

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Características y conservación de las lagunas peridunares del NE de Mazagón

(Characteristics and conservation of the peridunar lagoons of NE Mazagón)

Claudia Conejo García

Tutores: **Manuel Olías Álvarez / María Dolores Basallote Sánchez**

Resumen

Las lagunas de Doñana están sometidas a una disminución de los aportes por la fuerte explotación de sus aguas subterráneas desde los años 70 del siglo pasado, que cada año reduce el agua disponible para los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, actualmente numerosos humedales se encuentran en peligro de desaparición, en un marco de Cambio Global. Doñana es un ecosistema frágil, por lo que debemos destinar nuestras acciones hacia su conservación. Este estudio se centra en 12 lagunas de la zona más occidental del Abalario, que forma parte del Espacio Natural de Doñana, al noreste de Mazagón. El propósito del trabajo ha sido estudiar los niveles de inundación e hidroquímica, la morfología de las lagunas y su vegetación para así determinar su estado de conservación. Para ello, se han realizado muestreos de campo, análisis de aguas y suelos en laboratorio, vuelos de dron y cartografía de mapas con ArcGIS. A partir de los resultados obtenidos se ha determinado que, en general son lagunas someras de pequeña superficie. La laguna de mayor extensión es la laguna Grande de las Turmas con 8 ha de superficie y la más somera es la laguna de Moguer 1 con menos de 30 cm, la más profunda Pozo Candiles con 3,4 m. Las precipitaciones durante el año 2022/23 han sido escasas, con 379,2 mm. La laguna con una mayor hidroperiodo ha sido la de Moguer 1, que se inundó tras las precipitaciones de diciembre de 2022 y mantuvo una pequeña lámina de agua (< 0,4 m) hasta abril o mayo de 2023. En los zacallones de la laguna del Martillo también se ha mantenido agua durante ese periodo, pero el resto de su vaso lagunar permaneció totalmente seco. La baja permeabilidad de los materiales, observados a través del perfil de suelo de la laguna del Martillo, contribuyen a retener temporalmente el agua de las precipitaciones en estas lagunas. Las lagunas serían de alimentación principalmente epigénica, como también pone de manifiesto la baja salinidad de sus aguas. Por otro lado, se han observado concentraciones de Pb y Cd por encima de los límites legalmente establecidos. Teniendo en cuenta los cambios en la vegetación, la laguna Grande de las Turmas sería la peor conservada ya que su cubeta ha sido colonizada por un pinar. Considerando la elevada biodiversidad y la clasificación de Hábitats de Interés Comunitario, a pesar de que en la zona de estudio se evidencian esfuerzos por su conservación, aún es necesario realizar más investigaciones, optimizar los planes de gestión y realizar acciones para preservarlas en un futuro como fuentes de biodiversidad, naturaleza y bienestar humano.

Palabras Clave:

Abstract

The Doñana lagoons are under a decrease in contributions due to the heavy exploitation of their groundwater since the 70s of the last century, reducing the water available for aquatic ecosystems each year. On the other hand, currently numerous wetlands are in danger of disappearance, in a context of Global Change. Doñana is a fragile ecosystem, so we must direct our actions towards its conservation. This study focuses on 12 lagoons in the westernmost area of Abalarío, which is part of the Doñana Natural Space, northeast of Mazagón. The purpose of the work has been to study the levels of flooding and hydrochemistry, the morphology of the lagoons and their vegetation in order to determine their state of conservation. To achieve this, it has been needed field sampling, water and soil analysis in the laboratory, drone flights and map mapping with ArcGIS have been carried out. From the results obtained, it has been determined that, in general, they are shallow lagoons with a small surface area. The largest lagoon is the Grande de las Turmas lagoon with 8 hectares of surface and the shallowest is the Moguer 1 lagoon with less than 30 cm, the deepest Pozo Candiles with 3.4 m. Precipitation during the year 2022/23 has been low, with 379.2 mm. The lagoon with the longest hydroperiod has been Moguer 1, which was flooded after the December 2022 rainfall and maintained a small sheet of water (< 0.4 m) until April or May 2023. The zacallones of El Martillo lagoon has also maintained water during that period, but the rest of its lagoon basin remained completely dry. The low permeability of the materials, observed through the soil profile of El Martillo lagoon, contributes to temporarily retaining water from precipitation in these lagoons. The lagoons would be mainly epigenic feeding, as also evidenced by the low salinity of its waters. On the other hand, concentrations of Pb and Cd have been observed above the legally established limits. In regard to the changes in the vegetation, the Grande de las Turmas lagoon is the worst preserved since its basin has been colonized by a pine forest. Considering the high biodiversity and the classification of Habitats of Community Interest, although efforts for their conservation are evident in the study area, it is still necessary to carry out more research, optimize management plans and do actions to preserve them in the future as sources of biodiversity, nature and human well-being.

