anual obtenido indica que la laguna se alimenta en su mayor parte de la precipitación directa caída sobre su propia cubeta, cifrada en 1.723 m³/a, equivalente al 75% de sus aportes, y de la escorrentía superficial, en este caso muy escasa, 585 m³/a, correspondiente al 25% restante. En cuanto a las salidas, 2.308 m³/a, tienen lugar en su totalidad por evaporación directa de la lámina de agua libre (Tabla 14.7 y Figura 14.21).

PRECIPITACIÓN MEDIA mm	CUENCA VERTIENTE km²	ENTRADAS m³		SALIDAS m³
		Precipitación directa	Escorrentía superficial	Evaporación directa
405	0,97	1.723	585	2.308
		75%	25%	100%

Tabla 14.7. Balance hídrico medio anual en el maar *de la Hoya de Cervera (periodo 1972 a 2021)*

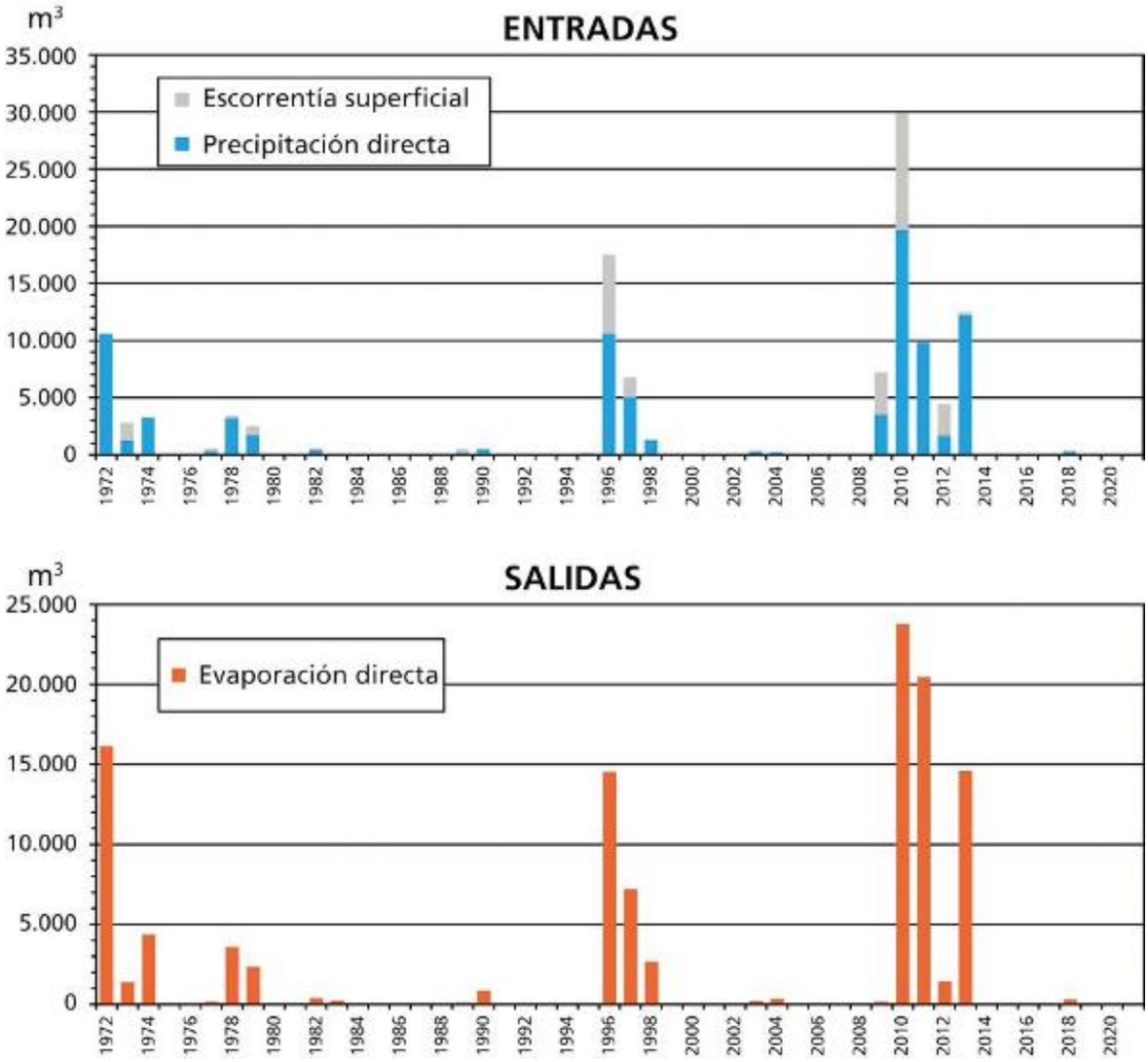


Figura 14.21. Balances hídricos anuales del maar *de la Hoya de Cervera*

Evolución visual del territorio

El más de medio siglo que separa las imágenes aéreas de los años 1957 y 2018 (Figura 14.22) muestra la prácticamente nula transformación del territorio en el entorno del *maar*. Se observa, sin embargo, una notable mayor densidad de la vegetación silvestre, así como una ampliación de los cultivos de secano que llegan incluso a circunvalar la propia laguna.

La imagen siguiente (Figura 14.23) muestra una perspectiva general el encuadre geográfico y paisajístico del *maar.*

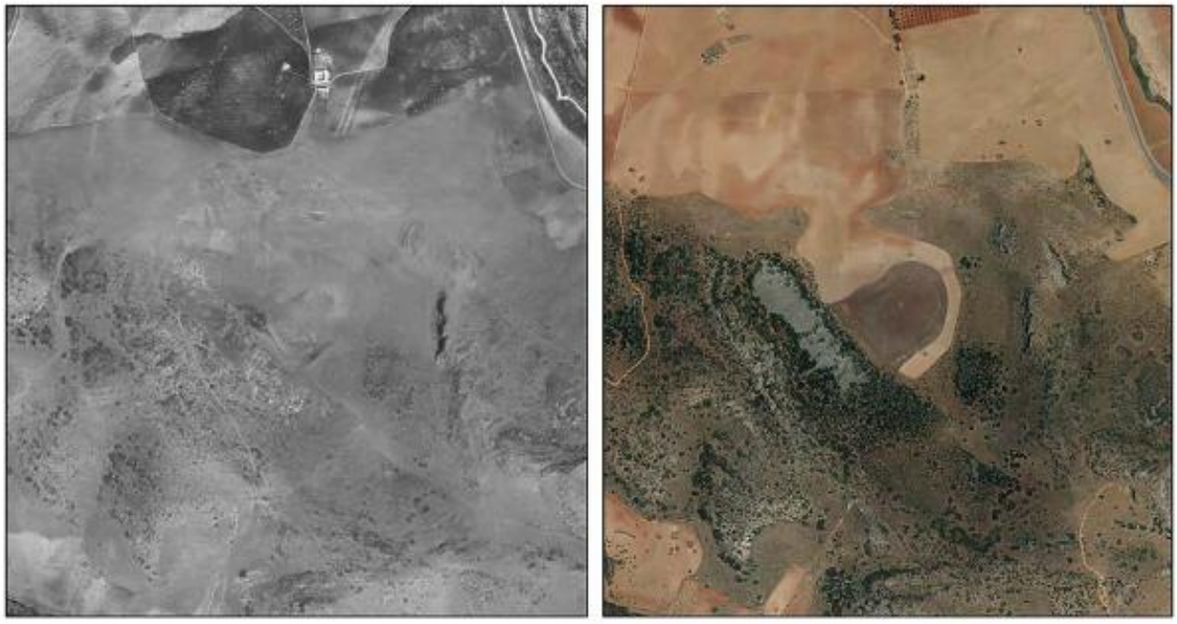


Figura 14.22. Foto aérea comparativa del vuelo americano 1956-1957 y ortofoto PNOA 2018 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 14.23. Vista general del entorno de la laguna. Al fondo la carretera CM-4111 y el valle del río Jabalón, la senda ascendente perpendicular a estos y el camino que va desde la casa de Cervera al lugar del observatorio (C. Lorenzo, STA CN IGME-CSIC)



Capítulo 15

Maar de Barondillo

Bruno J. Ballesteros Navarro
Carlos Camuñas Palencia
Miguel Mejías Moreno







15. *MAAR* DE BARONDILLO

Situación geográfica y accesos

El *maar de Barondillo* o *Varondillo* se ubica en el término municipal de Granátula de Calatrava, población localizada a unos 25 km al sureste de Ciudad Real, provincia a la que pertenece, y a unos 11 km al sur del núcleo urbano de la localidad de Almagro (Figura 15.1).

Las coordenadas de su punto central, cuya altitud es de 700,02 m s.n.m. según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional, son X: 435.495 e Y: 4.297.785 (UTM ETRS89 H30).

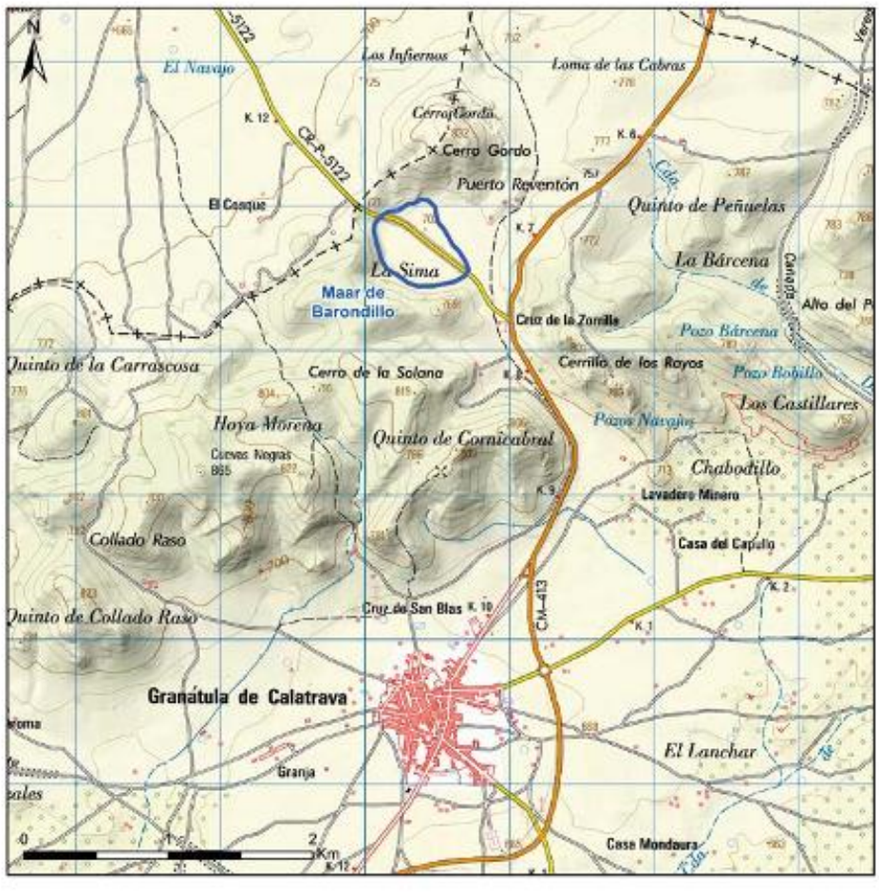


Figura 15.1. Situación geográfica del maar *de Barondillo (hoja 811 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)*

El *maar* está integrado dentro del complejo que conforma el cono volcánico de Cerro Gordo (Figura 15.2), declarado como Lugar de Interés Geológico (LIG). Esta estructura, aprovechada como cantera, es visitable por su valor geoturístico (Figura 15.3).

El acceso al *maar* no presenta ninguna restricción. Para llegar a él desde Granátula de Calatrava se toma la carretera CM-413, que une a esta localidad con la de Almagro. A unos 3 km desde la salida de la población se toma hacia la derecha la carretera CR-P-5122 en dirección a Valenzuela de Calatrava, la cual, después de recorridos unos 400 m, atraviesa la zona inundable por su parte central. Sin embargo, el acceso al sector visitable de la cantera, que tiene un gran interés para comprender y visualizar los distintos procesos que han dado lugar a la formación de este volcán (Figura 15.4), aunque está abierto al público necesita autorización.



Figura 15.2. Cartel explicativo del maar *de Barondillo y del volcán de Cerro Gordo (Calatrava Parque Cultural)*



Figura 15.3. Pasarela de visita al volcán de Cerro Gordo (Granátula de Calatrava, Ciudad Real) (L.A. Carreño)



Figura 15.4. Piroclásticos de caída y de brechas de explosión del volcán de Cerro Gordo a la entrada visitable de la cantera de San Carlos (B.J. Ballesteros)

Características fisiográficas

Como el resto de las contempladas en este libro, la génesis esta laguna tiene que ver con una manifestación hidromagmática, en este caso relacionada con el volcán de Cerro Gordo, estructura geológica que se yergue en su borde septentrional. El vaso lagunar, de carácter extremadamente efímero, constituye una suave depresión con una morfología redondeada de unos 600 m de diámetro y un perímetro de unos 1,9 km, lo que se traduce en una superficie máxima inundable cercana a las 26 ha, todas ellas ocupadas en la actualidad por labores agrícolas (Figura 15.5).



Figura 15.5. Vista del sector oeste del maar*, ocupado en su totalidad por labores agrícolas (B.J. Ballesteros)*

Historia y cultura

Los valores históricos y culturales relacionados con esta laguna se identifican con los de la cercana población de Granátula de Calatrava. En su término municipal existen relevantes vestigios arqueológicos de diferente edad, fruto de su situación entre varias vías de comunicación natural que atraviesan el territorio. El yacimiento más importante es el de Oreto y Zuqueca (Figura 15.6), capital de la Oretania, región y cultura ligada a los íberos que comprendía aproximadamente la mitad meridional de la provincia de Ciudad Real, la parte centro-septentrional de la de Jaén y la región occidental de la de Albacete.

En el lugar se superponen vestigios de diversas épocas y niveles de ocupación, siendo frecuente encontrar restos habitacionales con diferencias cronológicas de varios siglos pegadas muro a muro. Cuenta con una importante necrópolis que alberga gran cantidad de indicios romanos, visigodos y árabes. La estructura más visible, que supuso el origen de las excavaciones, es una ermita que da nombre al yacimiento, y la más singular, los baños árabes, en los que se han encontrado canalizaciones y conducciones que posibilitaban la mezcla de aguas calientes y frías.

En las proximidades de Granátula también aparecen restos neolíticos y prerromanos, lo que hace pensar en una ocupación humana continuada. Durante la dominación musulmana, la ciudad de Oreto, entonces conocida como Urit, fue, probablemente, destruida y sus pobladores se trasladaron a Calatrava, por lo quedó convertida en una alquería. Hasta el siglo XIII no hay



Figura 15.6. Cartel informativo y acceso al emplazamiento arqueológico de Oreto y Zuqueca (B.J. Ballesteros) y vistas de detalle del yacimiento (L.A. Carreño)





Figura 15.7. Vista general de la iglesia de Santa Ana, con la singular estatua ubicada en su plaza (izquierda) y estatua ecuestre del General Espartero (derecha), en cuyo pedestal reza: "Granátula de Calatrava, octubre de 1991, a su más preclaro hijo" (L.A. Carreño)

referencias históricas sobre la localidad, pero se han encontrado restos pertenecientes al siglo VI. En los siglos XIII y XIV, Granátula solo estaría habitada por algunas decenas de vecinos, pero ya en el siglo XV constituía una pequeña aldea cuya economía se basaba en la ganadería y la agricultura del cereal y la viña, circunstancia que se mantiene hasta la actualidad.

Desde que Almagro empieza a ser considerada como futura capital del Campo de Calatrava, las noticias sobre Granátula son muy escasas. Sólo se nombra a partir del siglo XVI por diversas menciones a Oreto y a varias instituciones de la Orden de Calatrava relacionadas con la población, como la Mesa Maestral, con su casa-tercia en la calle del Santo, la Clavería de Calatrava, que tenía como pertenencia la dehesa de Zuqueca, o la Encomienda de Almagro que administraba la dehesa de Casarrubias. El rey Felipe V envió al Consejo de Ordenes en 1711 la pretensión del lugar de Granátula de hacerse villa y, posteriormente, el 3 de marzo fue declarada independiente.

Durante el mandato de Espartero (1809-1875), nacido en la localidad (Figura 15.7), se produce el paso de la sociedad estamental a la sociedad burguesa. También en esta etapa, después de los saqueos de los franceses y de las partidas de soldados carlistas, se impone una sensación de inseguridad que hace que se planteé fortificar el pueblo (Ciudad-Real.es, 2003c). Ya en tiempos recientes, durante los siglos XX y XXI, la villa sigue el progreso general de la sociedad española, con la construcción de los servicios básicos y la mejora de las condiciones de vida.

Contexto socioeconómico

El municipio de Granátula de Calatrava, cuyo término municipal se extiende sobre una superficie de 152,6 km^2, cuenta con un total de 716 habitantes (INE, 2022), de los que 349 son hombres y 367 son mujeres, lo que supone una densidad de 4,7 hab/km^2. La población ha decrecido progresivamente desde el año 1950, cuando contaba con 3.573 habitantes, hasta llegar a la cifra actual.

Al igual que en múltiples localidades de la comarca, el sector agrícola es la principal actividad económica (Tabla 15.1), con el 54,3% de las empresas censadas y 86 trabajadores afiliados. La segunda, corresponde al sector servicios, con 13 empresas, el 37,1%, y 70 trabajadores afiliados. Los otros dos sectores, industria y construcción, suman en conjunto el 8,6% de las empresas.

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD

	Trabajadores	%	Nº de empresas	%
Agricultura	86	*47,0*	19	*54,3*
Industria	7	*3,8*	2	*5,7*
Construcción	5	*2,7*	1	*2,9*
Servicios	70	*38,3*	13	*37,1*
No consta	15	*8,2*	0	*0,00*
TOTAL	**183**	***100***	**35**	***100***

Tabla 15.1. Empresas y afiliación en Granátula de Calatrava (Tesorería General de la Seguridad Social, 2021)

El desempleo es descendente entre 2017 y 2019 (Tabla 15.2), y ascendente entre 2020 y 2021, para caer notablemente en 2022 (datos a 31 de marzo de 2022).

AÑO	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Nº de parados	950	869	825	946	941	719

Tabla 15.2. Desempleados en Granátula de Calatrava (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha, SEPE)

En cuanto a los aprovechamientos agrarios, los últimos datos disponibles, correspondientes al censo de 2020 (Tabla 15.3), indican el predominio de las explotaciones herbáceas en las superficies labradas, con el 51,7% de las tierras cultivadas, frente al 40,2% de los leñosos. Mientras que el 8,1% restante de la superficie rural se dedica a pastos.

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	**11.198,46**	6.304,60	*91,9*	*51,7*
	Leñosos		4.893,86		*40,2*
Pastos		**988,11**		*8,1*	
TOTAL		**12.186,57**		***100***	

Tabla 15.3. Explotación agraria y forestal (Censo Agrario 2020, INE)

Normativa específica y figuras de protección

El humedal está incluido en el Inventario Español de Zonas Húmedas con el código IH422017 (BOE, 2019). También, con fecha 31 de agosto de 2017, está identificado en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico con el código TM146: Volcán del Cerro Gordo, *Maar de Barondillo* y punto de emisión de CO_2 de La Sima del Plio-Pleistoceno (Figura 15.8), definido en el contexto de Ley 42/2007 como parte del vulcanismo neógeno y cuaternario de la península Ibérica (BOE, 2007).



Figura 15.8. Conjunto LIG TM146. Vaso lagunar del Maar *de Barondillo y volcán de Cerro Gordo (ortofoto PNOA 2018. Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)*

Climatología

La caracterización climática de esta laguna se apoya esencialmente en los datos suministrados por la AEMET de la cercana estación de Bolaños de Calatrava (4114) localizada a una cota de 650 m s.n.m., si bien, para calcular la evaporación también se han utilizado datos procedentes de otras estaciones algo más lejanas. El análisis climático se ha realizado para el periodo de 50 años comprendido entre 1972 y 2021.

El hietograma de la estación más representativa de las condiciones climáticas de la laguna (4114) muestra una precipitación media de 370 mm, con una desviación típica de 92 mm (Figura 15.9). El valor mínimo de 155 mm se dio en 2005 y el máximo de 635 mm en 2010. El diagrama ombrotérmico también pone de relieve un intenso periodo de estiaje entre los meses de junio y septiembre (Figura 15.10).

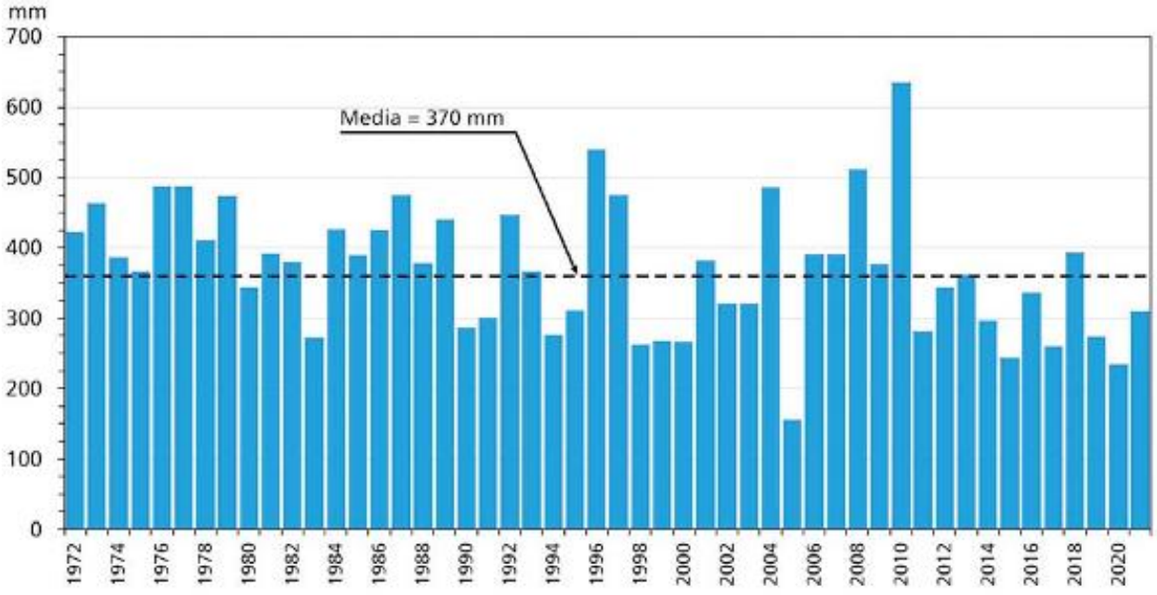


Figura 15.9. Hietograma de la precipitación anual en la estación de Bolaños de Calatrava (4114)

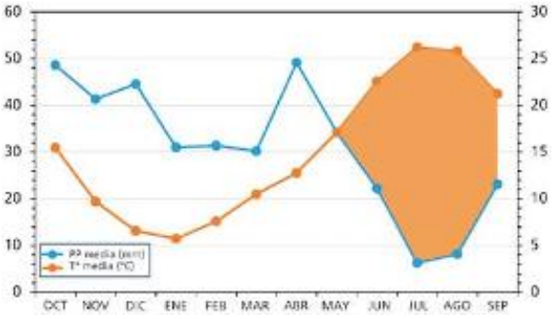


Figura 15.10. Diagrama ombrotérmico del año medio

La desviación acumulada de la precipitación anual, respecto a la media de los 50 años de la serie climática, permite diferenciar 4 periodos húmedos, 2 secos y 2 medios (Figura 15.11 y Tabla 15.4).

Entre los primeros destaca el transcurrido entre los años 1972 y 1979, mientras que entre los más secos lo hace el de los últimos 11 años, de 2010 a 2023.



Figura 15.11. Desviación acumulada de la precipitación anual respecto a la media

Tabla 15.4. Análisis de los diferentes periodos climáticos entre 1972 y 2021

PERIODO	TIPOLOGÍA CLIMÁTICA	DURACIÓN (AÑOS)	PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN CON RESPECTO A LA MEDIA
1972 a 1979	Húmedo	8	18% superior
1980 a 1985	Medio	6	-
1986 a 1989	Húmedo	4	16% superior
1990 a 1995	Seco	6	32% inferior
1996 a 1997	Húmedo	2	37% superior
1998 a 2005	Seco	8	17% inferior
2006 a 2010	Húmedo	5	24% superior
2011 a 2021	Seco	11	18% inferior

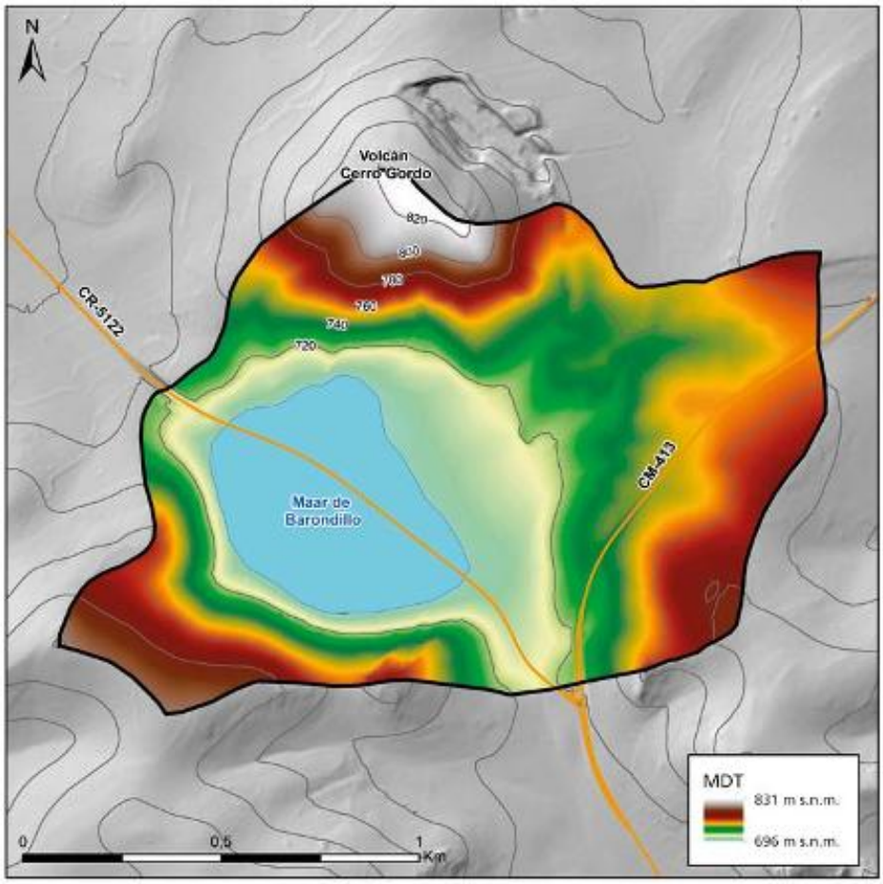


Figura 15.12. Cuenca hidrológica del maar *de Barondillo*

Hidrología

La cuenca hidrológica que vierte al *maar* de Barondillo se ubica en la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, próxima a su límite meridional, del que dista unos 7 km, y linda en su borde sur con la cuenca del río Jabalón, tributario del Guadiana por su margen izquierda. Como corresponde a su disposición geológica, constituye una zona endorreica de reducidas dimensiones, con apenas 180,3 ha. Esta superficie se extiende prácticamente en su totalidad dentro del término municipal de Granátula de Calatrava, con tan sólo una mínima parte en el vecino municipio de Valenzuela de Calatrava.

A igual que la propia laguna, la cuenca hidrológica tiende a ser redondeada, con una ligera elongación según un eje de dirección NE-SO. Los relieves más escarpados y elevados se localizan en el volcán de Cerro Gordo, situado en el sector septentrional, con una altitud máxima de 832 m s.n.m., y también en el sector suroccidental con elevaciones de similar magnitud (799 m s.n.m.). Entre ambos se abre una zona deprimida que es aprovechada por la vía de comunicación que une Granátula de Calatrava con Valenzuela de Calatrava (Figura 15.12). Dado que la superficie de máximo encharcamiento es de 26 ha, la cuenca hidrológica es unas 7 veces mayor que la de la zona inundable.

Por otra parte, la laguna se encuentra dentro del ámbito territorial de la MASb 040.009 Campo de Calatrava, y a ella no accede ningún cauce superficial mínimamente significativo.

Geología

Las diferentes formaciones aflorantes en la cuenca hidrológica del *maar* de Barondillo tienen un comportamiento geológico/hidrogeológico característico según su composición, origen y desarrollo espacial. También existe una acusada diferencia de edad entre los materiales que las integran, con sedimentos paleozoicos pertenecientes al Ordovícico, por una parte, y rocas volcánicas de edad terciario-cuaternaria, por otra, estando ausentes todas las formaciones de edad intermedia.

Desde un punto de vista tecto-sedimentario, el área queda enmarcada en la zona volcánica del Campo de Calatrava (Figura 15.13). Los materiales ordovícicos más antiguos constituyen la denominada "Formación de Base", perteneciente al Ordovícico inferior (151 y O_1), también conocida como "Serie Púrpura", y afloran alrededor de la estructura geológica que configura el *maar*, excepto por su parte norte, donde se erige el volcán de Cerro Gordo. Dicha formación está compuesta por un potente paquete de varios cientos de metros de espesor en el que se identifican sucesivas secuencias de carácter detrítico que responden a una litología de areniscas, cuarcitas, pizarras y limolitas masivas (Figuras 15.13 y 15.14). También aparecen, aunque en menor medida, niveles conglomeráticos poligénicos de base erosiva con cantos redondeados y heterométricos de cuarzo, arenisca y fragmentos de pizarra.

Al sur del *maar,* y en las zonas más elevadas, afloran las cuarcitas armoricanas (169 y O_2), también del Ordovícico

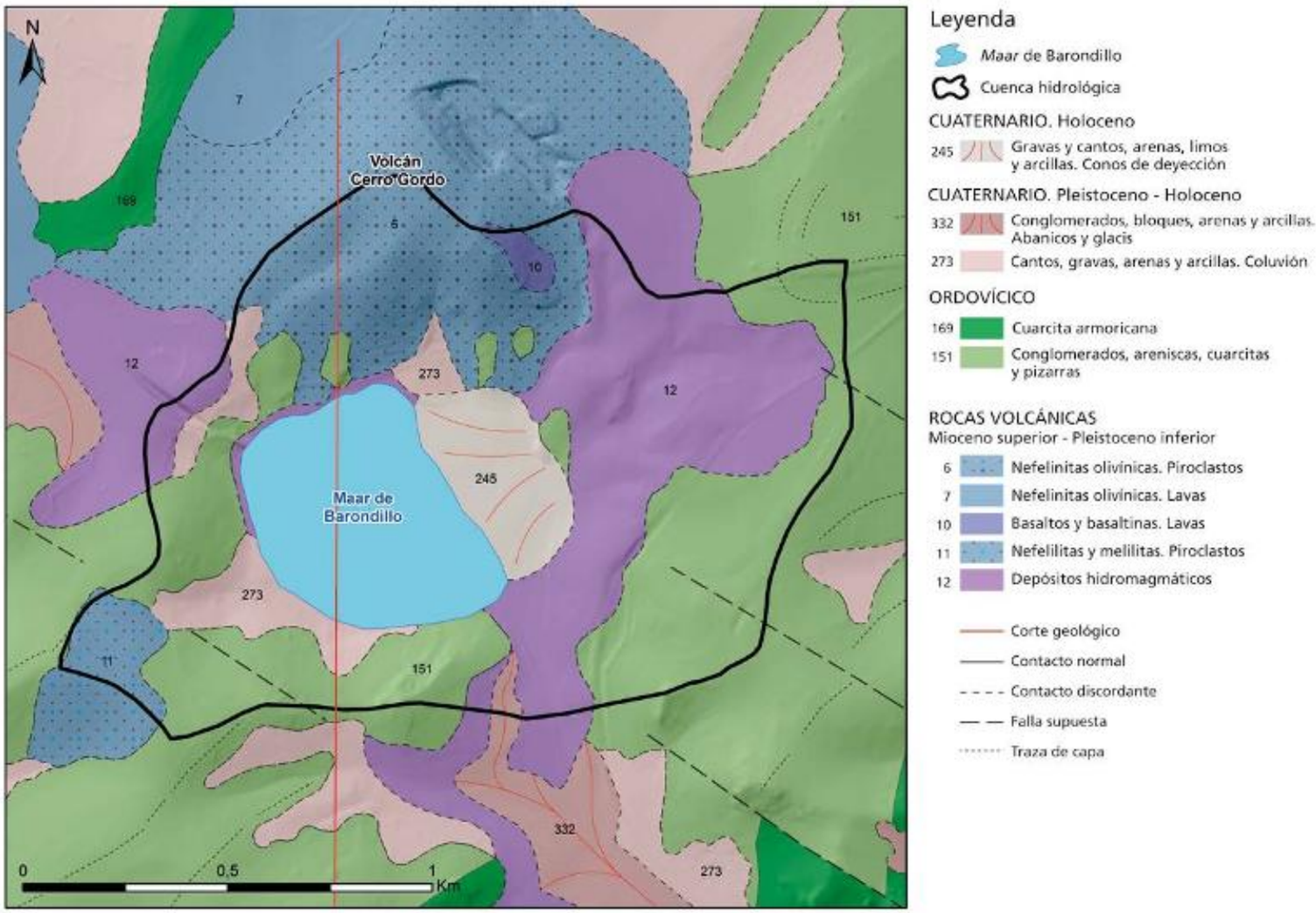


Figura 15.13. Entorno geológico de la cuenca hidrológica del maar *de Barondillo (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Baquedano y C. Camuñas)*

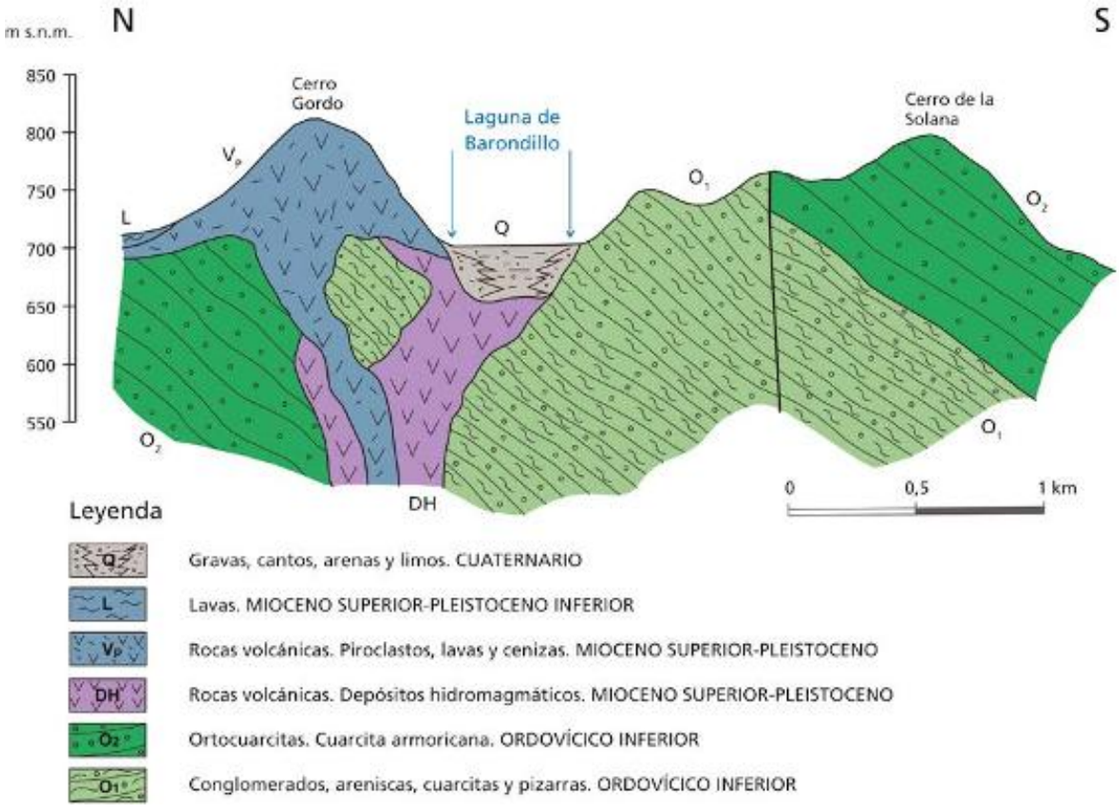


Figura 15.14. Corte geológico del maar *de Barondillo*

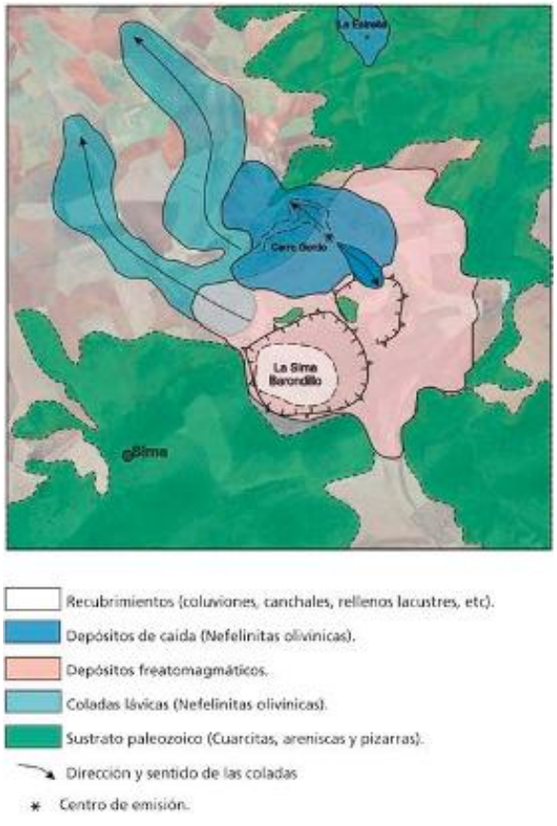


*Figura 15.15. Esquema geológico de Cerro Gordo-*maar *de Barondillo (Gallardo y Lorenzo, 2019)*

inferior, con tonos blanquecinos y en estratos de orden métrico, sedimentadas en un medio de barras submareales. El espesor de esta formación también es importante y supera los 300 m.

Sin embargo, los materiales más característicos y de mayor relevancia, que explican, además, la formación de la laguna, tienen su origen en la actividad magmática registrada en el Campo de Calatrava entre el Mioceno superior y el Pleistoceno inferior. Los distintos episodios volcánicos se concretaron en la aparición de fenómenos eruptivos estrombolianos e hidromagmáticos, o a una mezcla de ambos (Figura 15.15). Estos procesos formaron depósitos integrados por piroclastos y fragmentos de rocas meta-sedimentarias (12 y DH), así como conos de cenizas y piroclastos (6 y Vp) y coladas de lavas basálticas (7, 10 y L), que dieron lugar a la estructura endorreica del *maar*. No obstante, y como ya ha sido comentado, la laguna de Barondillo y su cuenca vertiente están asociadas tanto al propio *maar* como al edificio volcánico de Cerro Gordo (Figura 15.16).

Por último, el fondo de la cubeta lagunar y sus alrededores está ocupado por depósitos recientes pertenecientes al Holoceno (Q), compuestos por arenas, limos, gravas y arcillas de tonos grisáceos con cantos dispersos procedentes de la denudación y erosión de los relieves circundantes.

Hidrogeología

En cuanto a las características hidrogeológicas de los materiales aflorantes (Tabla 15.5), el predominio se lo anotan los considerados de permeabilidad baja, que ocupan gran parte de la cuenca (Tipología C: 73%). Entre ellos se encuentran tanto las areniscas, cuarcitas, y pizarras y limolitas masivas del Ordovícico, como las rocas volcánicas del Mioceno superior-Pleistoceno inferior. En menor proporción se encuentran los limos y arcillas cuaternarios (Tipología D: 14%), mientras que el 13% restante, está constituido por materiales de Tipología B, de permeabilidad media, entre los que se encuentran los coluviones, abanicos y glacis del Pleistoceno-Holoceno y los conos de deyección del Holoceno.

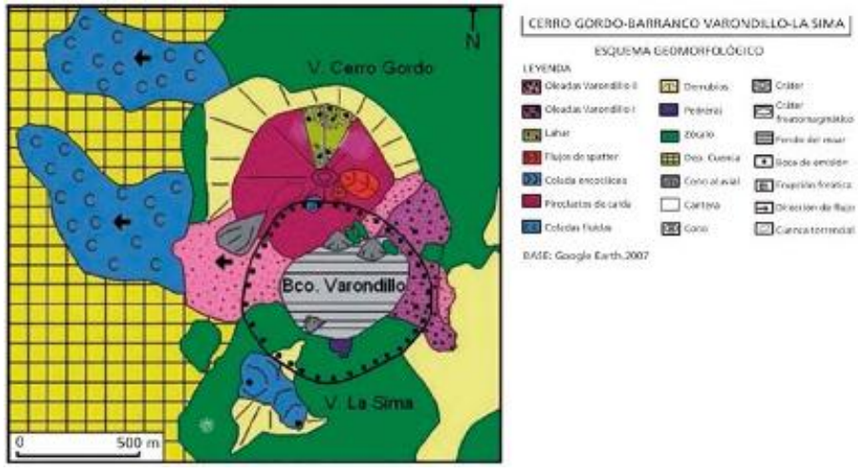


*Figura 15.16 Conjunto geomorfológico de Cerro Gordo-*maar *de Barondillo-La Sima (Gosálvez* et al.*, 2022b)*

Por otra parte, la laguna se enmarca en el ámbito territorial de la MASb 040.009 Campo de Calatrava. En este lugar, el nivel saturado de las formaciones acuíferas subyacentes configura un alto piezométrico con una profundidad entre los 15 y los 30 m. Según esta disposición el flujo subterráneo tiende a tener una componente centrífuga con sentido predominante hacia el oeste (Figura 15.17).