Keywords

lagunas, conservación, El Abalarío, water extractions, Doñana, biodiversity.

ÍNDICE

1. Introducción.....	4
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Zona de estudio.....	6
Historia.....	7
Climatología.....	9
Hidrogeología.....	10
Fauna y Flora.....	11
1.3 Objetivos.....	14
2. Metodología.....	15
2.1. Toma de datos de campo (niveles de inundación e hidroquímica).....	15
2.2. Perfil de suelo Laguna del Martillo.....	16
2.4. Cartografía de la vegetación.....	17
3. Resultados y discusión.....	17
3.1. Niveles de inundación e hidroquímica.....	17
3.2. Perfil de suelo Laguna del Martillo.....	26
3.3. Estudio morfológico de las lagunas.....	27
3.4. Cartografía de Hábitats de Interés Comunitario.....	42
4. Conclusiones.....	55
Agradecimientos.....	58
Comentario de la autora.....	58
Referencias bibliográficas y páginas web.....	59

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Los humedales son ecosistemas que albergan gran biodiversidad y ofrecen servicios y funciones ecosistémicas, como proteger y mejorar la calidad del agua, conservar los recursos naturales, proporcionar hábitats para la vida silvestre, recargar aguas subterráneas, mantener el flujo de agua superficial durante los períodos secos y/o mitigar el cambio climático. Sin embargo, los humedales son los ecosistemas más impactados. El 75% de los humedales europeos en 1992 ya habían sido destruidos (González Bernaldez, 1992). La pérdida/degradación de humedales puede estar causada por procesos directa o indirectamente inducidos por el hombre, expresados como reducción o pérdida a largo plazo de la productividad biológica, del papel ecológico o del valor para los humanos (Olsson et al., 2019). O lo que es lo mismo, esta degradación reduce su capacidad de generar servicios ecosistémicos (Montes et al., 2012), que condicionan nuestro desarrollo no solo económico sino también social, cultural y político, comprometiendo asimismo el bienestar de las generaciones futuras (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Las actividades humanas que causan su degradación son la agricultura intensiva, la contaminación causada por la industria, las urbanizaciones masivas, etc. En la era actual (Antropoceno), el humano es el principal agente de cambio global, causando la sexta extinción masiva de especies y el cambio climático. La conservación de la biodiversidad se hace uno de los Objetivos del Milenio (ODM), dentro del objetivo 7 para garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. Recientemente, en diciembre de 2022, se celebró la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica (COP15) que convocó a gobiernos de todo el mundo para establecer el marco de un ambicioso plan para transformar la relación de la sociedad con la biodiversidad a nivel mundial. En este sentido, la alarma social ha aumentado en relación a la necesidad de conservación de los humedales, ya que albergan el 40% de la biodiversidad. Por tanto, se hace evidente que tomando acciones hacia la conservación de los humedales estamos protegiendo una gran cantidad de aves, peces, reptiles, plantas, hongos e igualmente garantizando la supervivencia de nuestra especie, ya que proporcionan servicios que benefician al ser humano directamente. Sin embargo, siendo la perturbación humana el mayor agente de cambio global de esta era y los humedales, ecosistemas muy sensibles a los cambios a gran escala (Sousa y García, 1999), estos necesitan intensos esfuerzos de la sociedad para cambiar el rumbo hacia su protección y conservación.

Doñana es el humedal más grande de Europa. En el verano de 2022, se hacía noticia global que la laguna de Santa Olalla, laguna permanente en el Parque Nacional, se secaba totalmente. La mayoría de las lagunas de Doñana dependen de las aguas subterráneas (alimentación hipogea) de forma que la altura del nivel freático del acuífero influye en el mayor o menor volumen de agua que estas contienen. Sin embargo, las lagunas no sólo son afectadas por el nivel del acuífero sino que también les influye directamente la precipitación. Algunas lagunas, en vez de formarse gracias a las aguas subterráneas, deben su origen a la escorrentía superficial. De manera que los flujos superficiales de agua de lluvia junto con el relieve del terreno y la impermeabilidad del suelo son las condiciones ideales para la formación de estos cuerpos de agua (Custodio et al., 2009).