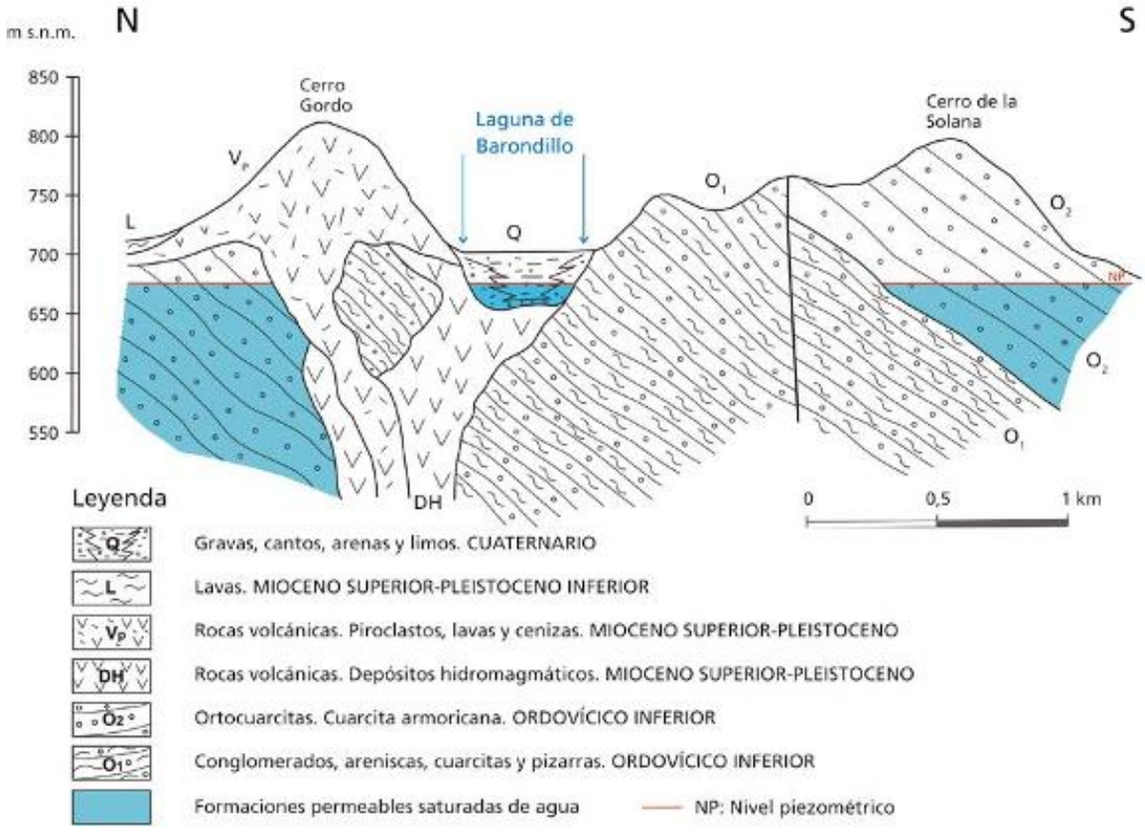


Figura 15.17. Corte hidrogeológico del maar *de Barondillo*

Tabla 15.5. Distribución tipológica de las formaciones geológicas según su permeabilidad. Cuenca hidrológica del maar *de Barondillo*

FORMACIONES GEOLÓGICAS AFLORANTES EN LA CUENCA HIDROLÓGICA			
Formación geológica	**Edad**	**Tipología**	**%**
Gravas y cantos, arenas, limos y arcillas	Holoceno	B	13
Conglomerados, bloques, arenas y arcillas	Pleistoceno - Holoceno	B	
Cantos, gravas, arenas y arcillas	Pleistoceno - Holoceno	B	
Conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras	Ordovícico	C	73
Depósitos hidromagmáticos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	
Nefelinitas olivínicas. Piroclastos	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	
Basaltos y basanitas. Lavas	Mioceno superior-Pleistoceno inferior	C	
Limos y arcillas	Cuaternario	D	14
Tipologías: A (muy permeable), B (permeabilidad media), C (permeabilidad baja) y D (impermeable)			

Balance hídrico

La laguna del *maar* de Barondillo, como es frecuente en este tipo de ecosistemas mesetarios, constituye una zona húmeda somera y de carácter muy ocasional que sólo alberga agua durante episodios de elevada pluviometría, por lo que se encuentra seca en la mayor parte del tiempo, tal y como refleja su actual situación como campo de cultivo.

El funcionamiento hidrológico de este tipo de ecosistemas está condicionado por las zonas endorreicas que creó la actividad volcánica durante el final del terciario y principios del Cuaternario. Debido a su origen, el área vertiente de estos elementos geomorfológicos es de reducidas dimensiones, por lo que estas lagunas necesitan de la contribución de aguas subterráneas para mantener una lámina de agua permanente. Cuando no se disponen de estos recursos, como es el caso de este *maar*, su presencia sólo se da en momentos puntuales. En consecuencia, la alimentación se debe esencialmente a las aguas superficiales procedentes de la precipitación directa de la lluvia y, en menor medida, a la escorrentía superficial. El conjunto de estos aportes es drenado por la evaporación generada en la lámina de agua libre del ecosistema y, en algunos casos, también por la infiltración profunda a través de su vaso.

En concreto, el balance hídrico de la laguna del mar de Barondillo, tal y como se expone en el capítulo donde se desarrolla la metodología seguida para su estimación, se ha determinado a partir del cálculo de los balances diarios de entradas y salidas de agua al sistema.

Las entradas corresponden a la precipitación directa caída sobre la superficie inundada en cada momento y a la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente (179,3 ha). Por la parte contraria, la laguna es drenada por la evaporación generada sobre la lámina de agua libre y, también en este caso, por las salidas subterráneas infiltradas a través de su lecho.

Por lo tanto y según lo expuesto, el balance hídrico de la laguna queda simplificado en la siguiente expresión:

$$\Delta V_t = PPD_t + ESC_t - EVP_t - ASB_t$$

donde,

ΔV_t *variación del volumen de agua en el intervalo t*
PPD_t *precipitación directa en la lámina de agua*
ESC_t *escorrentía superficial a la laguna*
EVP_t *evaporación en la lámina de agua libre*
ASB_t *salidas subterráneas*

La batimetría de la cubeta se ha obtenido a partir del modelo digital del terreno (MDT), con tamaño de celda de 5x5 m, del Centro Nacional de Información Geográfica. El procesamiento de esta información ha permitido relacionar la superficie de la lámina libre con el volumen total de agua acumulada según distintos niveles de profundidad y en intervalos centimétricos (Figura 15.18).

La evaporación en la lámina de agua libre, establecida en cada momento por la curva hipsométrica, se ha calculado mediante la expresión de Penman (1948) a partir de las series de temperatura máxima y mínima

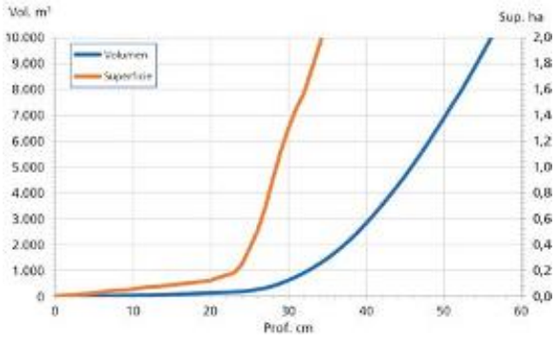


Figura 15.18. Curvas hipsométricas del vaso del maar *de Barondillo: relación entre profundidad, volumen almacenado y superficie de la lámina de agua*

de la estación climática 4114 (Bolaños de Calatrava), así como de las correspondientes a la radiación solar y velocidad media del viento de la estación climática 4121 (Ciudad Real). Esta evaporación se ha aplicado a la superficie inundada calculada diariamente, aunque se tienen que tener en cuenta las diferencias entre la situación de la estación meteorológica y la propia laguna, con los relieves circundantes.

La escorrentía superficial que accede a la zona inundable, cifrada en 1.039 m^3/a (Tabla 15.6), se ha estimado mediante el código RENATA, para lo cual se ha discreteado la superficie de la cuenca vertiente en celdas de 50x50 m (Figura 15.19). La metodología aplicada en este código para el cálculo de la lluvia útil parte del balance hídrico del suelo, diseñado por Thornthwaite modificado por G. Girard, y del método racional a partir del número de curva (NC) del USSCS que permite diferenciar sus dos componentes: escorrentía e infiltración. La evapotranspiración ha sido calculada por el método de Hargreaves a partir de las series diarias de temperatura máxima y mínima de la estación de Bolaños de Calatrava, y de la precipitación de la misma estación. Los parámetros empleados y su distribución se han obtenido a partir de las características de los afloramientos de las distintas formaciones geológicas y de su coherencia con el comportamiento hidrogeológico la zona, así como de los empleados para la estimación de la escorrentía en otras lagunas de similares características del Campo de Calatrava (Tabla 15.6).

En cuanto a las salidas subterráneas, no se dispone de ningún dato que permita estimar el volumen de agua que la laguna podría perder a través del reducido espesor de materiales que rellenan su vaso, dispuestos sobre depósitos hidromagmáticos, en ambos casos con permeabilidad baja. Para este tipo de materiales

LITOLOGÍA	SUPERFICIE ha	PARÁMETROS	ESCORRENTÍA m^3/a
Gravas y arenas pliocuaternarias	21,63	RU_{min} = 75 mm RU_{max} = 100 mm P_0 = 20 mm NC = 72	14
Conglomerados areniscas y arcillas	54,71	RU_{min} = 100 mm RU_{max} = 125 mm P_0 = 10 mm NC = 84	131
Rocas hidromagmáticas	43,02	RU_{min} = 85 mm RU_{max} = 115 mm P_0 = 10 mm NC = 84	166
Piroclastos y cenizas	34,81	RU_{min} = 50 mm RU_{max} = 70 mm P_0 = 10 mm NC = 84	728
Arcillas y limos del vaso(*)	25,13		
Total	**179,30**		**1.039**

Tabla 15.6. Escorrentía superficial del maar *de Barondillo. Parámetros y resultados (periodo 1972 a 2021)*

** Contemplada en la precipitación directa caída sobre la lámina de agua*

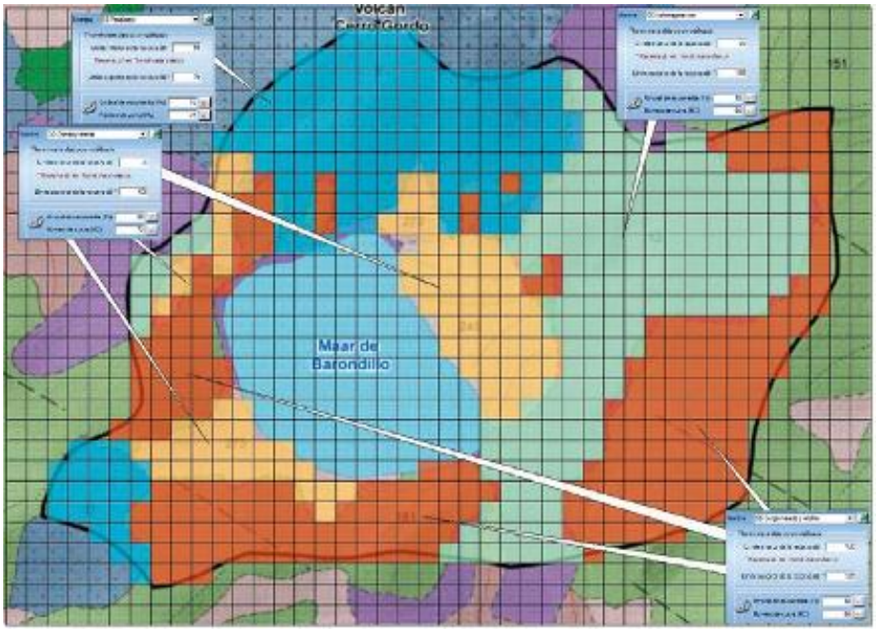


Figura 15.19. Modelo RENATA del maar *de Barondillo para el cálculo de la escorrentía superficial. En cuadros de color azul, parámetros del suelo asignados*

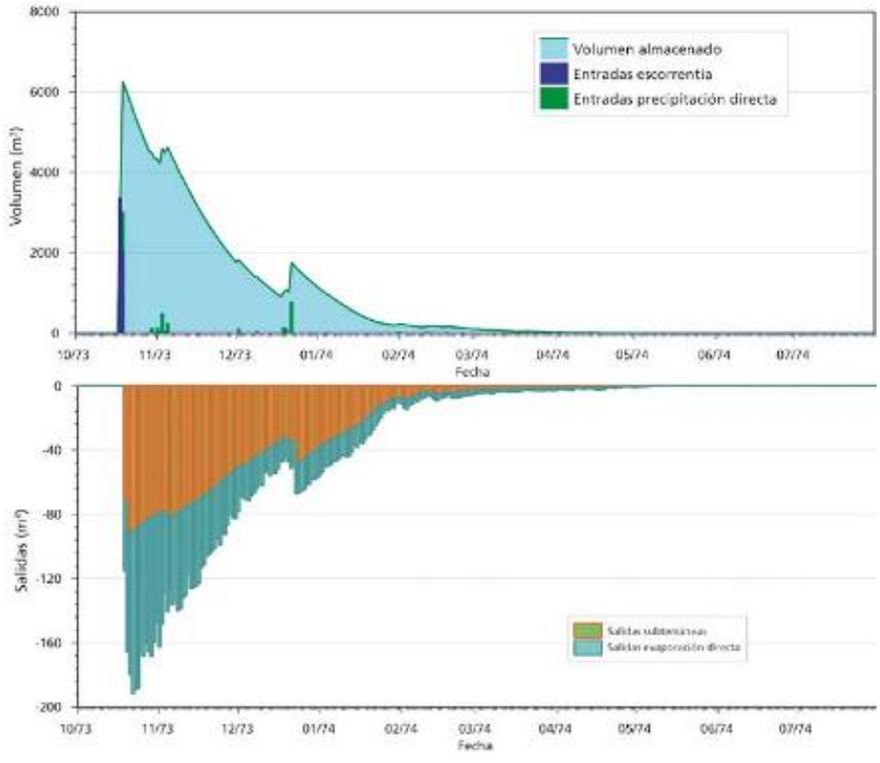


Figura 15.20. Simulación de las entradas y salidas diarias de agua en la laguna del maar *de Barondillo a partir de la intensa precipitación de octubre de 1973. Evolución del volumen almacenado entre octubre de 1973 y julio de 1974*

se ha asignado una permeabilidad (K) de 0,002 m/d, propia de formaciones limosas de características hidráulicas similares. La influencia de la altura de la lámina de agua sobre la capacidad de infiltración se ha considerado insignificante por su escasa entidad, así como porque el nivel piezométrico del acuífero se sitúa a más de 15 m de profundidad.

Para comprender el funcionamiento de la laguna se han utilizado los valores diarios de los componentes del balance hídrico correspondientes a la intensa precipitación registrada en octubre de 1973 (Figura 15.20). Como se puede observar, mientras que las salidas subterráneas disminuyen suavemente, al depender exclusivamente de la superficie inundada, la evaporación sufre altibajos, pues también depende de la temperatura, de la insolación y del viento.

Determinación del balance hídrico

Con los procedimientos y parámetros descritos, la simulación diaria del llenado de la laguna para el periodo de 50 años (1972 a 2021) muestra que sólo podría almacenar cierto volumen de agua con episodios torrenciales de precipitaciones extremadamente elevadas (Figura 15.21). El agua se perdería con cierta rapidez, tanto por evaporación directa como por infiltración a través del fondo del vaso, contribuyendo a la escorrentía subterránea. Incluso durante estos periodos excepcionales, y por escasos días, apenas se llegarían a almacenar unos 1.000 m^3.

De la simulación realizada también se obtiene que el volumen medio acumulado en su cubeta apenas llegaría a los 150 m^3, equivalente a una superficie inundada de 0,16 ha, y que más del 95% del tiempo el humedal se encontraría totalmente seco (Figura 15.22).

El balance hídrico medio anual, finalmente obtenido, indica que la laguna se alimenta principalmente de la escorrentía superficial, 1.039 m^3/a, equivalente al 54% de sus aportes totales, y algo menos de la precipitación directa, 894 m^3/a, que en este caso corresponde al 46%. En cuanto a las salidas, 1.933 m^3/a, predomina ligeramente la infiltración subterránea, 1.117 m^3/a, el 58% del total, sobre la evaporación directa, 816 m^3/a, que corresponde al 42% (Tabla 15.7 y Figura 15.23).

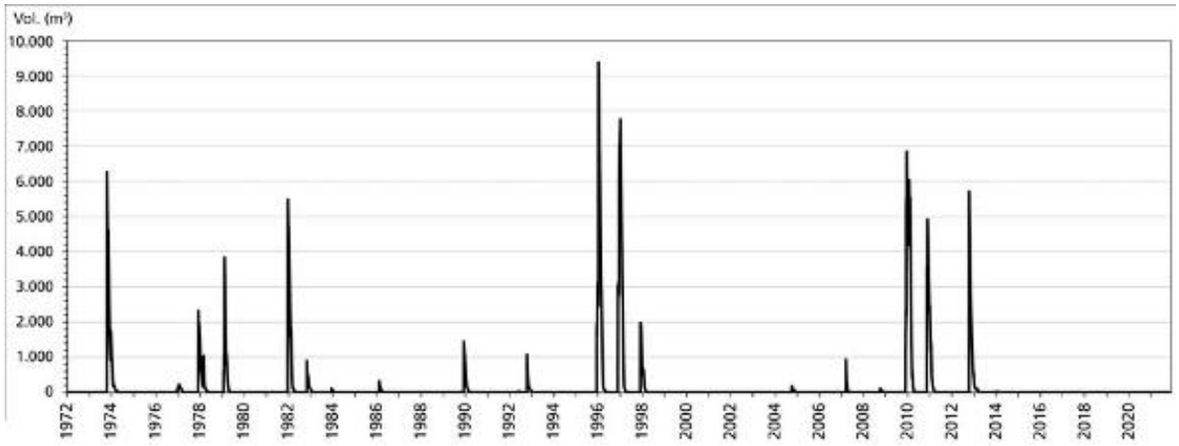


Figura 15.21. Simulación del volumen almacenado en el maar *de Barondillo (periodo 1972 a 2021)*

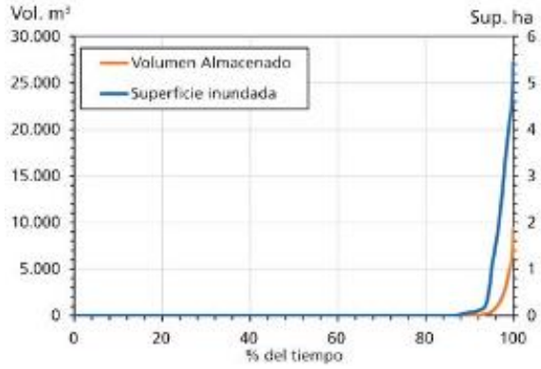


Figura 15.22. Distribución temporal (en %) de la superficie inundada y del volumen almacenado en el maar *de Barondillo*

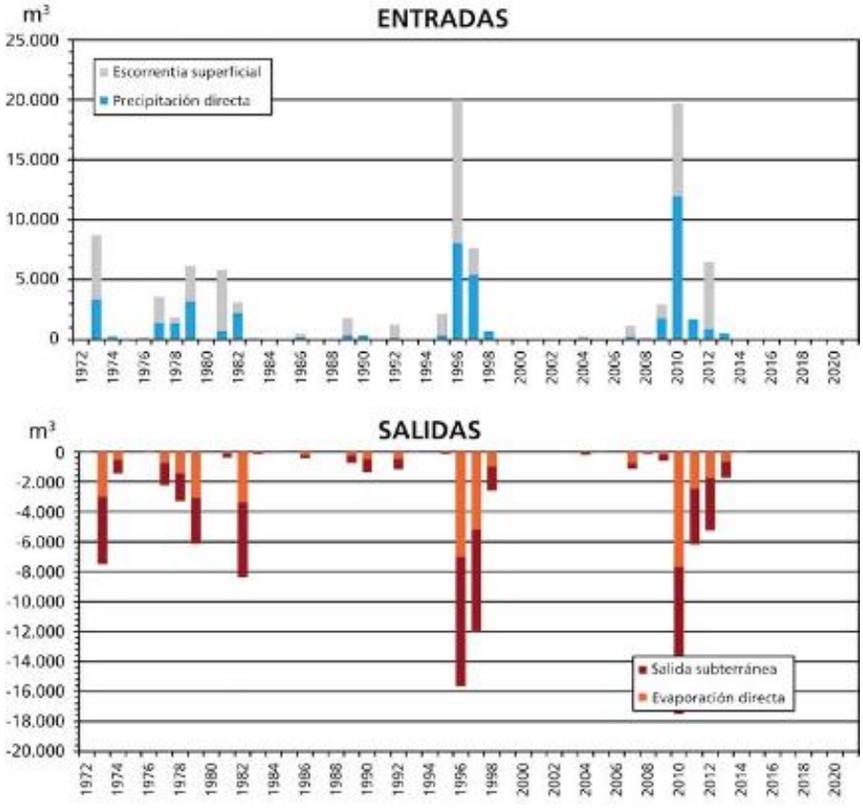


Figura 15.23. Balances hídricos anuales del maar *de Barondillo*

PRECIPITACIÓN MEDIA mm	CUENCA VERTIENTE km²	ENTRADAS m³		SALIDAS m³	
		Precipitación directa	Escorrentía superficial	Salidas subterráneas	Evaporación directa
370	1,79	894	1.039	1.117	816
		46%	54%	58%	42%

Tabla 15.7. Balance hídrico medio anual del maar *de Barondillo (periodo 1972 a 2021)*

Evolución visual del territorio

Las imágenes aéreas de los años 1957 y 2018 ofrecen dos perspectivas del entorno inmediato de la laguna que permiten visualizar la práctica ausencia de cambios en el territorio en los 61 años que las separa (Figura 15.24). Las dos únicas y pequeñas excepciones son la modificación y mejora de la carretera que la atraviesa, y las extracciones de áridos en la cantera ubicada al noreste del volcán de Cerro Gordo.

Las imágenes que cierran el capítulo (Figuras 15.25 a 15.28) muestran, desde diferentes perspectivas, el encuadre geográfico y paisajístico del *maar* de Barondillo.

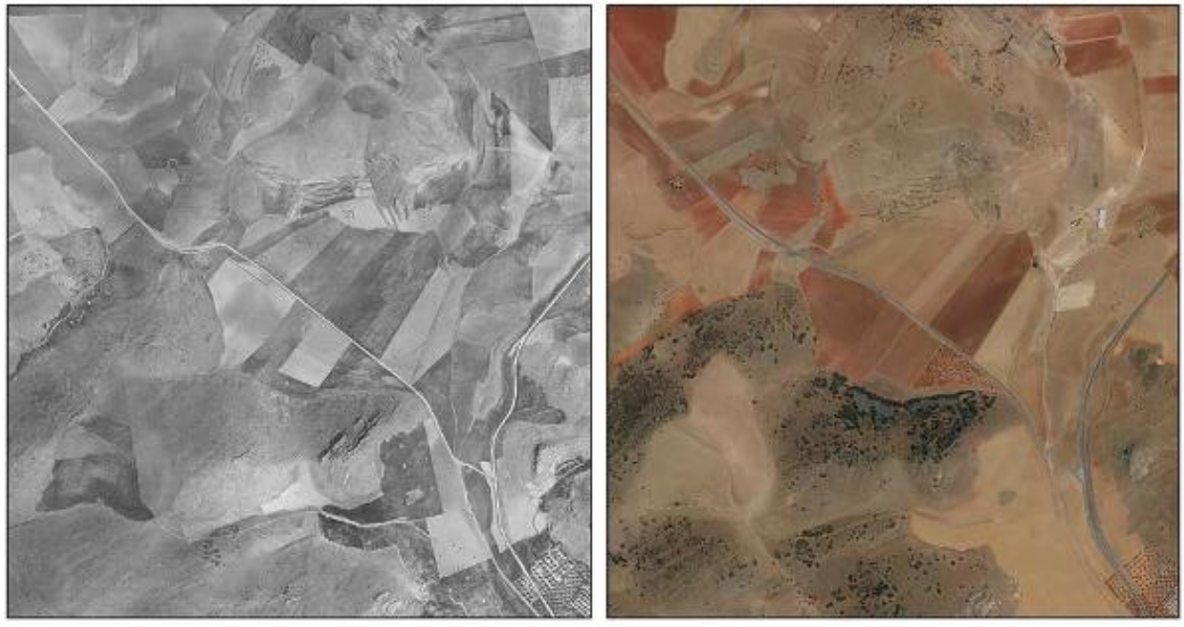


Figura 15.24. Foto aérea comparativa del vuelo americano 1956-57 y ortofoto PNOA 2018 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 15.25. Vista aérea desde el noreste (C. Camuñas, STA CN IGME-CSIC)



Figura 15.26. Acceso a la cantera de San Carlos. Marzo 2022 (B.J. Ballesteros)





Figura 15.27. Vista aérea del volcán de Cerro Gordo (C. Camuñas, STA CN IGME-CSIC)



Figura 15.28. Vista general del interior del maar *en marzo de 2023 (B.J. Ballesteros)*



Capítulo 16

Hervideros y fuentes

Miguel Mejías Moreno
Carlos Camuñas Palencia
Bruno J. Ballesteros Navarro





16. Hervideros y fuentes

Introducción

El vulcanismo no es solo un conjunto de manifestaciones naturales más o menos llamativas del relieve, que resaltan a los ojos del experto y del profano como un paisaje geomorfológico singular, sino que, aunque el vulcanismo se califique científicamente como extinguido, mucho tiempo después, hasta del orden de miles de años, continúa dando lugar a fenómenos geológicos que siempre han despertado la curiosidad de las sociedades que habitan su entorno.

En el Campo de Calatrava, estos fenómenos volcánicos persistentes dan lugar a los hervideros y las fuentes agrias. Cuando una erupción termina, las emanaciones gaseosas pueden persistir activas durante miles de años en forma de fumarolas cercanas a los edificios de emisión. Posteriormente, la emisión de gases contiguos a los conductos de emisión va cesando y lo que permanece en el terreno es una emanación difusa a través de la porosidad del suelo. En los bordes de las cuencas sedimentarias pliocuaternarias, que rellenan los valles planos más amplios: Ciudad Real, Argamasilla de Calatrava, Corral-Ballesteros, Almagro-Bolaños, Calzada-Granátula-Moral y el valle del río Ojailén, el dióxido de carbono está saliendo a la atmósfera de forma continua a través del terreno. Cuando estas emanaciones surgen en zonas donde el agua se encuentra en superficie, o muy próxima a ella, a través de pozos de agua, se hacen visibles como hervideros que, en ocasiones, han llegado a asfixiar a personas y animales.

El agua de lluvia que se infiltra en el terreno, a través de los sedimentos detríticos y carbonatados del Terciario del Campo de Calatrava, se almacena en los acuíferos dando lugar a un flujo de agua subterránea que circula de las zonas de mayor energía a las de menor y entra en contacto con los gases remanentes del

vulcanismo. El resultado de la mezcla es un agua cargada en dióxido de carbono, tradicionalmente conocido como anhídrido carbónico (CO_2) y otros componentes, como el manganeso, que asciende a través de fisuras hasta surgir en manantiales y fuentes. Son aguas que contienen cantidades variables de anhídrido carbónico en disolución, que es el responsable de un característico sabor agrio.

La presencia de aguas "azedas" (agrias) y manantiales de agua "hirviendo" (hervideros en la toponimia manchega) es un hecho conocido desde la antigüedad. Las primeras referencias históricas fueron hechas por el médico Alfonso Limón Montero, natural de Puertollano, que, en su publicación "El Espejo cristalino de las aguas de España" (1697), describió acertadamente muchos de estos manantiales y sus propiedades terapéuticas. Sin embargo, la teoría de relacionarlas con el vulcanismo no se produce hasta casi mediados del siglo XIX.

De aquel pasado de aprovechamiento hidrológico hoy solo quedan vestigios. De las cerca de 40 fuentes de aguas minero-medicinales relacionadas con el vulcanismo, en todas ellas ha disminuido de manera drástica su caudal o, simplemente, han desaparecido, pues su dependencia del nivel piezométrico ha condicionado su evolución.

En muchos casos, los hervideros fueron aprovechados como casas de baños y balnearios, actualmente todos están desaparecidos o cerrados. Entre los balnearios más prestigiosos cabe resaltar los de la Fuensanta (en Pozuelo de Calatrava), Villar del Pozo, hoy desaparecido, o los Baños de El Emperador o Baños de Trujillo, en la actualidad bajo las aguas del embalse de El Vicario. También los había como sencillas casas de baños, entre los que cabría destacar los baños de El Raso y La Gedrera, en Moral de Calatrava, La Sacristanía, en Calzada, o los baños de San Cristóbal, en Pozuelo de Calatrava.

El balneario más famoso de todo el conjunto fue, sin duda, el de Los Hervideros de la Fuensanta, que funcionó hasta 1936. En la actualidad está prácticamente destruido y ocupado por una granja ganadera. Hasta el año 1994 se podía ver aun en su antigua pileta de baños el borboteo constante del gas carbónico, pero la apertura de un pozo de captación en el vecino río Jabalón rebajó el nivel freático y secó el manantial.

No se pretende realizar un ejercicio de nostalgia por este pasado de esplendor hidroterápico de las aguas mineromedicinales del Campo de Calatrava, pero sí una reivindicación de su protección medioambiental. En el presente capítulo se va a poner en valor dos hervideros, todavía activos y visitables, el de Baños y Fuente de El Chorrillo y el de Baños del Barranco y como fuente, la popular Fuente Agria de Puertollano.

Situación geográfica y accesos

Los Baños y Fuente de El Chorrillo se ubica en el término municipal de Pozuelo de Calatrava, a unos 20 km de Ciudad Real. Sus coordenadas son X: 425.802, Y: 4.298.799 (UTM ETRS89 H30) y una altitud de 612,2 m s.n.m., según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional; muy cerca, a unos 860 m al norte de El Chorrillo, se sitúa la fuente de El Gallego, con unas coordenadas X: 425.568, Y: 4.299.494 (UTM ETRS89 H30) y una altitud de 613,6 m s.n.m., según el mismo MDT. Los Baños del Barranco pertenecen a la localidad de Aldea del Rey, a unos 28 km de Ciudad Real. Sus coordenadas son X: 429.360, Y: 4.294.459 (UTM ETRS89 H30) y una altitud de 619,5 m s.n.m., según el modelo digital mencionado (Figura 16.1).

La Fuente Agria se sitúa muy céntrica en el núcleo urbano de la localidad de Puertollano. Sus coordenadas son X: 403.714, Y: 4.282.700 (UTM ETRS89 H30) y una altitud de 691,4 m s.n.m., según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional (Figura 16.2).

Características fisiográficas

Los Baños y Fuente de El Chorrillo y los Baños del Barranco se ubican muy próximos a la margen derecha del río Jabalón. El primero en el entorno de una arboleda (Figura 16.3) y el segundo en una parcela cercada muy próxima a un camino rural (Figura 16.4). Los Baños y Fuente de El Chorrillo consta de una pequeña alberca circular, una fuente con grifo y un pequeño



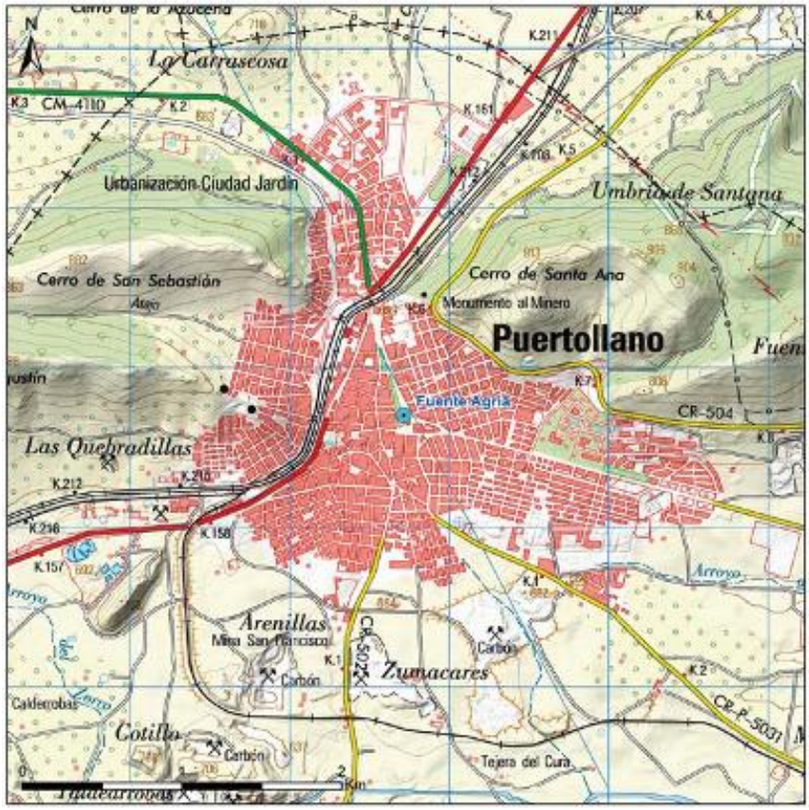


Figura 16.1 (a la izquierda). Situación geográfica de los Baños y Fuente de El Chorrillo, los Baños del Barranco y el manantial de El Gallego (hoja 811 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

Figura 16.2 (a la derecha). Situación geográfica de la Fuente Agria en Puertollano (hoja 810 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional)

edificio denominado "bombo" coronado con una bóveda circular. Los Baños del Barranco cuentan también con una pequeña piscina circular y un hervidero, ambos en una zona habilitada para uso público.

La Fuente Agria es un manantial situado en un céntrico parque de la población de Puertollano (Figura 16.5) cuenta con una larga historia de uso por parte de los habitantes de la ciudad y constituye una parte importante de su historia y tradiciones, como se reflejará en el siguiente apartado.



Figura 16.3. Baños y Fuente de El Chorrillo (ortofoto PNOA 2018. Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)





Figura 16.4 (a la izquierda). Baños del Barranco (ortofoto PNOA 2018. Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

Figura 16.5 (a la derecha). Fuente Agria de Puertollano (ortofoto PNOA 2018. Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)

Historia y cultura

Los "hervideros" del Campo de Calatrava son puntos de agua, manantiales y pozas, en los que se puede observar un escape continuo de CO_2 de origen volcánico que dan la impresión al visitante de agua hirviendo, de ahí su acepción local. El dióxido de carbono aflora a través de las fracturas y fisuras de las rocas. En las aguas de estos manantiales aparecen diversos elementos minerales y su temperatura permite incluirlos, en algunos casos, dentro de la categoría de fuentes termales. Tradicionalmente fueron utilizados con fines terapéuticos desde época romana. En las Relaciones Topográficas de los Pueblos de España se menciona: *"…están dos fuentes que llaman hoy los Hervideros en el término del Pozuelo o Almagro junto al río Xabalón … (el agua) es aherrumbrada, tiene las mesmas ampollas para arriba."*

Los Baños y Fuente de El Chorrillo están ubicados en el término municipal de Pozuelo de Calatrava. "El Chorillo" es un manantial con historia, como lo demuestra la "poza" o baño circular (Figura 16.6) y el "bombo" (Figura 16.7), un edificio con bóveda circular donde antiguamente se localizaba la salida del agua, la cual era muy apreciada por sus características minero-medicinales y empleada para curar afecciones gástricas y cutáneas.

Otro hervidero de la zona son los Baños del Barranco, pertenecientes al término municipal de Aldea del Rey. En el año 2019 se procedió a una importante remodelación de las instalaciones y de su entorno mediante una inversión económica procedente, mayoritariamente, de fondos LEADER (Figura 16.8). La remodelación ha puesto en valor la piscina natural denominada "Baño Chico" (Figura 16.9), de uso público, que es la única de los alrededores acondicionada para el baño. En la actualidad, el baño está permitido, siendo libre y gratuito para cualquier visitante.

La Fuente Agria está ubicada en el Paseo de San Gregorio, en pleno centro de la ciudad de Puertollano (Ciudad Real), forma parte inseparable de la historia



Figura 16.6. Poza del hervidero Fuente de El Chorrillo. Septiembre de 2022 (L.A. Carreño)



Figura 16.7. Bombo y fuente con grifo del hervidero Fuente de El Chorrillo. Agosto de 2022 (C. Camuñas, STA CN IGME-CSIC)



Figura 16.8. Vista general de los Baños del Barranco tras su remodelación en el año 2019 (C. Camuñas, STA CN IGME-CSIC)

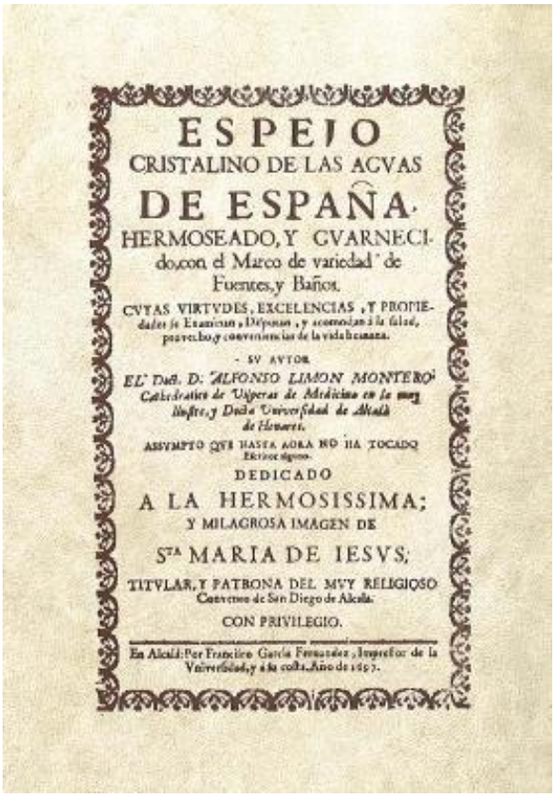


Figura 16.9. Piscina natural "Baño Chico". Marzo de 2023 (B.J. Ballesteros)

del municipio y ha constituido desde siempre un punto de encuentro de sus vecinos. Es la fuente de origen volcánico más conocida del Campo de Calatrava, su alto contenido en manganeso y sus propiedades medicinales han hecho que, desde hace siglos, la actividad de "ir por agua a la Fuente" constituya prácticamente una rutina de los puertollanenses, así como de otros habitantes de la comarca.

En las décadas de los cincuenta y hasta finales de la de los setenta del siglo pasado se formaban largas colas para llenar los recipientes, a veces suponía horas de espera porque las familias hacían un considerable acopio de agua. Con el paso el tiempo, y la mejora en las condiciones de abastecimiento y saneamiento de las poblaciones, ese "ir a por agua a la Fuente" se ha ido convirtiendo en una tradición, casi un hecho cultural que los vecinos de Puertollano guardan con celo como parte de sus tradiciones. La Fuente actúa también como punto de encuentro; por lo general, los vecinos se saludan mientras transcurre la, ahora, breve espera y se aprovecha para comentar alguna noticia local o preguntar por los familiares mientras se llenan sobre todo botellas de plástico, con cierre casi hermético, que permiten que se conserve el dióxido de carbono (CO_2) durante más tiempo.

La primera cita documental contrastada que hace referencia a la Fuente Agria aparece en el año 1575, en las Relaciones Topográficas de los Pueblos de España, y recoge las impresiones del rey Felipe II cuando probó sus aguas: *"esta villa tiene agua dentro della, la que ha menester para su gasto y beber, en moderada cantidad de pozos y que tiene junto a la dicha villa*



ESPEJO
CRISTALINO DE LAS AGVAS
DE ESPAÑA.
HERMOSEADO, Y GVARNECI-
do con el Marco de variedad de
Fuentes, y Baños.
CVYAS VIRTVDES, EXCELENCIAS, Y PROPIE-
dades se Examinan, Difputan, y acomodan à la falud,
provecho, y conveniencias de la vida humana.
- SV AVTOR
EL Doct. D. ALFONSO LIMON MONTERO
Catedratico de Vifperas de Medicina en la muy
Ilustre, y Docta Vniverfidad de Alcalá
de Henares.
ASSVMPTO QVE HASTA AORA NO HA TOCADO
Efcritor alguno.
DEDICADO
A LA HERMOSISSIMA;
Y MILAGROSA IMAGEN DE
STA MARIA DE IESVS,
TITVLAR, Y PATRONA DEL MVY RELIGIOSO
Conuento de San Diego de Alcalá.
CON PRIVILEGIO.
En Alcalá: Por Francisco García Fernandez, Impreffor de la
Vniverfidad, y à fu coffa. Año de 1697.



De las aguas azedas, y el mineral que 'as di el labor. 187

TRATADO III.

De las aguas azedas del Campo de Calatrava, y de fus minerales.

INTRODVCCION.