La permanencia de estas lagunas en el tiempo está amenazada. Actualmente la laguna de Santa Olalla está mostrando valores mínimos de superficie inundada desde 2012 (CSIC, 2023). Las causas son diversas. En primer lugar, el acuífero de Doñana sufre elevadas extracciones desde 1974. Estas se realizan para utilizar el agua para riego o abastecer a núcleos turísticos como Matalascañas y Mazagón. La superficie de cultivos de regadío no hace más que aumentar gracias a los beneficios económicos que producen los frutos rojos en el mercado, por lo cual España está

condenada por el Tribunal de Justicia de la Unión Europea por incumplir sus obligaciones derivadas de la Directiva Marco del Agua y de la Directiva Hábitat debido a extracciones de agua ilegales y no previstas. Este agua no queda disponible para los hábitats prioritarios (Directiva 92/43/CEE, Anexo I) y/o ecosistemas acuáticos, perjudicando la fauna y flora del lugar y provocando su alteración, ya que las lluvias no compensan la cantidad de agua extraída para el riego de estos cultivos altamente demandantes de agua. A esta situación actual, se suma el cambio climático, el cual provoca una reducción en la precipitación. Esta relación se produce debido a que el aumento de gases de efecto invernadero, produce un aumento de la temperatura, lo que repercute a su vez en el régimen de precipitaciones. Esto provoca la disminución del agua disponible, resultando en un problema para la conservación de la biodiversidad de Doñana y la motivación para la realización de este trabajo.

El Abalarío se localiza al noroeste del corazón de Doñana, es parte del Parque Natural y está delimitado por los terrenos de la margen izquierda del arroyo de la Rocina hacia el norte, los Montes de Propios de Moguer al oeste, al sur la playa de Castilla que se extiende de Mazagón a Matalascañas, y al este el trazado de la carretera entre el núcleo de Matalascañas y el poblado de El Rocío (Sancho et al., 2018). En esta zona se han realizado algunos estudios del estado de las lagunas, observándose que la dirección de su desaparición es de SW a NE, como resultado de la topografía que obliga a la escorrentía a que se organice hacia el Arroyo de la Rocina (Sousa y García-Murillo, 1999). Sousa et al. (2006) también afirman que las lagunas estacionales del Abalarío, debido a su alimentación epigea (procedente de lluvias), se han visto menos afectadas por la reducción del nivel freático debido a la implantación de grandes masas de eucaliptos. Otra información que proporciona este estudio de 2006 es que en la zona de El Abalarío han aparecido nuevas lagunas temporales como resultado de la degradación de las turberas. Y también que, al tratarse de lagunas que dependen únicamente de las precipitaciones y de la escorrentía superficial, reflejan muy rápidamente cualquier cambio en el clima (Sousa et al., 2006). Estudios más recientes se han basado en la caracterización hidrológica de una laguna en particular, la laguna del Acebuche, situada en la zona E de El Abalarío (Rodríguez-Rodríguez et al., 2022).

En la parte este de El Abalarío se encuentra Matalascañas, este núcleo urbano padece un incremento de la población exponencial en verano, lo que provoca una mayor necesidad de abastecimiento de agua en la estación que más necesidad tienen los ecosistemas acuáticos circundantes. Estos se encuentran a menos de 1 kilómetro de las estaciones de bombeo de agua subterránea de Matalascañas (Díaz-Paniagua et al., 2015). Serrano y Toja (1995) comentan que en el pozo de la FAO, situado a igual distancia, se monitoreó una recuperación de más de 1 m en un período de dos semanas después de terminar las vacaciones de verano y antes de que comenzaran las lluvias en septiembre de 1992. Serrano y Serrano (1996), afirman que el flujo regional de agua subterránea sigue una dirección de oeste a este a lo largo de esta secuencia de estanques. Por lo tanto, cuanto más cerca estén los estanques de la zona de bombeo, más altos y naturalmente más temporales serán. Además de que la cantidad de lluvia recogida durante los últimos cinco años (1991-1996) ha disminuido gradualmente, mientras que el ritmo de desarrollo urbano en el centro turístico de Matalascañas ha aumentado cada año (Serrano y Serrano, 1996). En 2008, un estudio sobre la dinámica hidrogeomorfológica de uno de estos ecosistemas, la laguna del Charco del Toro, en el Parque Nacional de Doñana, estableció que la alimentación del humedal es esencialmente hipogénica (Barrera et al., 2008). De manera que el origen esencial del agua que embalsa el humedal es de carácter subterráneo. Díaz-Paniagua et al. (2015) afirman en su estudio que pocos años después del inicio de la urbanización en 1976 ya se observó la desecación de la primera de las lagunas: la laguna del Brezo, la más próxima y situada al oeste de Charco del Toro, con una cubeta (zona topográficamente deprimida) de 1,2 hectáreas y 1,3 metros de profundidad. Asimismo, años después de la desecación de la laguna del Brezo, Coletto (2003) también detectó la desecación progresiva de la laguna del Charco del Toro, la siguiente