DE las aguas azedas del Campo de Calatrava hace mencion nuestro doctissimo Arabigo de Morales, Insigne Catedratico de Retorica de nuestra Illustre Vniversidad de Alcalá en su libro de las Antiguedades de España, titulo de la Excelencia de la nueva de España, y la gran riqueza, fertilidad, y riquezas perdidas, que en ella. Donde dize, hasta à tiempo de las escritores Arabes de España, y hasta este siglo hemos de algunas fuentes, que aun en Almagro, y la tierra copia de aguas azedas, que son vtilissimas para la cura de muchas enfermedades, y es cierto, que quando no tuviera mas bien la Nacion Española en ellas de aguas medicinales mas que las aguas azedas del Campo de Calatrava, nos podiamos dar por muy bien aforrados los Españoles, para las infinitas virtudes, que dichas aguas en si con tienen, y nos pueden comunicar, que aunque ay enfermedad en que sea assi con las disposicion que se de ve, no la ay tenido vna sola efficaz, y vniversal medicina. Y fi lo que affirman Plinio, Arnaldo de Villanova, y otros Alquimistas promettiendo vn medicamento vniversal, que cure todas las dolencias, y enfermedades, lo bauia en alguna de ellas aguas, ligeras movemos à fu proposito à los que affeuian, y confideran las facultades, y virtudes, y todo fino, con la experiencia de tan grandes los creditos de muy probable. Pues fi bulle en ellas tan dudable agua el remedio para tan varias, y diverfas enfermedades, y en ella la experiencia, fer vn fabulofo, y vniversal medicamento. Con ellas fe abren vias, y fanan oppilaciones, y en ellas fe experimenta su eficaz medicamento para impe-

de los peligrosos flatos de hijada, cardialgia, y corrupcion las colerinas vias por amarga vomita, y caprice. Con ellas fe cura la melancolia, y en ellas fe halla remedio para los affectuosos, y flacos. Con ellas fe curan las enfermedades, que dependen de obstrucciones cálidas, y crudas, y con la vna fe halla remedio para los hydropicos, paralitic, y otros graves affectos frios, contrarios crudos, y dependientes de contrarias calidades de la qual trataremos adelante.

Este bien, como otros muchos de nuestro Reyno, aunque no estimado como à nuestro conocimiento, no se à vsado, al pueblo en practica, hasta pocos años ha, y aun todavia no passa de los circulos que mueven, y tienen fu vso en muy pocas enfermedades, y affectos, de las muchas que tiene facultad para fanar, mas que mucho mas hacen, y es bien de nuestro Español fanto, y ha de fer estimado del mismo Español facil, y de fer estimado del mismo Español facil, y de fer estimado de los estrangeros Provincias, y remotas climas, los quales por la que le cuestan de afanes, y riesgos, que por la que ellos son en la realidad, aprecia, y estima. Y fiendo digno de mayor estimacion lo que nuestro patrio suelo nos offrece, solo por comun, y poco cuydado nos estraguda, y permitiendo Dios en castigo de nuestro defagradecimiento, y estragion gafto, que vsando, efcarmentemos, y que no conozcamos los bienes que tenemos mientras gozamos, y estimados por su Real mano, para no estimarlos los que conocemos, y para ellos se rendimos los devidos agradecimientos.

Ellas aguas azedas del Campo de Calatrava, son de las mas facultadas de las de Agua, y la facere de Elcia, y aun de mucha mas eficacia, y le miniftranan ciertas de Alpuin à tanta costa nuestra estos años pasados, teniendo la estimacion en España, y en especial en la Corte, tan crecida, que tenian hecho trato el trucarlas, bendiendolas cafi à peso de plata. La fuente de la Nave de Almagro, cinco Morteros, tiene las aguas como las de la fuente de Elcia, y son muchos afirman, que son de mayor virtud que las aguas dichas. Celebra Plinio las

Figura 16.10. Portada del "Espejo Cristalino de las aguas de España", 1697, edición facsímil de 1979 publicada por el Instituto Geológico y Minero de España (izquierda). Página de inicio del Libro 1, Tratado III, página 187, donde se recoge "de las aguas azedas del Campo de Calatrava" (derecha)

una fuente que se llama la Fuente Aceda porque el agua della es agria y sale la dicha agua encima de tierra hirviendo hacia arriba ordinariamente sin cesar".

El doctor Alfonso Limón Montero es considerado como el padre de la hidrología médica en España y fue uno de los primeros estudiosos en hablar sobre las propiedades beneficiosas de esta agua. En 1697, publicó un pionero tratado de Hidrología titulado: "Espejo Cristalino de las Aguas de España" (Figura 16.10).

En 1894 se comenzó a embotellar el agua de la Fuente con el nombre comercial de "agua acidulo alcalino-ferruginosa de Puertollano", su precio era de 38 céntimos de peseta la botella. Su etiqueta reflejaba que su uso era beneficioso frente a afecciones crónicas, problemas intestinales o enfermedades cutáneas porque, en aquella época, se decía que la ingesta del agua agria ayudaba a activar la circulación, estimulaba el sistema nervioso y favorecía la digestión, además de ser beneficiosa para la piel.

Por lo general, la Fuente cuenta con un caudal continuo en sus cuatro caños, aunque variable, y hay pocas referencias de momentos en que haya dejado de manar. La última vez que se secó fue en 2008, existiendo también referencias de esta circunstancia en los años 1860, 1865 y 1950.

Según consultas a la hemeroteca, las ocasiones en que la Fuente ha descendido su caudal de manera importante, o se ha secado, durante el siglo XX y la mencionada de 2008, están relacionadas con afecciones por obras públicas y edificaciones próximas, que afectaron al nivel freático. Así, por ejemplo, sobre la citada última ocasión en que se secó coincidió, en noviembre de 2008, con el inicio de la construcción de un nuevo inmueble en la calle Ave María (muy cerca de la Fuente), con varias plantas subterráneas para aparcamiento, lo que produjo que empezara a menguar el caudal hasta que en la madrugada del 11 de diciembre dejó de manar agua, dando lugar a una gran polémica social en Puertollano. Finalmente, se replanteó ese edificio con una sola planta subterránea y el agua volvió a brotar.

La Fuente está cubierta, protegida, por un templete metálico que forma parte inseparable del manantial (Figura 16.11). Es un octógono y cada lado cuenta con dos barandillas de hierro que dejan entre sí un espacio libre para permitir el acceso al interior.

Tiene un busto que representa al doctor D. Alfonso Limón Montero, natural de Puertollano, que vivió en el siglo XVII, y fue, como ya se ha mencionado, el autor del: "Espejo Cristalino de las Aguas de España" (Limón Montero, 1697).

El templete sirve de acomodo a los nueve escalones que salvan el desnivel entre la superficie del paseo y los caños de la Fuente. Originariamente el manantial se encontraba al nivel del paseo y con esta profundización se pretendió dotar de mayor fuerza a la salida del agua.

El caño "de beber" es el situado al sur de la Fuente, se le conoce así porque está reservado para las personas que solo pretenden beber agua y no llenar recipientes.

En el año 1905 finalizaron las obras de remodelación de la Fuente tal y como se encuentra en el presente (Figura 16.12). El ingeniero de minas D. Carmelo Salarnier, encargado de las obras, hubo de vencer las resistencias del vecindario a determinados cambios y particularmente a las consecuencias que podría acarrear ahondar en el manantial.

A escasos metros de la Fuente Agria se construyó, a mediados del siglo XIX, la Casa de Baños de Puertollano, actualmente un edifico polivalente rehabilitado, construido con sillares de arenisca (Figura 16.13). La construcción de este balneario fue promovida por el



Figura 16.11. Vista del templete que protege el manantial de la Fuente Agria. Marzo de 2022 (C. Baquedano)



Figura 16.12. Detalle de los caños de la Fuente Agria. Septiembre de 2022 (M. Mejías)

general Narváez, Presidente del Consejo de Ministros, Capitán General del Ejército y Duque de Valencia, y muy aficionado a los baños terapéuticos. Al principio, el balneario estaba compuesto por cuatro piletas individuales y dos baños colectivos; posteriormente, las piletas se cambiaron por bañeras de mármol y uno de los baños colectivos se transformó en una fuente. El periodo de baño se permitía desde el 18 de junio hasta el 31 de agosto, ya que las bañeras se encontraban al aire libre. El precio de estos baños dependía de si se tomaban de agua fría o caliente.

Contexto socioeconómico

En el presente apartado se va a reflejar el contexto socioeconómico del municipio de Puertollano, como propietario de la Fuente Agria, y uno de los municipios más importantes del Campo de Calatrava. El contexto de Pozuelo de Calatrava, en relación con los Baños y Fuente de El Chorrillo, se incluye en el capítulo relativo a la laguna del Prado.



Figura 16.13. Vista de la fachada principal de la Casa de Baños de Puertollano. Septiembre de 2022 (L.A. Carreño)

El término municipal de Puertollano se extiende sobre una superficie de 226,74 km^2 y contaba (INE, 2022) con 45.539 habitantes, 21.948 hombres y 23.591 mujeres, lo que supone una densidad de 200,84 hab/km^2. La población va descendiendo ligeramente desde el año 2010 hasta el último dato disponible, año 2022. Aproximadamente el 22% de su población actual supera los 65 años de edad.

En cuanto al nivel de estudios y según los datos del padrón municipal de Puertollano a fecha 1 de enero de 2016 (Tabla 16.1) predominan los estudios de primer grado (46,6%), seguido por el grupo de las personas que tienen estudios de segundo grado (23,6%), los vecinos sin estudios homologados (14%) y finalmente los de tercer grado y los analfabetos con el 11,5% y el 4,3%, respectivamente.

NIVEL DE ESTUDIOS MAYORES DE 16 AÑOS		
	Personas	%
Analfabetos	1.874	*4,3*
Sin estudios	6.117	*14,0*
1er Grado	20.342	*46,6*
2º Grado	10.320	*23,6*
3er Grado	5.019	*11,5*
TOTAL	**43.672**	***100***

Tabla 16.1. Nivel de estudios (Padrón municipal de Puertollano a 1 de enero de 2016)

La actividad económica se resume en la Tabla 16.2, el sector servicios es la principal fuente de actividad económica, con el 83,78% de las empresas censadas en la población y 8.936 trabajadores, seguido de la industria y la construcción, con el 7,12% y 6,78% de las empresas respectivamente y 2.893 y 1.005 trabajadores afiliados a estos sectores. Por último, la agricultura con el 2,32% y 147 trabajadores.

AFILIADOS Y EMPRESAS POR SECTORES DE ACTIVIDAD				
	Trabajadores afiliados	%	Nº de empresas	%
Agricultura	147	*1,13*	27	*2,32*
Industria	2.893	*22,16*	83	*7,12*
Construcción	1.005	*7,70*	79	*6,78*
Servicios	8.936	*68,45*	976	*83,78*
No consta	74	*0,57*	0	*0,00*
TOTAL	**13.055**	***100***	**1.165**	***100***

Tabla 16.2. Empresas y afiliación en Puertollano (Tesorería General de la Seguridad Social, 2021)

La evolución ocupacional entre 2017 y 2022 (Tabla 16.3) presenta un descenso de desempleados entre los años 2017 y 2019, para incrementarse los dos años siguientes y experimentar un notable descenso en los datos correspondientes al 31 de marzo de 2022.

AÑO	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Nº de parados	6.304	5.836	5.216	5.733	5.796	4.454

Tabla 16.3. Desempleados en Puertollano (Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha, SEPE)

En cuanto a los aprovechamientos agrarios, los últimos datos disponibles corresponden al censo agrario de 2020 (Tabla 16.4), presentando un 29,0% de la superficie rural que se dedica a pastos, y el 71% restante a las superficies labradas, con un cierto predominio de las explotaciones herbáceas (34,7%) de las tierras cultivadas.

EXPLOTACIÓN AGRARIA Y FORESTAL					
		Hectáreas		%	
Labradas	Herbáceos	**9.901,08**	4.838,67	*71,0*	*34,7*
	Leñosos		1.113,67		*8,0*
	Otros		3.948,74		*28,3*
Pastos		**4.038,45**		*29,0*	
TOTAL		**13.939,53**		*100*	

Tabla 16.4. Explotación agraria y forestal en Puertollano (Censo Agrario 2020, INE)

Finalmente, señalar que el presupuesto de la entidad local para el año 2021 fue de 45.373.420 €.

Normativa específica y figuras de protección

La Fuente Agria es propiedad del ayuntamiento de Puertollano y los hervideros de Baños y Fuente de El Chorrillo y Baños del Barranco pertenecen a los ayuntamientos de Pozuelo de Calatrava y Aldea del Rey, respectivamente. Ninguno de ellos cuenta con figura de protección ambiental específica. La Fuente Agria está incluida en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG) con el código LIG Cls251, fecha de alta en la Base de Datos 20-02-2018, dentro de la unidad geológica "Estructuras y formaciones del Orógeno Varisco en el Macizo Ibérico".

Los Baños y Fuente de El Chorrillo está incluido en el IELIG con el número de inventario TM143, fecha de alta 11-07-2019, y lo define como representativo de la veintena de manantiales y pozos del Campo de Calatrava por los que se producen escapes de CO_2 de origen volcánico, dentro de la unidad geológica "Sistemas volcánicos recientes". Los Baños del Barranco no se encuentran incluidos en el IELIG.

Geología e hidrogeología

La geología de la Fuente Agria y de los dos hervideros incluidos en este capítulo se va a describir en dos ámbitos locales; por un lado, el correspondiente a la Fuente y, por otro, el de los hervideros.

La **Fuente Agria** surge sobre depósitos cuaternarios de edad Pleistoceno-Holoceno, de escaso espesor, que tapizan ortocuarcitas, cuarcitas, areniscas y pizarras del Ordovícico inferior y medio (Figura 16.14). Se trata de una fuente de tipo "borde de sierra", en la que hay captación de CO_2 volcánico residual por el flujo profundo del agua subterránea a través de fallas y fracturas en el borde de las formaciones de baja permeabilidad, constituidas por los niveles locales de cuarcitas paleozoicas (Yélamos *et al*., 1999). El agua que surge en la Fuente tiene un marcado carácter ferruginoso.

El Ordovícico puede alcanzar más de 600 m de espesor y litológicamente son predominantes las cuarcitas dispuestas en potentes bancos, con presencia de niveles de hierro, aunque aparecen niveles intercalados de areniscas rojizas arcillosas y pizarras. Por encima aparecen, con una potencia entre 200 y 300 m, una secuencia de pizarras arcillosas y alternancias de areniscas, pizarras y cuarcitas (Figura 16.15).

Las cuarcitas del Ordovícico pueden considerarse de permeabilidad media a baja, pues están bastante fracturadas y sus diaclasas suelen estar abiertas. Los principales manantiales que drenan el Paleozoico estén asociados a estas cuarcitas.

El Carbonífero está formado por unos 400 m de pizarras, pizarras con areniscas y dos niveles de tobas volcánicas. Pueden aparecer intercalados hasta once niveles de carbón y dos de pizarras bituminosas en la base, que fueron objeto de aprovechamiento minero. En general, desde el punto de vista hidrogeológico, se considera poco permeable y no parece existir una circulación apreciable de agua por encima de la tercera capa de carbón (Menéndez-Pidal *et al*., 2014).

La cuenca carbonífera de Puertollano fue descubierta en junio de 1873 por ingenieros de la sociedad minera

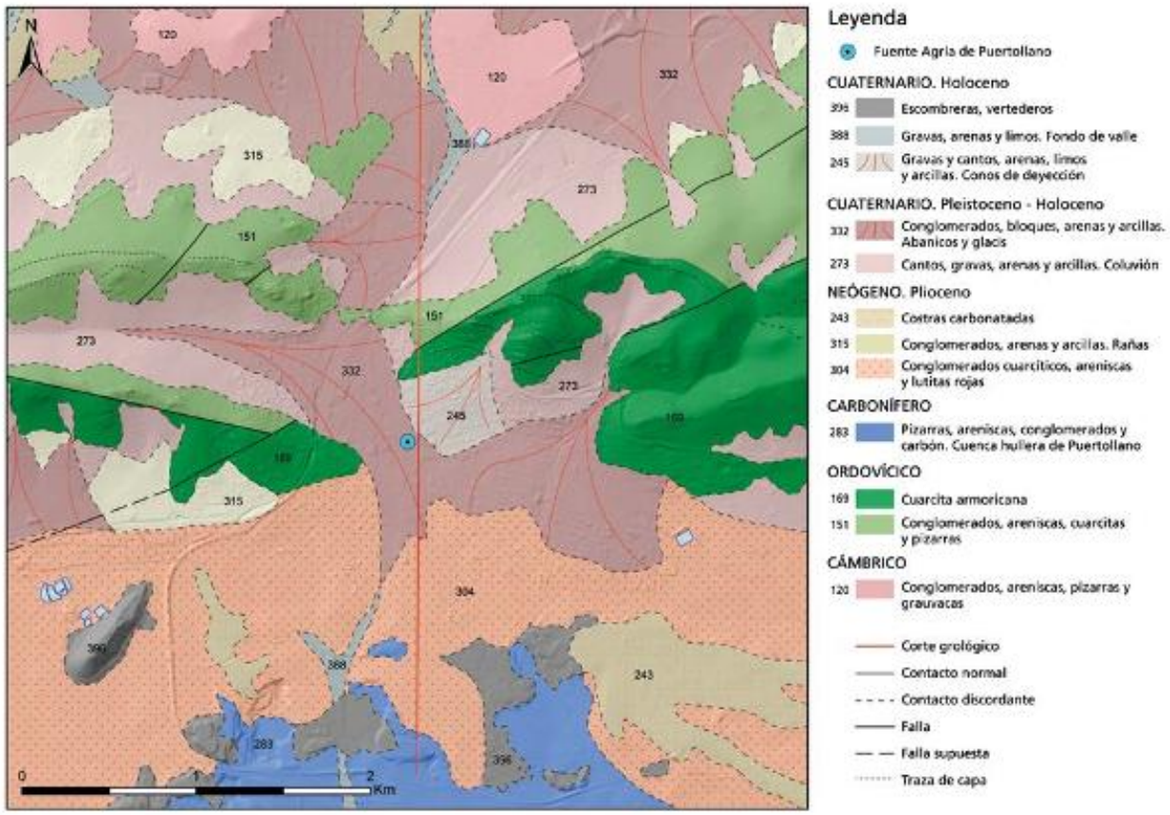


Figura 16.14. Entorno geológico de la ciudad de Puertollano y la Fuente Agria (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Baquedano y C. Camuñas)

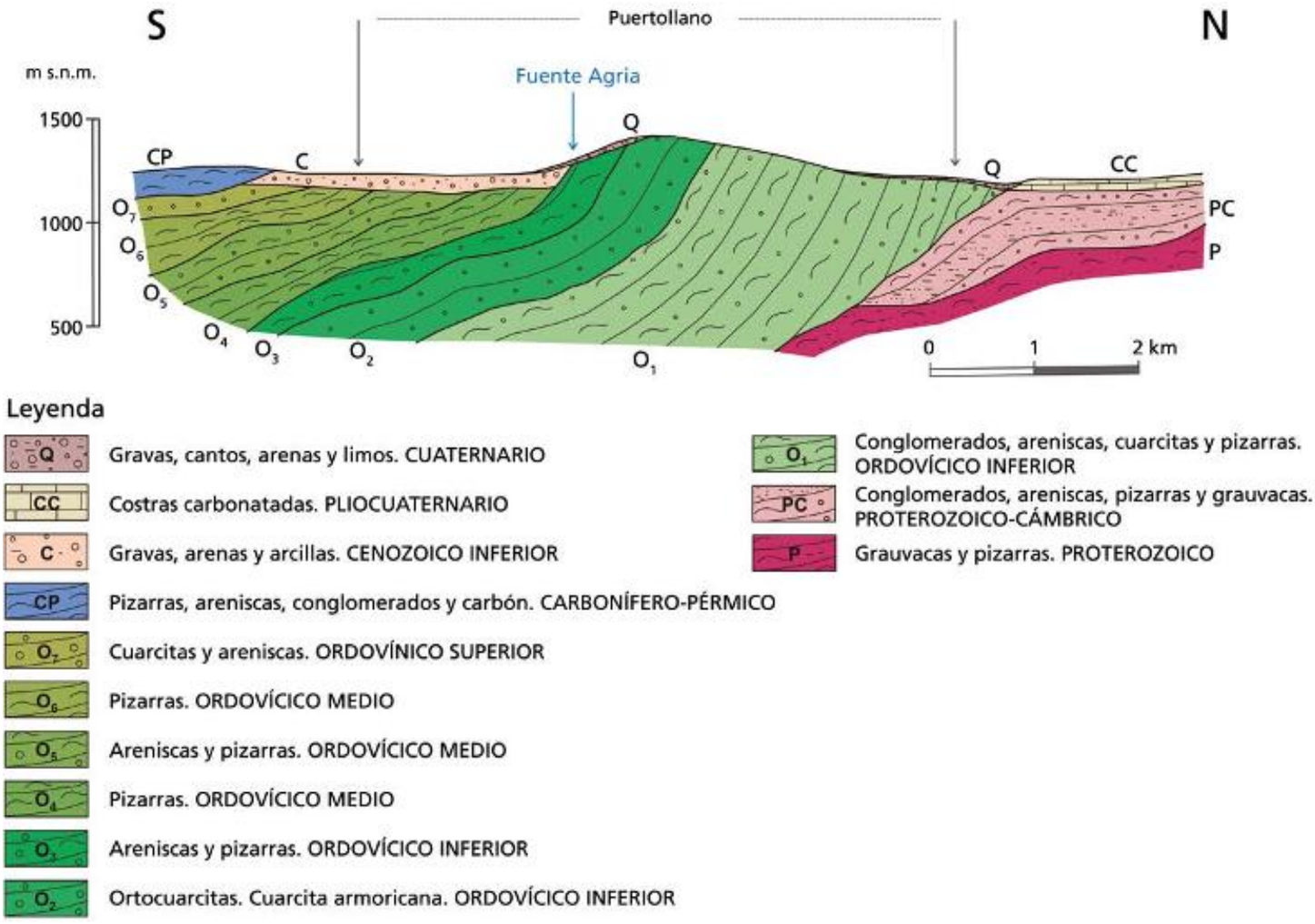


Figura 16.15. Corte geológico de la Fuente Agria

"Loring, Heredia y Larios". Las concesiones mineras empezaron a registrarse en 1874 y la primera explotación en entrar en producción fue la mina "Asdrúbal" en 1879, aunque es a partir de 1883 cuando comienza a regularizarse la producción. Desde el primer momento, la actividad minera atrajo capital nacional e internacional para la puesta en funcionamiento de diferentes explotaciones, gracias a una legislación minera favorable en 1868. En diciembre del año 2015, con la conclusión de los trabajos de extracción en la mina Emma de ENCASUR, se produjo la finalización de la actividad minera de carbón en la cuenca carbonífera de Puertollano (Jiménez-Hernando, 2016).

Discordante sobre Paleozoico aparecen sedimentos horizontales del Mioceno de entre 2 y 15 m de espesor, que están formados por gravas, arenas, arcillas y margas. Se puede considerar poco permeables. Inmediatamente después se apoyan los sedimentos del Pliocuaternario, que están constituidos por conglomerados sueltos de cantos rodados de cuarcitas y matriz margo-arcillosa. Aunque tienen una potencia media de 5 a 6 m, localmente pueden alcanzar más de 15 m de espesor. El Cuaternario está formado fundamentalmente por coluviones, depósitos de pie de monte y derrubios de ladera.

El Pliocuaternario es la formación más permeable y constituye un acuífero superficial y libre de interés local. En el sector de Puertollano se recarga por el agua de lluvia (aunque muy disminuido por la existencia del casco urbano) y por la entrada de agua de las cuarcitas paleozoicas del Cerro de Santa Ana que se encuentran confinadas. La raña ha sido el acuífero tradicionalmente explotado para regadío y otros usos en esta comarca.

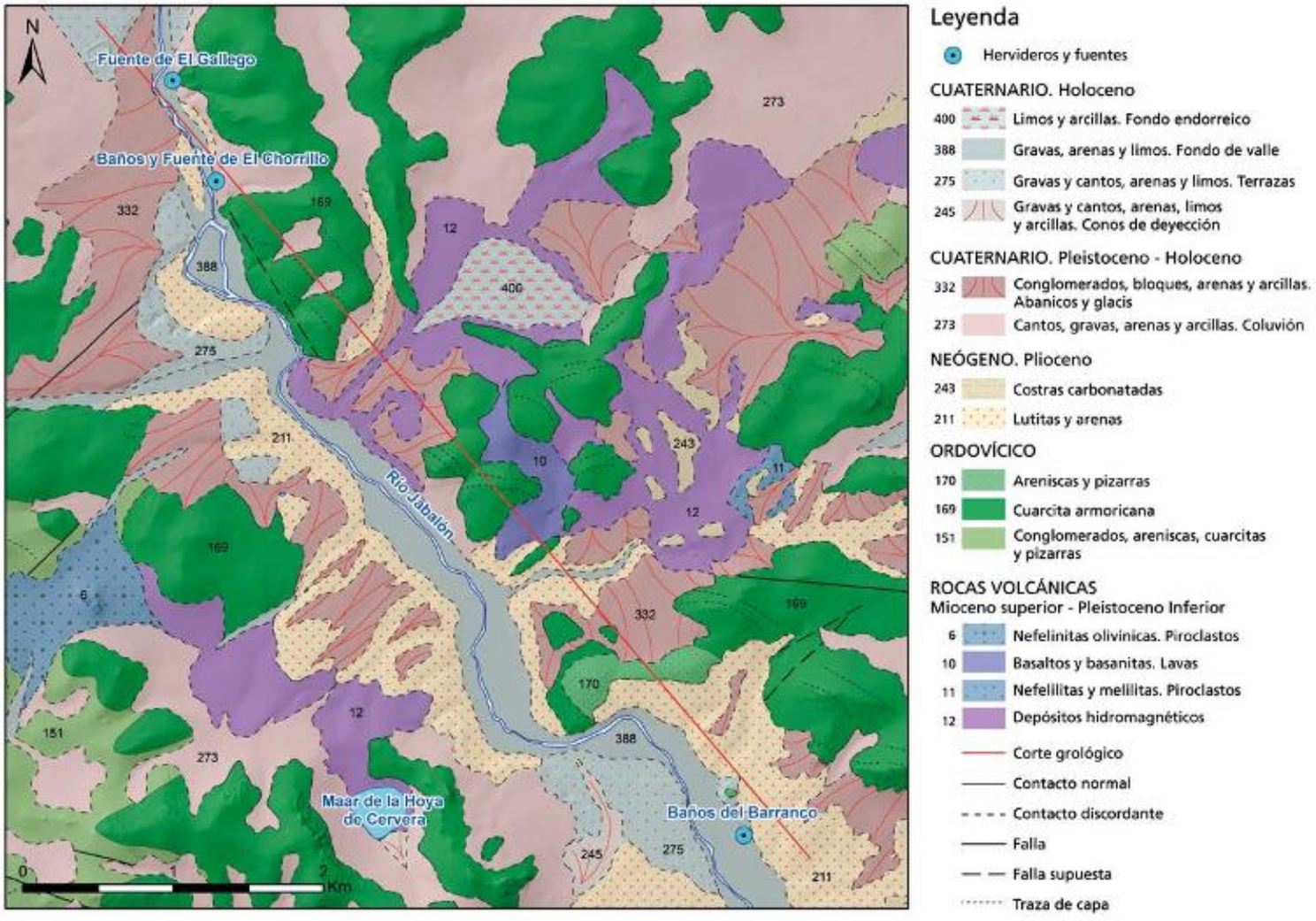


Figura 16.16. Entorno geológico de los hervideros Baños y Fuente de El Chorrillo y Baños del Barranco (Cartografía geológica digital GEODE del IGME, modificado y adaptado C. Baquedano y C. Camuñas)

El aprovechamiento se basaba en la captación del agua subterránea mediante pozos de menos de 10 m de profundidad y con caudales entre 0,2 y 5 l/s. En la vertiente septentrional de la Sierra de Santa Ana, el Pliocuaternario también es bastante permeable y, aunque apenas hay sondeos, se puede comprobar que el nivel freático se suele encontrar a pocos metros de la superficie (3-5 m) (Menéndez-Pidal *et al*., 2014).

Los **Baños y Fuente de El Chorrillo** surgen muy próximos al cauce del río Jabalón, entre materiales detríticos, lutitas y arenas, del Plioceno y retazos de los depósitos aluviales cuaternarios (Figura 16.16). Sus aguas contienen CO_2 disuelto, evidentemente relacionado con los materiales volcánicos infrayacentes, en este caso nefelinitas olivínicas datadas en el Mioceno superior-Pleistoceno inferior (Figura 16.17).

Los **Baños del Barranco** se sitúan también muy próximos al cauce del mismo curso fluvial y de la misma manera, la surgencia de agua también tiene lugar en los materiales detríticos, lutitas y arenas, pertenecientes al Plioceno (Figura 16.16) y los materiales volcánicos con los que están relacionados las aguas subterráneas son, en este caso, depósitos hidromagmáticos de edad Mioceno superior-Pleistoceno inferior (Figura 16.17).

Entre ambos puntos acuíferos afloran los conglomerados, areniscas, cuarcitas y pizarras del Ordovícico inferior y las ortocuarcitas y cuarcita armoricana del mismo periodo geológico. Con características muy similares a las ya descritas para estos materiales aflorantes en el entorno de la Fuente Agria.

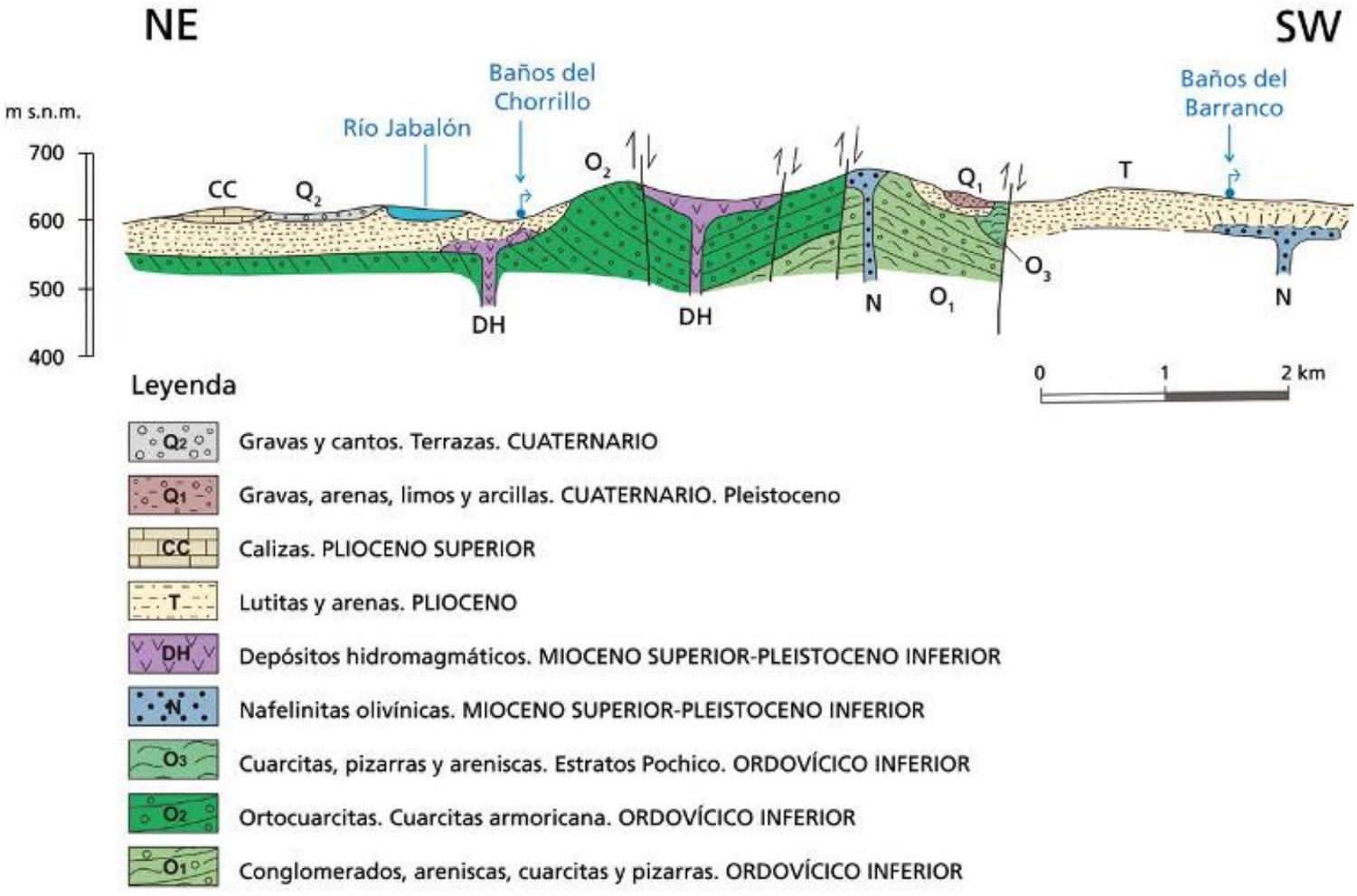


Figura 16.17. Corte geológico de los hervideros Baños y Fuente de El Chorrillo y Baños del Barranco

Hidroquímica

Durante los trabajos de campo llevados a cabo para la elaboración de esta publicación, se han tomado muestras de agua, para su posterior análisis en los laboratorios del CN IGME-CSIC. Han sido cinco los puntos de muestreo: Fuente Agria, hervidero Baños de El Barranco, hervidero Fuente de El Chorrillo (fuente y alberca) y fuente de El Gallego.

En la Tabla 16.5 se resumen los resultados de las analíticas citadas. La Fuente Agria presenta un alto contenido en manganeso, muy por encima de los valores fijados en el Real Decreto 3/2023 por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano; también tiene un pH ligeramente ácido, por debajo del valor mínimo recogido en el R.D.

El resto de parámetros se situaría dentro de los niveles guía del mencionado Real Decreto. Su facies sería bicarbonatada magnésica, como refleja el diagrama de Stiff (Figura 16.18).

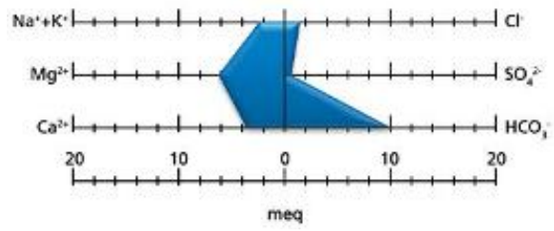


Figura 16.18. Diagrama de Stiff de la Fuente Agria (Puertollano)

La muestra tomada en los Baños del Barranco (Tabla 16.5) presenta un alto contenido en hierro y manganeso, por encima de los valores fijados en el R.D.

Tabla 16.5. Analíticas de la Fuente Agria (Puertollano), Baños de El Barranco (Aldea del Rey), Baños y Fuente de El Chorrillo y fuente de El Gallego (Pozuelo de Calatrava)

	FECHA DE TOMA			07/09/22	05/08/22	22/09/22	22/09/22	14/12/22	
	PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	FUENTE AGRIA	HERVIDERO BAÑOS DEL BARRANCO	HERVIDERO BAÑOS DE EL CHORRILLO (FUENTE)	HERVIDERO BAÑOS DE EL CHORRILLO (ALBERCA)	FUENTE DE EL GALLEGO	VALORES PARAMÉTRICOS FIJADOS EN EL R.D. 3/2023
Parámetros químicos	Antimonio	Sb	µg/L	1,29	< 0,05	< 0,1	< 0,05	< 0,05	5
	Arsénico	As	µg/L	0,22	0,33	< 0,1	0,1	0,12	1
	Cadmio	Cd	µg/L	< 0,2	< 0,2	< 0,4	0,21	< 0,2	5
	Cobre	Cu	mg/L	< 0,2	< 0,2	4,17	< 0,2	0,76	2
	Cromo	Cr	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,05	0,06	50
	Mercurio	Hg	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 1	< 0,5	< 0,5	1
	Níquel	Ni	µg/L	5,33	14,5	6,63	4,64	1,26	20
	Nitrato	NO_3	mg/L	0,0	1	9	10	20	50
	Nitrito	NO_2	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
	Plomo	Pb	µg/L	< 0,2	< 0,2	< 0,4	< 0,2	< 0,05	10
	Selenio	Se	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 1	< 0,5	< 0,5	10
Parámetros indicadores	Aluminio	Al	µg/L	< 1	3,16	31,9	30,6	2,67	200
	Amonio	NH_4	mg/L	0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
	Cloruro	Cl	mg/L	52	54	85	33	8	250
	Conductividad	CE	µS/cm	905	1.211	1.775	714	194	2.500
	Hierro	Fe	µg/L	< 15	348	< 30	< 15	< 15	200
	Manganeso	Mn	µg/L	612	248	113	60,3	1,96	50
	Oxidabilidad	-	mg O_2/L	0,6	0,5	0,6	0,8	0,5	5
	pH	-	Ud de pH	6,05	6,93	6,15	5,82	6,36	6,5 - 9,5
	Sodio	Na	mg/L	48	110	229	99	11	200
	Sulfato	SO_4	mg/L	31	62	110	50	29	250

3/2023; el resto de parámetros se situarían por debajo de los valores máximos referidos. Su facies sería bicarbonatada magnésica, como refleja el diagrama de Stiff (Figura 16.19).

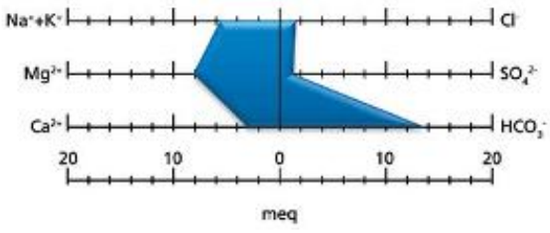


Figura 16.19. Diagrama de Stiff de Baños de El Barranco (Aldea del Rey)

En los Baños de El Chorrillo se han tomado muestras tanto de la fuente como de la alberca. La muestra de la fuente (Tabla 16.5) presenta un alto contenido en manganeso y cobre y registra un pH bajo; también está ligeramente por encima del nivel de referencia el contenido en sodio, y el resto de parámetros se situarían por debajo de los niveles guía del Real Decreto. Se caracteriza por tener una facies bicarbonatada sódica (Figura 16.20).

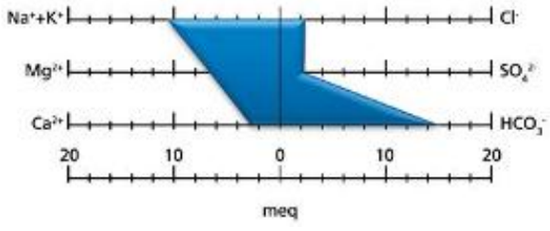


Figura 16.20. Diagrama de Stiff de la fuente de los Baños de El Chorrillo (Pozuelo de Calatrava)

El resultado de la analítica de la muestra de la alberca (Tabla 16.5) presenta también un contenido algo elevado en manganeso, aunque prácticamente la mitad que la muestra de la fuente. El pH también es ácido, algo más que el de la fuente, mientras que el resto de parámetros se situarían por debajo de los niveles guía del Real Decreto. Su facies también es bicarbonatada sódica (Figura 16.21).

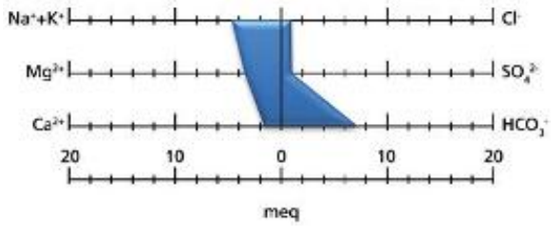


Figura 16.21. Diagrama de Stiff de la alberca de los Baños de El Chorrillo (Pozuelo de Calatrava)

Finalmente, dada su proximidad, se muestreó la Fuente de El Gallego (Tabla 16.5), ubicada a unos 860 m al norte de los Baños y Fuente de El Chorrillo. El punto de agua consiste en una fuente con un caño situada al lado del camino. La analítica corresponde a diciembre de 2022 y todos los parámetros se encuentran dentro de los niveles de referencia del R.D. 3/2023, a excepción del pH ligeramente por debajo del límite guía. Su facies sería bicarbonatada cálcico magnésica (Figura 16.22).

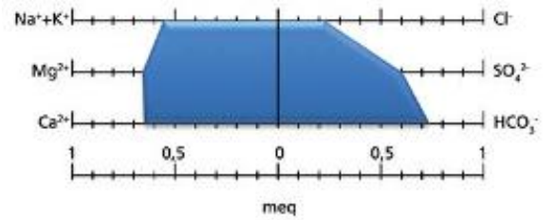


Figura 16.22. Diagrama de Stiff de la Fuente de El Gallego (Pozuelo de Calatrava)

Evolución visual del territorio

Se recoge a continuación una imagen comparativa de los cuatro puntos acuíferos recogidos en este capítulo (Figuras 16.23 a 16.26). Ninguno de ellos ha sufrido modificaciones relevantes en los últimos 60 años, como se puede apreciar en estas imágenes comparativas. En el caso de la Fuente Agria es destacable el crecimiento urbanístico de la ciudad, pero sin que el céntrico parque en el que se ubica la Fuente haya experimentado cambios sustanciales. Los otros tres puntos se sitúan en suelo rústico y, prácticamente, su fisonomía no se ha modificado en el lapso de tiempo referido.

Las imágenes de las Figuras 16.27 a 16.30 muestran el aspecto actual de los cuatro puntos acuíferos.