más próxima a la urbanización de Matalascañas, que atribuyó a las extracciones realizadas para el abastecimiento de dicha urbanización. Con respecto a la laguna del Zahillo, la siguiente laguna en dirección este, se detecta un acortamiento de su hidropериodo con respecto a otras lagunas temporales del área. Además, se observó que la laguna del Taraje, al este de la laguna del Zahillo, desde 2003 está sufriendo la colonización de su cubeta por tarajes (Díaz-Paniagua et al., 2015). Más recientemente, en 2020, se ha podido observar, que un año excepcionalmente seco como fue el año 2019, la laguna del Zahillo estuvo seca todo el tiempo, mientras que la laguna de Santa Olalla se mantuvo inundada y la laguna del Taraje mantuvo agua de enero a junio. La laguna del Zahillo presenta una alta dependencia de las precipitaciones. No obstante, se corrobora la alteración antrópica que sufren las lagunas de Zahillo y Taraje (Montes-Vega y Rodríguez-Rodríguez, 2021).

En el presente trabajo, se ha querido profundizar sobre el estado de conservación de las lagunas y cómo le están afectando las extracciones de aguas subterráneas. Para ello se ha desarrollado una metodología basada en estudios previos, cómo por ejemplo el de la evolución histórica del complejo lagunar de El Abalarío de Arturo Sousa y Pablo García Murillo (1999), añadiendo la técnica de la toma de imágenes mediante vehículos aéreos no tripulados, una tecnología de alta resolución que proporciona resultados muy precisos sin la necesidad del gasto económico, físico y temporal que supone la caracterización en campo. Además, se ha hecho uso de datos del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica como de la Red Andaluza de Información Ambiental, que mediante bibliografía complementaria y el uso del programa ArcGIS de Esri han permitido ejecutar un análisis comparativo de las lagunas con mayor resiliencia a la explotación humana y su temporalidad como servicio ecosistémico.

1.2 Zona de estudio

El presente estudio se ha centrado en las lagunas peridunares del noreste de Mazagón, las más occidentales de la zona de El Abalarío (**Fig. 1**). Estas lagunas han sido poco estudiadas a pesar de que en la zona existen cientos de lagunas temporales, especialmente en el Manto Eólico Húmedo del sistema dunar (Sancho et al., 2018). Se ha realizado en continuación de un Trabajo Fin de Máster del año anterior (Navarro, 2022). Para este estudio, se han escogido 12 lagunas de la zona (**Fig. 2**): la laguna Grande de las Turmas, la laguna de Pozo Candiles, la laguna Sin Nombre 2 (SN2), la laguna de los Cinco Pinos, la laguna del Conejo, la laguna Valluncosa, la laguna Sin Nombre 1 (SN1), la laguna del Caballo, la laguna del Martillo, la laguna Redonda, la laguna de Moguer 1 y la laguna de Moguer 2. Estas lagunas tienen diferente morfología y extensión, la mayoría de ellas tienen un vaso con una superficie de 1 a 2 hectáreas (Navarro, 2022) y se sitúan en el límite oeste del Parque Natural. La mayoría de las lagunas del presente estudio se encuentran dentro del Parque Natural: laguna Redonda, de Moguer 1, de Moguer 2, del Caballo, de los Cinco Pinos, SN2, de Pozo Candiles y Grande de las Turmas. Las lagunas del Conejo, SN1 y Valluncosa, se ubican fuera de los límites del Espacio Natural de Doñana (**Fig. 2**). En el área de estudio se aprecian cultivos de regadío, una zona de cítricos (Frutiberia) y otra de fresas (Posadillas), muy próximos a la laguna de Cinco Pinos, la laguna de Pozo Candiles, la laguna SN1 y la laguna Grande de las Turmas. En la Sede Electrónica del Catastro del Ministerio de Hacienda y Función Pública, se observa que estos cultivos de regadío se crearon entre los años 1995 y el 2000. Cabe mencionar que sólo existe un camino entre el Parque Natural y la explotación agrícola. También, se encuentra en la zona un antiguo gasoducto de la empresa petrolera Repsol. El núcleo urbano de Mazagón se sitúa a 4 kilómetros al suroeste (**Fig. 1**).

Historia

A finales del siglo XIX las lagunas más grandes y poco profundas de esta zona ya habían desaparecido suponiendo una merma de varios centenares de hectáreas de superficie de esta clase de formaciones (Sancho et al., 2018). Esto se explica por un proceso de aridización o cambio climático que comienza a finales de la Pequeña Edad de Hielo, y que incidía lentamente sobre este complejo palustre. De tal manera, que prácticamente sin presencia humana, fueron desapareciendo numerosos cuerpos de agua y perdió vigor la red de escorrentía superficial (Sancho et al., 2018). Sin embargo, en su mayoría fueron eliminadas tras el desarrollo de los trabajos forestales del siglo XX para la incorporación de este terreno al sistema económico productivo. Se planta de manera intensiva *Pinus Pinea* y *Eucalyptus globulus* para en sucesión plantar *Eucalyptus rostrata*, una vez disminuido el encharcamiento para la producción maderera (Sancho et al., 2018). En la figura 3 se puede observar como la repoblación forestal afecta directamente a la disminución de la cantidad de cuerpos lagunares de la zona (Sousa y García-Murillo, 1999) (**Fig. 3**).

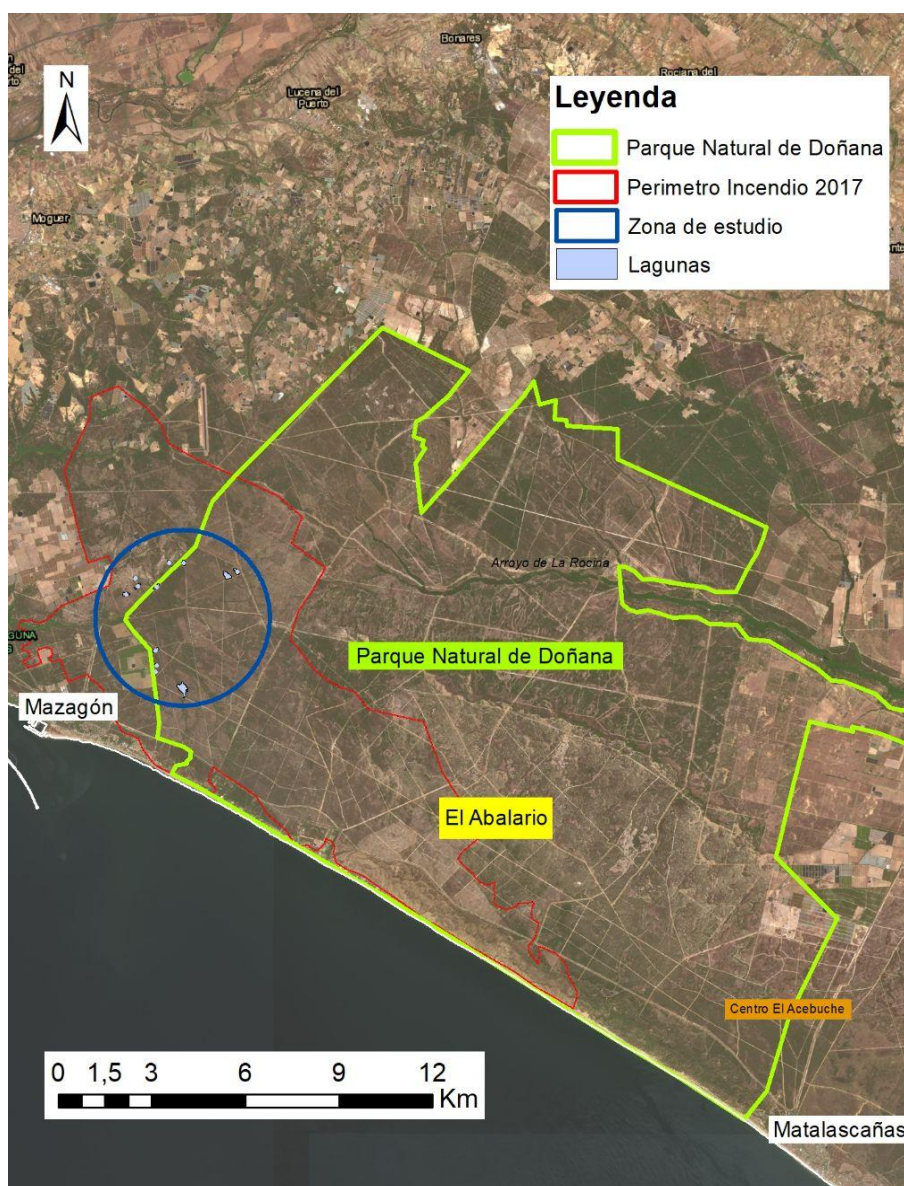


Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio, con respecto al Parque Natural de Doñana y el perímetro del incendio de Peñuelas de 2017, situada en El Abalarío.

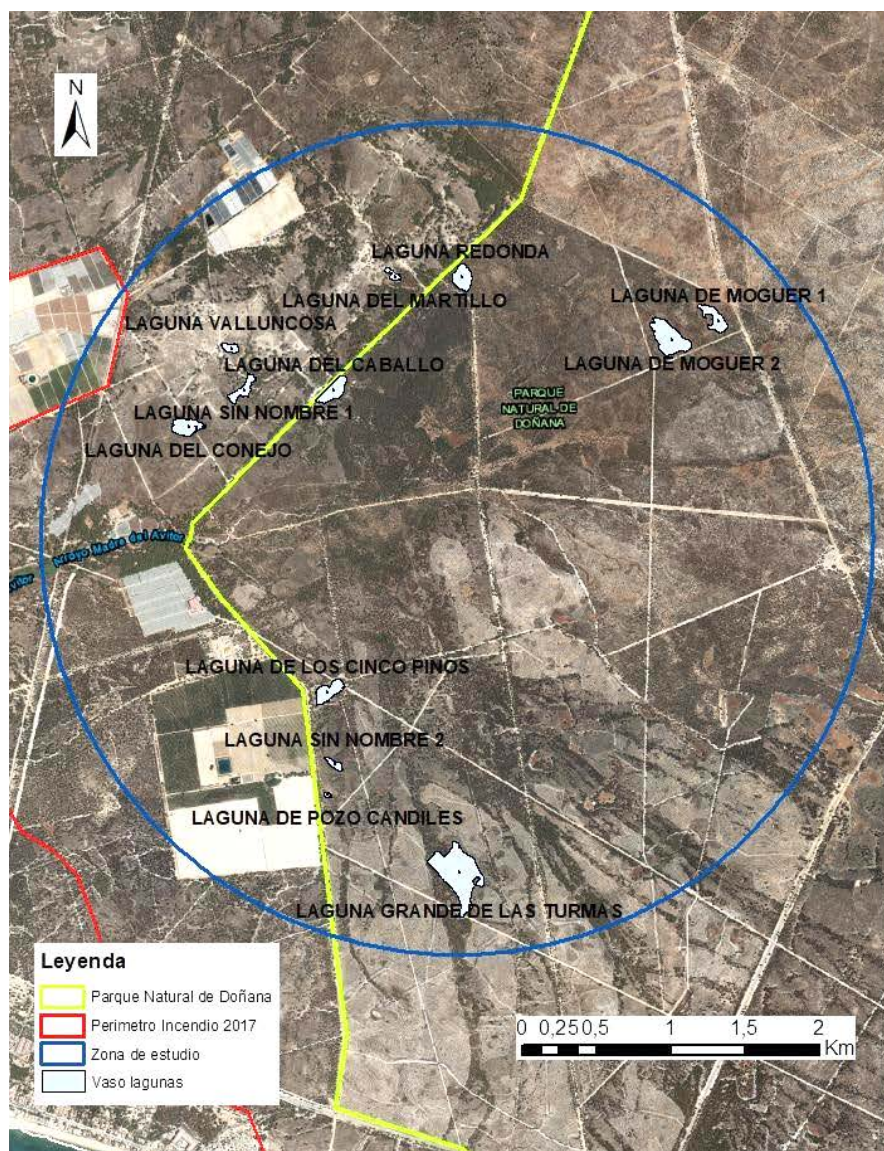


Figura 2. Mapa de localización de la zona de estudio ampliado, con los vasos de las 12 lagunas y sus nombres.