Figura 16.23. Fuente Agria, foto aérea comparativa del vuelo americano 1956-57 y la ortofoto PNOA 2018 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 16.24. Baños y Fuente de El Chorrillo, foto aérea comparativa del vuelo americano 1956-57 y la ortofoto PNOA 201 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 16.25. Baños de El Barranco, foto aérea comparativa del vuelo americano 1956-57 y la ortofoto PNOA 2018 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 16.26. Fuente de El Gallego, foto aérea comparativa del vuelo americano 1956-57 y la ortofoto PNOA 2018 (Centro Nacional de Información Geográfica. Fototeca Digital. IGN)



Figura 16.27. Detalle de los caños de la Fuente Agria en los que los vecinos, tradicionalmente, llenan sus recipientes de agua. Marzo de 2022 (C. Baquedano)



Figura 16.28. Alberca de los Baños de El Chorrillo. Diciembre de 2022 (C. Lorenzo, STA CN IGME-CSIC)



Figura 16.29. Alberca de los Baños de El Barranco habilitada para el baño. Septiembre de 2022 (L.A. Carreño)



Figura 16.30. Vista de la Fuente de El Gallego. Mayo de 2023 (C. Camuñas)



Capítulo 17

Otras lagunas

Carlos Baquedano Estévez
Olga García Menéndez





17. OTRAS LAGUNAS

Introducción

Este capítulo recoge otras lagunas volcánicas del Campo de Calatrava que no figuran de manera individual en esta publicación (Figura 17.1) debido a su restringida accesibilidad y/o a su elevada transformación antrópica, a pesar de presentar características hidrológicas de interés.

Se incluyen un total de 13 humedales, ubicados en la región natural de Campo de Calatrava, de manera que, junto con las 10 lagunas que cuentan con capítulo específico, constituyen una imprescindible recopilación de estos singulares ecosistemas de origen volcánico. La gran mayoría de estas lagunas se incluyen dentro de la Masa de Agua Subterránea (MASb) Campo de Calatrava.

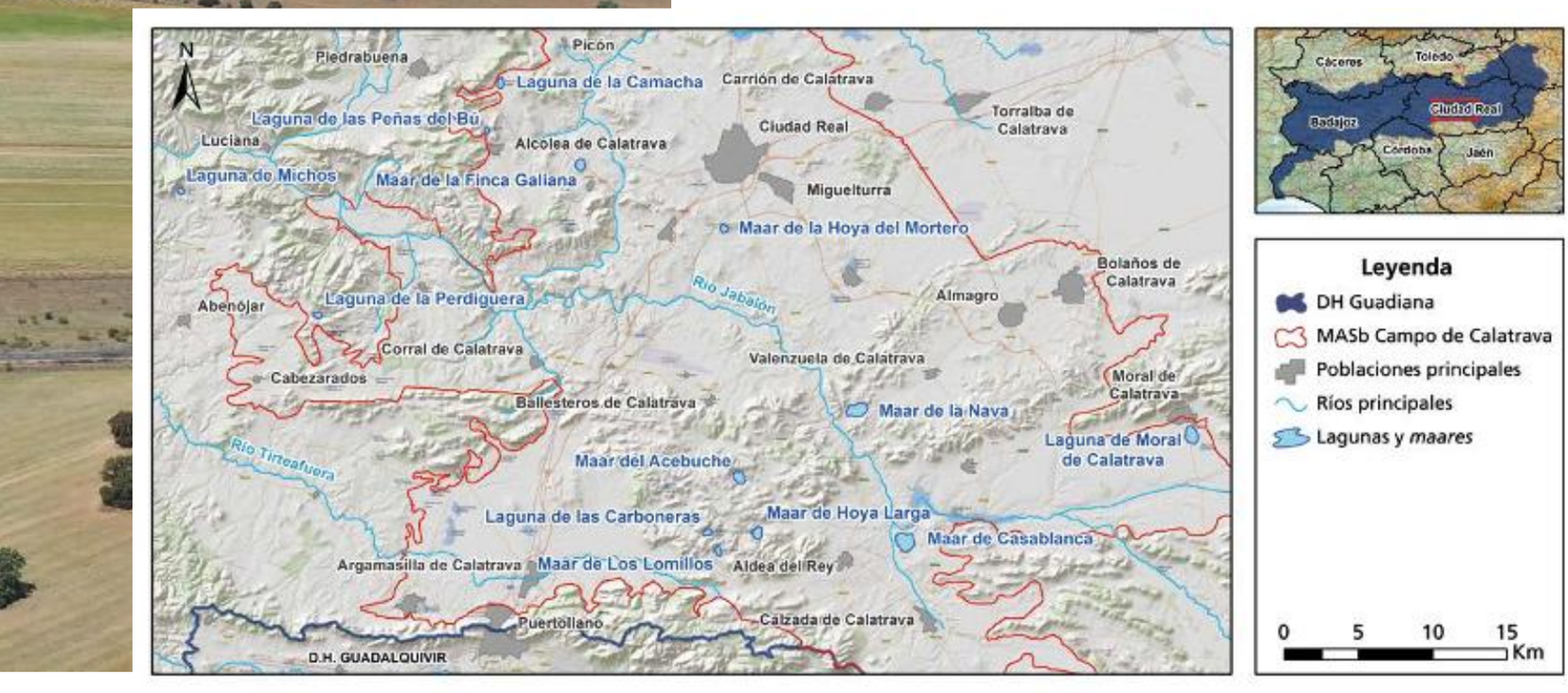


Figura 17.1. Mapa de las lagunas y maares recogidas en este capítulo

Laguna de Michos

La laguna de Michos se encuentra fuera de los límites de la MASb de Campo de Calatrava, a unos 6 km del extremo oeste de la misma y a 8 km al norte del núcleo urbano de Abenójar, término municipal al que pertenece. Tiene su punto central en las coordenadas X: 382.181, Y: 4.313.041 (UTM ETRS89 H30) y una altitud de 668 m s.n.m., según el Modelo Digital del Terreno MDT05-LIDAR del Instituto Geográfico Nacional.

Su acceso puede realizarse desde la población de Abenójar, tomando la carretera CR-403 en dirección a la localidad de Luciana y, a la altura del p.k. 7 donde también cruza el arroyo del Membrillar, nace una pista de tierra señalizada por un letrero que anuncia "Campillo-Michos". Desde este punto, el camino hacia la laguna atraviesa varias fincas privadas. El perímetro lagunar está rodeado por un vallado metálico y cuenta con un panel interpretativo (Figura 17.2). Para acceder a este enclave es necesario solicitar autorización, aunque puede observarse desde el exterior de la finca privada.

Es una laguna estacional de forma redondeada, con 16,14 ha de superficie y un perímetro de 1,49 km. Se trata de un cráter de explosión freatomagmática sobre un sustrato de rocas duras; paisajísticamente constituye un conjunto de gran belleza al situarse al pie de la sierra cuarcítica del Campillo y al borde de la llanura de Abenójar. La laguna está catalogada con el código IH422001 en el Inventario Español de Zonas Húmedas (BOE, 2019). Por otro lado, está incluido en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG, 2023), identificado con el código TM135 (*Maar* Plio-Pleistoceno de Los Michos) y, por último, está declarada como espacio natural protegido en la categoría de Monumento Natural (DOCM, 1999b).



Figura 17.2. Laguna de Michos al pie de la sierra cuarcítica del Campillo, en marzo de 2022 (C. Baquedano)

Laguna de la Perdiguera

Al igual que el humedal anterior, la laguna de la Perdiguera se encuentra fuera de la MASb de Campo de Calatrava, a escasos 350 m de distancia de su límite oeste, entre los municipios de Cabezarados y Corral de Calatrava. Su punto central lo marcan las coordenadas X: 391.439, Y: 4.304.655 (UTM ETRS89 H30), con una altitud de 714 m s.n.m.

La laguna, con un perímetro de 1,63 km y una superficie de 18,65 ha, puede observarse desde la carretera CR-4121, que la bordea por su flanco norte. Su visita resulta complicada al no existir zonas de aparcamiento para vehículos ni paneles interpretativos que llamen la atención al visitante, ya que el humedal se encuentra en el interior de una finca privada dedicada a la ganadería. La laguna está incluida en la Red Natura 2000, formando parte de la Zona de Especial Conservación (ZEC) "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava" (DOCM, 2015a).

Lagunas de la Camacha y de Peñas del Bú

Estos humedales, cercanos a la laguna de Luciánego desarrollada en el capítulo 7, se localizan en el borde oeste de la MASb de Campo de Calatrava. El humedal Peñas del Bú pertenece al municipio de Alcolea de Calatrava, ubicado a unos 600 m al norte de su núcleo urbano, mientras que la laguna de la Camacha se encuentra a caballo entre los términos municipales de Alcolea de Calatrava y Picón.

La laguna de Peñas del Bú (Figura 17.3) tiene una superficie aproximada de 10,74 ha, su punto central tiene las siguientes coordenadas: X: 402.867, Y: 4.317.139 (UTM ETRS89 H30) y se eleva a una altitud de 680 m s.n.m., mientras que la Camacha alcanza 25,26 ha de superficie, su punto central se sitúa en X: 403.786, Y: 4.320.315 (UTM ETRS89 H30) y se eleva a 665 m s.n.m. de altitud.



Figura 17.3. Laguna de Peñas del Bú en mayo de 2023 (C. Camuñas, STA CN IGME-CSIC)

La distancia que separa a estas lagunas son apenas 3 km y ambas son accesibles desde la carretera CM-4109. Los dos humedales han sufrido una intensa transformación, fueron drenadas para cultivos y utilizadas en el pasado como basurero, ya que permanecen secas durante largos periodos de tiempo.

Maar de la Hoya del Mortero

El *maar* de la Hoya del Mortero se encuentra en la zona central de la MASb de Campo de Calatrava, en el término municipal de Ciudad Real y a escasos 4 km al sur del centro de la capital provincial. La línea de ferrocarril del AVE de Madrid a Puertollano discurre cercana al flanco noroeste del *maar*, que tiene su punto central en las coordenadas X: 418.922, Y: 4.310.499 (UTM ETRS89 H30) y una altitud de 632 m s.n.m. El acceso para su visita es libre y puede realizarse desde el inicio de la carretera CM-4111, tomando el camino de El Pardillo.

El *maar* está formado por un cráter de explosión freatomagmática en rocas blandas, lo que le confiere una suave morfología, aún bien conservada, con un anillo de tobas a su alrededor y pendientes con desniveles de hasta 30 m. Tiene una superficie de 22,83 ha, un perímetro de 1,81 km y un diámetro medio de unos 700 m. El fondo del cráter da lugar a una zona endorreica, potencialmente encharcable, aunque en este caso se le da un uso agrícola (Figura 17.4).

Este *maar* se encuentra preservado por tres figuras de protección: Monumento Natural (DOCM, 2000b); Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Campo de Calatrava" (DOCM, 2005) y Zona de Especial Conservación (ZEC) "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava" (DOCM, 2015). Además, está incluido en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG, 2023), identificado con el código TM137 (*Maar* de la Hoya del Mortero).



Figura 17.4. Depresión formada por el maar *de la Hoya del Mortero en marzo de 2022 (C. Baquedano)*

Maares de la Finca Galiana, de la Nava y de Casablanca

El *maar* de la Finca Galiana constituye un ejemplo de erupción freatomagmática en rocas blandas. Se encuentra atravesado por la carretera N-430, entre los p.k. 294 y 295, en el término municipal de Ciudad Real. El *maar* tiene una superficie aproximada de 40 ha, su punto central queda situado en X: 409.184, Y: 4.314.812 (UTM ETRS89 H30) y alcanza una altitud de 606 m s.n.m.

El *maar* de la Nava se encuentra en la zona central de la MASb de Campo de Calatrava, entre el municipio de Valenzuela de Calatrava y el río Jabalón. Tiene una superficie de unas 100 ha, utilizadas para cultivo, y su punto central se localiza en X: 427.907, Y: 4.298.266 (UTM ETRS89 H30), a 650 m s.n.m.

Por último, el *maar* de Casablanca se extiende sobre una superficie de 122 ha y se sitúa al sur de la presa del embalse de la Vega del Jabalón, perteneciente al municipio de Calzada de Calatrava. Las coordenadas aproximadas que marcan su centroide son X: 431.147, Y: 4.289.376 (UTM ETRS89 H30) y su altitud es de 630 m s.n.m.

La característica común de estos tres *maares* reside en su elevado interés científico, debido a sus características estratigráficas y petrológicas, claves para el conocimiento del origen del vulcanismo del Campo de Calatrava. Además, el *maar* de la Nava destaca por su anillo piroclástico, uno de los mejor conservados y de mayores dimensiones de esta región volcánica.

El inconveniente principal para su visita es que estos *maares* se asientan en terrenos de propiedad privada de uso agrícola y ganadero, y no están acondicionados para su acceso. Tampoco presentan figuras de protección, aunque están recogidos en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG, 2023), identificados con los códigos TM134 (Relleno sedimentario Plioceno del *maar* de la Finca Galiana), TM144 (Oleadas piroclásticas del *maar* Plioceno de La Nava) y TM152 (Volcán de La Columba y *Maar* de Casablanca).

Laguna de Moral de Calatrava

La laguna de Moral de Calatrava se sitúa en el extremo oriental de la MASb, en el término municipal del mismo nombre y a una decena de metros al sur del casco urbano de esta localidad. Es la laguna principal de un complejo lagunar integrado por otras de menor entidad, que son la del Salobral y Calderón.

Tiene una forma ovalada de dirección aproximada norte-sur con ejes menor y mayor de 0,8 y 1,2 km respectivamente, una superficie considerable de 76,16 ha y un perímetro de 3,25 km. Su punto central se sitúa en las coordenadas X: 450.509, Y: 4.296.564 (UTM ETRS89 H30) y tiene una altitud de 664 m s.n.m. El acceso a la laguna es fácil y libre desde varios caminos que la rodean, partiendo desde las calles Pino y Jabalón, al sur del núcleo urbano de Moral de Calatrava, o desde la carretera CR-5222, que bordea el margen oeste de la laguna.

La morfología del vaso está muy modificada por las obras que desecaron la laguna y toda la zona está ocupada por cultivos de secano, viñas y olivares. Forma parte de la Zona de Especial Conservación (ZEC) "Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava" (DOCM, 2015).

Lagunas del Macizo Volcánico de Calatrava

En este punto se recogen algunos datos de las principales lagunas y *maares* localizados en el interior de la unidad volcánica y el Monumento Natural Macizo Volcánico de Calatrava (DOCM, 2008a). Este macizo está situado en la franja sur dentro de la MASb de Campo de Calatrava y ocupa una superficie de 3.970 ha, repartida entre los municipios de Almagro, Argamasilla de Calatrava, Pozuelo de Calatrava y Ballesteros de Calatrava.

La laguna más grande del Monumento Natural es la del Acebuche, localizada en el sector septentrional del macizo volcánico, con una superficie de 48,60 ha, X: 419.928, Y: 4.293.711 (UTM ETRS89 H30), 2,69 km de perímetro y 733 m s.n.m. de altitud. Otras lagunas

destacables del macizo, situadas al sur de la anterior, son la laguna de Carboneras (22,10 ha), Los Lomillos (20,65 ha) (Figura 17.5) y Hoya Larga (42,88 ha).

Estas lagunas se formaron por erupciones freatomagmáticas múltiples sobre un sustrato de rocas duras asociadas a un sistema de fallas. Este complejo presenta un gran interés geomorfológico y paisajístico, ya que se pueden observar los cráteres y sus lagunas asociadas alineadas por un sistema de fracturas. Cabe destacar que las lagunas del macizo están incluidas en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico desde el año 2020, identificados con los códigos TM150 (Volcán y *maar* Plio-Pleistoceno del Acebuche) y TM155 (Conjunto de *maares* de Carboneras, Los Lomillos, Las Pilas y Hoya Larga). El acceso a las lagunas está muy limitado, ya que se encuentran en diferentes fincas privadas.

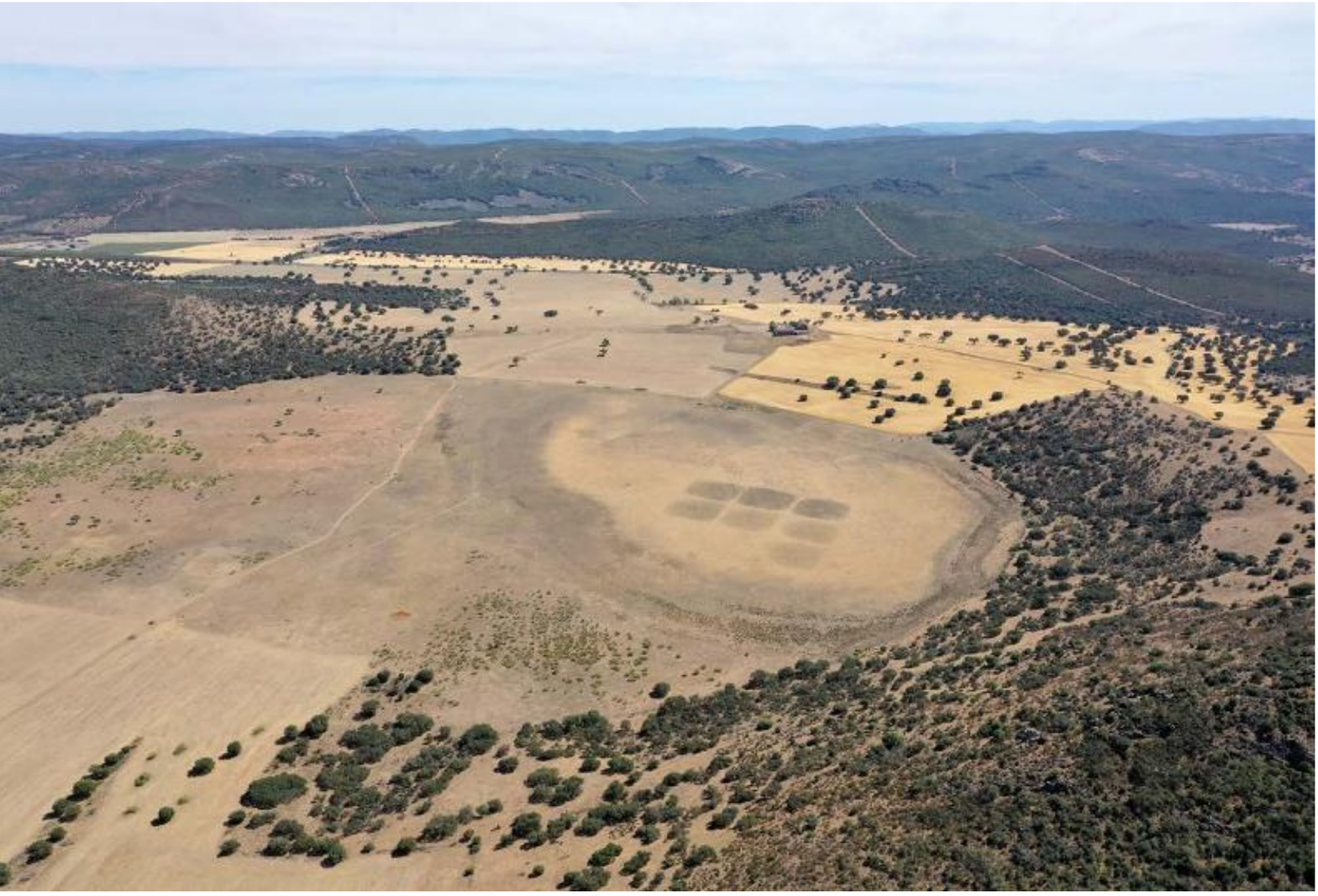


Figura 17.5. Maar *de Los Lomillos en mayo de 2023 (C. Lorenzo, STA CN IGME-CSIC)*

Referencias bibliográficas

Almagro Vidal, C. (2012). *Frontera, medioambiente y organización del espacio: de la cuenca del Guadiana a Sierra Morena (Edad Media)*. Tesis doctoral, Universidad de Granada, 902 pp. http://hdl.handle.net/10481/22228. ISBN: 978-84-9028-126-0.

Ancochea, E. (1983). *Evolución espacial y temporal del volcanismo reciente de España Central*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Colección de Tesis Doctorales UCM 203/83, 675 pp. M-29634-1983.

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, 418-428. https://doi.org/10.1071/MF07206

Ayuntamiento de Cabezarados (2023). Ayuntamiento de Cabezarados. Patrimonio cultural. https://www.cabezarados.es/patrimonio-cultural.php. Consultada 21-06-2023.

Ayuntamiento de Corral de Calatrava (2022). Ayuntamiento de Corral de Calatrava. Municipio, Historia. https://www.corraldecalatrava.es/municipio/historia. Consultada 27-03-2023.

Ayuntamiento de Piedrabuena (2023). Ayuntamiento de Piedrabuena. Tu municipio. Historia. https://piedrabuena.es/tu-municipio/historia. Consultada 29-03-2023.

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. ISSN: 0526-2623.