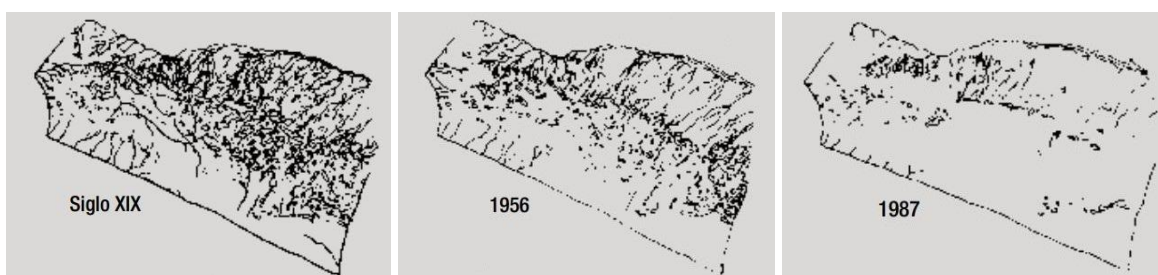


Figura 3. Mapas históricos de las formaciones palustres en El Abalarío en el siglo XIX, 1956 y 1987. Fuente: A. Sousa Martín y P. García Murillo (1999).

Pero desde 1970 el monocultivo forestal empieza a ser cuestionado por una nueva inquietud de la sociedad que es la conservación de la naturaleza. Se promueven proyectos de restauración y naturalización, intentando revertir la situación de vegetación y paisaje hacia estados más acordes con las condiciones ambientales del lugar. Con el tiempo, se aclaran las masas de pinos, se eliminan eucaliptos, estas tierras se incorporan al Parque Natural de Doñana (en 1989), y además, se abandonan los poblados forestales (Sancho et al., 2018).

Entre el siglo XX y siglo XXI surge un nuevo uso, el turismo, en 1968 y 1969 Mazagón y Matalascañas se declaran Centros de Interés Turístico Nacional. También se incrementa de manera considerable el avance de la agricultura, de cultivos forzados de invernadero. En 1972 se impulsó el plan de zonas regables Almonte-Marismas (Sancho et al., 2018). El abastecimiento de agua a los núcleos de población y el riego de los cultivos provocan una disminución de las descargas que se producían naturalmente a la Rocina, la marisma y las lagunas del manto eólico (Sancho et al., 2018).

Por tanto, la zona acaba en una situación en la que están obligados a entenderse la agricultura, el turismo y la conservación de la naturaleza. En junio de 2017 ocurre en la zona un terrible suceso para la conservación, este es un incendio que comienza en el término municipal de Moguer y gracias a unas condiciones meteorológicas favorables para los incendios forestales acaba arrasando 10.339 hectáreas. Dentro de este área, 7.000 pertenecían al Parque Natural, por lo que se hace necesaria una planificación de las actuaciones posteriores de restauración (Sancho et al., 2018).

Actualmente las formaciones palustres objeto de estudio están consideradas lagunas temporales sobre arenas, recogidas dentro de la Directiva Hábitat de la Unión Europea (1992) como el hábitat 3170: lagunas y charcas temporales mediterráneas. Este hábitat por tanto se incluye dentro de los Hábitats de Interés Comunitario prioritarios o amenazados de desaparición, de especial protección y cuya conservación supone una responsabilidad especial para la Unión Europea (Directiva 92/43/CEE, Artículo 1). Las lagunas turbosas sobre humus semiturboso (hydromoor o anmoor ácido) , sin embargo, están más restringidas al límite norte de El Abalarío, Ribetehilos y la Rocina (Sancho et al., 2018).

Climatología

El Espacio Protegido de Doñana se caracteriza por un clima mediterráneo tipo subhúmedo, con temperaturas de gran regularidad, un invierno corto en el que rara vez se alcanzan temperaturas por debajo de 0° C, y un verano con temperaturas más extremas, superándose los 45° C en algunos días de los meses de julio y agosto (Díaz-Paniagua et al., 2015). Por otro lado, las brisas marinas contribuyen de forma importante a suavizar el clima, de manera que los veranos son menos calurosos que en el interior terrestre y los inviernos menos fríos. Dichos vientos predominan a lo largo del año, especialmente en la estación de verano.