Becerra Ramírez, R. (2013). *Geomorfología y geopatrimonio de los volcanes magmáticos de la región volcánica del Campo de Calatrava*. Tesis doctoral, Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real, 822 pp. https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/3606/TESIS%20Becerra%20Ramirez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Benítez, A. y Pulido, A. (2010). Consideraciones hidrogeológicas sobre el Campo de Calatrava. En: González, E., Escobar, E., Becerra, R., Gosálvez, R. y Dóniz, J. (eds.). *Aportaciones recientes en Volcanología 2005-2008*. Centro de Estudios Calatravos, Almagro, 83-89.

Benítez de Lugo, L. and Mejías, M. (2017). The hydrogeological and paleoclimatic factors in Bronze Age Motillas Culture of La Mancha (Spain): the first hydraulic culture in Europe. *Hydrogeology Journal*, 25 (7), 1931-1950. https://doi.org/10.1007/s10040-017-1607-z. ISSN 1431-2174

Benítez de Lugo Enrich, L., Esteban Borrajo, G. y Hevia Gómez, P. (2004). *Protohistoria y Antigüedad en la provincia de Ciudad Real (800 a.c. - 500 d.c.)*. Ediciones C&G. Puertollano (Ciudad Real), 256 pp. ISBN: 84-609-2993-0.

Benítez de Lugo Enrich, L., Alañón Flox, L., Barrio Aldea, C., Donate Carretero, I., Francés Negro, M., Márquez Mora, B., Menchén Herreros, G., Moraleda Sierra, J., Rojas Rodríguez Malo, J.M. y Salazar-García, D.C. (2019). Cerro Ortega (Villanueva de la Fuente, Ciudad Real): un abrigo sepulcral con inhumación múltiple durante la transición Neolítico-Calcolítico al sur de la Meseta. *MARQ, Arqueología y museos,* 10, 11-24. ISSN: 1885-3145.

Benítez de Lugo Enrich, L., Gómez García de la Marina, M., Mejías Moreno, M. y Moraleda Sierra, J. (2022a). La motilla de Torralba (Torralba de Calatrava, Ciudad Real). Un asentamiento de la Edad del Bronce en La Mancha. En: Gómez García de

Marina, M., Hernández Fuentes, M. y Sanz Camañes, P. (coord..): *Historia de Torralba de Calatrava (VII): actas de las Jornadas Monográficas sobre Torralba de Calatrava y su entorno (2021 y 2022)*. Ayuntamiento de Torralba de Calatrava (Ciudad Real), Universidad de Castilla-La Mancha (ed.), 57-90. ISBN: 978-84-931051-3-6.

Benítez de Lugo Enrich, L., Mederos Martín, A., Esteban López, C., Fuentes Sánchez, J.L., Galindo-Pellicena, M.A., Menchén Herreros, G., Moraleda Sierra, J. y Peña Romo, M.V. (2022b). Bocapucheros (Almagro, Ciudad Real): nuevo tipo de enterramiento tumular en la Cultura de las Motillas. *Spal* 31 (2), 31-74. https://dx.doi.org/10.12795/spal.2022.i31.19

Bergamín, J.F. y Carbó, A. (1986). Discusión de modelos para la corteza y manto superior en la zona sur del área Centroibérica, basados en anomalías gravimétricas. *Estudios Geológicos*, 42, 143-146. https://doi.org/10.3989/egeol.86422-3744

BOE (1982). Instrumento de 18 de marzo de 1982 de adhesión de España al Convenio relativo a Humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas, hecho en Ramsar el 2 de febrero de 1971 (BOE nº 199, de 20 de agosto de 1982).

BOE (2007). Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (BOE nº 299, de 14 de diciembre de 2007).

BOE (2011). Ley 6/2011, de 10 de marzo, de Declaración del parque natural del Valle de Alcudia y Sierra Madrona (BOE nº 104, de 2 de mayo de 2011).

BOE (2017). Anuncio de la Confederación Hidrográfica del Guadiana sobre Declaración de la masa de agua subterránea Campo de Calatrava en riesgo de no alcanzar el buen estado cuantitativo (BOE nº 73, de 27 de marzo de 2017).

BOE (2019). Resolución de 9 de octubre de 2018, de la Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental, por la que se incluyen en el Inventario español de zonas húmedas 86 nuevos humedales de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha (adscritos a la provincia de Ciudad Real, códigos IH422) (BOE nº 50, de 27 de febrero de 2019).

Bowles, G. (1775). *Introducción a la historia natural y a la geografía física de España.* Madrid, Imprenta Real, 529 pp.

Campos y Fernández de Sevilla, F.J. (2003). Las Relaciones Topográficas de Felipe II: Índices, Fuentes y Bibliografía. *Anuario jurídico y económico escurialense*, 36, 439-574. ISSN 1133-3677.

Camuñas, C. (2022). *Estudio hidrogeológico para la mejora del abastecimiento de agua al Campo de Calatrava (Ciudad Real)*. Informe inédito. Centro de Documentación del IGME, Madrid, 40 pp.

Camuñas, C.; Ballesteros, B. y Mejías, M. (eds.) (2018). *Lagunas mesetarias de La Mancha: funcionamiento hidrológico, cultura y medio ambiente*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 432 pp. ISBN: 978-84-9138-070-2.

Castillo, A.M. (2014). *Vida y Cultura en el Campo de Calatrava I*. Biblioteca de Autores Manchegos-Colección General, Diputación de Ciudad Real, 176 pp. ISBN: 978-84-7789-313-4.

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. https://doi.org/10.1007/s00027-015-0462-z

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. https://doi.org/10.1016/j.limno.2016.11.005

Cebriá, J.M. (1992). *Geoquímica de las rocas basálticas y leucititas de la región volcánica de Campo de Calatrava, España*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 314 pp.

CHG (1999). Evaluación de recursos en las Unidades Hidrogeológicas 04.03 Consuegra-Villacañas, 04.05 Ciudad Real y 04.07 Bullaque. U.H. 04.05 Ciudad Real.

CHG (2023a). Confederación Hidrográfica del Guadiana. https://www.chguadiana.es/sites/default/files/2021-06/Normativa.pdf. Consultada 16-02-2023.

CHG (2023b). Confederación Hidrográfica del Guadiana. https://www.chguadiana.es/cuenca-hidrografica/infraestructuras/infraestructuras-de-regulacion. Consultada 16-06-2023.

Ciudad-Real.es (2003a). Turismo y Cultura en Ciudad Real. Tierra del Quijote. Provincia. Poblaciones. Piedrabuena. https://www.ciudad-real.es/provincia/piedrabuena.php. Consultada 14-04-2023.

Ciudad-Real.es (2003b). Turismo y Cultura en Ciudad Real. Tierra del Quijote. Provincia. Poblaciones. Argamasilla de Calatrava. https://www.ciudad-real.es/provincia/piedrabuena.php. Consultada 17-04-2023.

Ciudad-Real.es (2003c). Turismo y Cultura en Ciudad Real. Tierra del Quijote. Provincia. Poblaciones. Granátula de Calatrava. https://www.ciudad-real.es/provincia/granatula.php. Consultada 06-05-2023.

Cubero, R. (2015). *Restauración ambiental del Monumento Natural del volcán y laguna de Peñarroya en Alcolea de Calatrava y Corral de Calatrava (Ciudad Real)*. Trabajo Fin de Grado de Ingeniería Forestal, Universidad de Valladolid, 297 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 (1999a). Decreto 207/1999, de 5 de octubre, por el que se aprueba el plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Laguna de Fuentillejo de La Posadilla, en Valverde, y se declara el Monumento Natural de la Laguna y Volcán de La Posadilla (DOCM nº 64, de 8 de octubre de 1999).

DOCM (1999b). Decreto 209/1999, de 5 de octubre, por el que se declara el Monumento Natural de la Laguna Volcánica de Michos, en el término municipal de Abenójar (Ciudad Real) (DOCM nº 64, de 8 de octubre de 1999).

DOCM (1999c). Decreto 210/1999, de 5 de octubre, por el que se declara el Monumento Natural de los Volcanes del Campo de Calatrava: "*Maar* de Hoya de Cervera", en el término municipal de Almagro (Ciudad Real) (DOCM nº 64, de 8 de octubre de 1999).

DOCM (2000a). Decreto 176/2000, de 5 de diciembre, por el que se declara el Monumento Natural del Volcán y Laguna de Peñarroya, en los términos municipales de Corral de Calatrava y Alcolea de Calatrava (Ciudad Real) (DOCM nº 130, de 28 de diciembre de 2000).

DOCM (2000b). Decreto 177/2000, de 5 de diciembre, por el que se declara el Monumento Natural de los volcanes del Campo de Calatrava: *maar* de la Hoya del Mortero, en el término municipal de Ciudad Real (DOCM nº 130, de 28 de diciembre de 2000).

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 82/2005, de 12 de julio, por el que se designan 36 zonas de especial protección para las aves, y se declaran zonas sensibles (DOCM nº 141, de 15 de julio de 2005).

DOCM (2008a). Decreto 91/2008, de 24 de junio, por el que se declara el monumento Natural del Macizo Volcánico de Calatrava, en los términos municipales de Almagro, Argamasilla de Calatrava, Pozuelo de Calatrava, Ballesteros de Calatrava y Aldea del Rey, provincia de Ciudad Real (DOCM nº 139, de 4 de julio de 2008).

DOCM (2008b). Decreto 319/2008, de 30 de septiembre, por el que se amplía la zona de especial protección para las aves ES0000157 campo de Calatrava (DOCM nº 204, de 3 de octubre de 2008).

DOCM (2015a). Decreto 26/2015, de 7 de mayo, 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) (DOCM nº 91, de 12 de mayo de 2015).

DOCM (2015b). 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 (DOCM nº 91, de 12 de mayo de 2015).

DOCM (2019). Orden 111/2019, de 24 de junio, de la Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural, por la que se procede a la publicación íntegra en el Diario Oficial de Castilla-La Mancha del Plan de Gestión de la Zona de Especial Conservación (ZEC) Lagunas Volcánicas del Campo de Calatrava ES4220005, en Ciudad Real. [2019/6619] (DOCM nº 143, de 20 de julio de 2019).

DOCM (2023). Diario Oficial de Castilla-La Mancha. https://docm.jccm.es/docm. Consultada 21-06-2023.

Edén de La Mancha (2023). El Edén de La Mancha, Cabezarados. https://eledendelamancha.com/cabezarados. Consultada 22-06-2023.

ELIG (2023). Inventario Español de Lugares de Interés Geológico. Instituto Geológico y Minero de España. https://info.igme.es/ielig. Consultada 15-09-2023.

Enciclopedia contributors (2018). Enciclopedia Libre Universal en español. http://enciclopedia.us.es/index.php/Argamasilla_de_Calatrava. Consultada 13-03-2023.

EUR-LEX (2023). El acceso al Derecho de la Unión Europea. https://eur-lex.europa.eu/oj/direct-access.html?locale=es. Consultada 29-03-2023.

Galán, L., Vegas, J. y García-Cortés, A. (2009). Reconstrucción paleoclimática del centro de la Península Ibérica durante los últimos 50 ka cal. BP, a partir de los datos físicos y geoquímicos del registro lacustre del *maar* de Fuentillejo (Campo de Calatrava, Ciudad Real). *Geogaceta*, 46, 119-122. http://hdl.handle.net/10272/8113

Galán, L., Vegas, J., Gallardo-Millán, J.L., Ruiz-Zapata, M.B., Gil-García, M.J., Ortiz, J.E., Moreno, L., García-Cortés, A. y Torres, T. (2012). Identificación de episodios climáticos fríos mediante el registro de susceptibilidad magnética en la secuencia lacustre del *maar* del Fuentillejo (Ciudad Real). *Geotemas*, 13, 699-702. https://oa.upm.es/15862/1/INVE_MEM_2012_131272.pdf

Gallardo, J.L. (2011). Recorrido geológico por los hirvientes volcanes del Campo de Calatrava (Ciudad Real). Geolodía 2011. Sociedad Geológica de España.

Gallardo, J.L. y Lorenzo, S. (2019). Los volcanes de Calatrava. Geolodía 2019. Sociedad Geológica de España.

González-Cárdenas, E. (2009). GEOVOL. https://volcanescalatrava.web.uclm.es/menu.htm

González-Cárdenas, E. (2023). Campo de Calatrava. Los volcanes. https://volcanescalatrava.web.uclm.es. Consultada 17-06-2023.

González-Cárdenas, E. (2003). Geomorfología de los edificios volcánicos del borde occidental del Campo

de Calatrava: la cubeta de Piedrabuena. Archivado el 25 de marzo de 2010 en Wayback Machine. En: *Piedrabuena, espacio histórico y natural*. UCLM, Diputación Provincial, Ayuntamiento de Piedrabuena, Ciudad Real, 402-420.

González-Cárdenas, E., García, J.L., Gosálvez, R.U., Morales, M. y Peinado, M. (2002). Los geosistemas lagunares de origen volcánico del Campo de Calatrava: Funcionamiento y dinámica reciente. En: A. Pérez-González, J. Vegas y M.J. Machado (eds.). *Aportaciones a la Geomorfología de España en el inicio del Tercer Milenio*. Instituto Geológico y Minero de España - Sociedad Española de Geomorfología, Madrid, 395-403.

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, Ciudad Real, 1037 pp.

Gosálvez Rey, R.U., Escobar Lahoz, E., Becerra Ramírez R. y González Cárdenas, E. (2022a). Hidrogeolodía de Ciudad Real. Cuando el magma y agua se encuentran en el Campo de Calatrava. 26 marzo 2022.

Gosálvez Rey, R U., Becerra Ramírez, R., Escobar La Hoz, E. y González Cárdenas, E. (2022b). Guía de Campo. Curso de geología y de minería: El Campo de Calatrava. GEOVOL. Universidad de Castilla-La Mancha.

Hernández Pacheco, F. (1932a). *Estudio de la región volcánica central de España*. Memoria de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, 235 pp.

Hernández Pacheco, F. (1932b). La región volcánica de Ciudad Real. *Boletín de la Sociedad Geográfica Nacional*, 72, 131-148 y 195-213.

Hosta, J. (1867). *Crónica de la provincia de Ciudad Real*. Publicado por la Diputación Provincial de Ciudad Real en 2008. 110 pp.

IGME (2018). Mapa geológico de España. Escala 1:50.000. Hoja 811 - Moral de Calatrava. Memoria y Mapa.

IGME-DGA (2010). Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 4. Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Demarcación Hidrográfica 040 Guadiana. MASb 040.009 Campo de Calatrava.

Jiménez Hernando, J.M. (2016). Historia de las concesiones del grupo María Isabel (Puertollano, Ciudad Real): 1874-2010. *De Re Metallica Boletín de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero*, 26, 61-68. ISSN: 1888-8615.

Limón Montero, A. (1697). *Espejo cristalino de las aguas de España*. Edición facsímil del IGME, 1979. 432 pp.

López-Ruiz, J., Cebriá, J.M., Doblas, M., Oyarzun, R., Hoyos, M. y Martín, C. (1993). Cenozoic intra-plate volcanism related to extensional tectonics at Calatrava, central Iberia. *Journal of the Geological Society*, 150, 915-922. https://doi.org/10.1144/gsjgs.150.5.0915

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.

Martín-Serrano A., Vegas J., García-Cortés A., Galán L., Gallardo-Millán J.L., Martín-Alfajeme S., Rubio F.M., Ibarra P.I., Granda A., Pérez-González A. and García-Lobón J.L. (2009). Morphotectonic setting of *maar* lakes in Central Spain (Campo de Calatrava Volcanic Field). *Sedimentary Geology*, 222, 52-63. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2009.07.005

Melero, D. (2003). *Ciudad Real: Tierra de Castillos*. Ciudad Real, 186 pp.

Menéndez-Pidal, I., Sanz-Pérez, E., Lomoschitz, A. y Sanz de Ojeda, A. (2014). *La Fuente Agria de Puertollano y su entorno hidrogeológic*o. En: II Congreso Ibérico de las Aguas Subterráneas, CIAS2014, Valencia, España, 533-554. ISBN: 978-84-9048-239-1.

MITERD (2023). Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/espacios-naturales-protegidos.html. Consultada 23-02-2023.

Moreno, L. (2012). *Empleo de biomarcadores para la reconstrucción paleoclimática. El registro Pleistoceno del* maar *de Fuentillejo (Ciudad Real, España)*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 565 pp. https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.14144

Ortega Rubio, J. (1918). *Relaciones topográficas de los pueblos de España. Lo más interesante de ellos*. Sociedad Española de Artes Gráficas, Madrid, 733 pp.

Ortiz, J.E., Moreno, L., Torres, T., Vegas, J., Ruiz-Zapata, B., García-Cortés, A., Galán, L. and Pérez-González, A. (2013). A 220 ka palaeoenvironmental reconstruction of the Fuentillejo *maar* lake record (Central Spain) using biomarker analysis. *Organic Geochemistry*, 55, 85-97. https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2012.11.012

Quiroga, F. (1880). Estudio micrográfico de algunos basaltos de Ciudad Real. *Actas de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 9. 161-179.

RAP (2023). Red de Áreas Protegidas de Castilla-La Mancha. https://accesible-areasprotegidas.castilla-lamancha.es/legislacion. Consultada 14-07-2023.

Ramsar (1971). *Convención Ramsar Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas*.

Ramsar (2023). Ramsar. La convención sobre los humedales. http://www.ramsar.org/es. Consultada 11-01-2023.

RERB (2023). Red Española de Reservas de la Biosfera. http://www.rerb.oapn.es/red-espanola-de-reservas-de-la-biosfera/que-es-la-rerb. Consultada 06-06-2023.

Ruiz-Zapata, M.B., Vegas, J., García-Cortes, A., Gil-García, M.J., Torres, T., Ortiz, J.E., Galán, L. y Pérez-González, A. (2008). Comportamiento de la vegetación durante el último máximo glaciar, en la secuencia FU-1 (Laguna del *maar* de Fuentillejo, Campo de Calatrava, Ciudad Real). *Polen*, 18, 37-49. https://doi.org/10.14201/pol.v18i0.7399

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.

Turismo Almagro (2020). Almagro, historia, teatro. http://www.turismoalmagro.com/historia_almagro_86.html. Consultada 21-03-2023.

UNESCO (2023). Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. https://www.unesco.org/es/articles. Consultada 17-01-2023.

Vegas, J., Galán, L., Pérez-González, A. y García-Cortés, A. (2004). El archivo lacustre del *maar* de Fuentillejo (Campo de Calatrava). Primeros protocolos científicos y estrategia de trabajo para el estudio paleoclimático del Cuaternario en el centro de España. *Boletín Geológico y Minero*, 115 (4), 661-650. ISSN: 0366-0176.

Vegas, J., García-Cortés, A., Galán de Frutos, L., Pérez-González, A. y Martín-Serrano, A. (2006). El registro sedimentario lacustre del *maar* de Fuentillejo (Ciudad Real). *Boletín Geológico y Minero*, 117 (3), 339-349. ISSN: 0366-0176.

Vegas, J., Ruiz-Zapata, B., Ortiz, J.E., Galán, L., Torres, T., García-Cortés, A., Gil-García, M.J., Pérez-González, A. and Gallardo-Millán, J.L. (2010). Identification of arid phases during the last 50 ka cal BP from the Fuentillejo *maar* lacustrine record (Campo de Calatrava Volcanic Field, Spain). *Journal of*

Quaternary Science, 25, 1051-1062. https://doi.org/10.1002/jqs.1262

Vegas, J., Pardo-Igúzquiza, E., Galán, L. y García-Cortés, A. (2013). Ciclicidad en el registro sedimentario de la laguna del *maar* de Fuentillejo: historia climática de los últimos 47000 años cal BP. *Boletín Geológico y Minero*, 124 (2), 221-238. ISSN: 0366-0176.

Velayos, M., Carrasco, M.A. y Cirujano, S. (1989). Las lagunas del Campo de Calatrava (Ciudad Real). *Botanica Complutensis*, 14, 9-50. ISSN: 0214-4565.

Viñas, C. y Paz, R. (1951). *Relaciones histórico-geográfico-estadísticas de los pueblos de España hechas por iniciativa de Felipe II. Provincia de Madrid*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 784 pp.

Yélamos, J.G., Redondo, R., De Castro, F., Galván, A., Martínez-Rubio, J., Rebollo, L., Ruano, P., Senderos, A. y Villarroya, F.I. (1999). Hidrogeoquímica y microbiología en Los Hervideros del Campo de Calatrava (Ciudad Real). *Geogaceta*, 26, 115-118. http://hdl.handle.net/10272/10089

Zarzalejos Prieto, M., García Valero, M.A. y Benítez De Lugo, L. (coord.) (2007). Actas del I Congreso de Patrimonio Histórico de Castilla-La Mancha: La gestión del Patrimonio Histórico Regional. Homenaje a Victoria Cabrera Valdés. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Valdepeñas, Ciudad Real. ISBN: CR-530-2007.



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADIANA, O.A.

MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES

CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

IGME 175 AÑOS
INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA 1849-2024



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA, O.A.

MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES

CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas

IGME 175 AÑOS Instituto Geológico y Minero de España 1849-2024