Las precipitaciones presentan la variabilidad propia del clima mediterráneo. La precipitación media registrada en Doñana se encuentra en 549 mm (CSIC, s.f.). En el periodo entre 1978 y 2014 se produjeron 11 años secos, es decir con precipitación anual menor o igual a 400 mm (Díaz-Paniagua et al., 2015). Los periodos más secos fueron entre 1980 y 1983 y, especialmente, el periodo desde 1991 a 1995 que incluye tres años muy secos seguidos (**Fig. 4**), que llegó a ocasionar la desecación de todas las lagunas de Doñana, incluida la laguna de Santa Olalla. Estas situaciones de sequía han continuado ocurriendo en años hidrológicos concretos como han sido de 1998 a 1999 (252,7 mm anuales), también de 2004 a 2005 (169,8 mm anuales), de 2011 a 2012 (330,4 mm anuales) y aunque no tan notablemente pero se incluye de 2013 a 2014 (359,0 mm anuales) (**Fig. 4**).

Por otro lado, si observamos la precipitación total por año hidrológico desde el año 1978 y hasta agosto de 2023, inclusive (**Fig. 4**) se puede observar que existe una tendencia decreciente, esto quiere decir que desde 2011/12 estamos en un nuevo periodo seco y existen menos precipitaciones en Doñana.

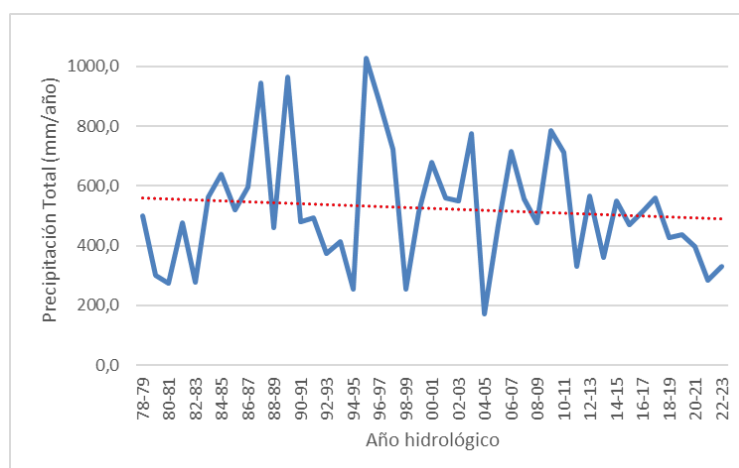


Figura 4. Precipitación total anual desde 1978 a 2023 de la Estación Meteorológica del Palacio de Doñana.

Igualmente, hay que señalar la existencia de años extremadamente lluviosos, con grandes inundaciones, en las que muchas lagunas llegan a conectarse y se producen flujos superficiales desde las lagunas del interior hasta la marisma. La precipitación máxima se registró en el ciclo hidrológico 1995-96, con 1032 mm, al que siguieron otros dos años muy lluviosos, que compensaron los tremendos descensos que el acuífero había sufrido con la prolongada sequía que había ocurrido en los años anteriores. Otros periodos continuados de años muy lluviosos se han producido entre 1976-78 y entre 2009 y 2011 (**Fig. 4**), aunque en el último de ellos no han llegado a observarse mayores inundaciones que las que se observan en años aislados de similares precipitaciones (Díaz-Paniagua et al., 2015).

La mayor cantidad de lluvias se producen en otoño, que acumula aproximadamente un 50% de las lluvias anuales, pudiendo ser también abundantes en invierno (32% de la precipitación anual), mientras que son habitualmente más escasas las lluvias de primavera (15%) y prácticamente nulas las de verano (5%). Sin embargo, el patrón anual tiene una gran variabilidad, pudiéndose retrasar las mayores precipitaciones hasta el invierno. Esto tiene una gran importancia sobre la hidrología de las lagunas, pues define el momento de inundación de cada ciclo, que no se produce mientras no se alcance, al menos, una precipitación acumulada superior a unos 200 mm (Díaz-Paniagua et al., 2015).

Hidrogeología

El sistema acuífero Almonte-Marismas (**Fig. 5**), está formado por sedimentos detríticos plio-cuaternarios depositados sobre un potente nivel (>2000 m) de margas azules del Mioceno. En términos generales el conjunto detrítico se compone sucesivamente de (IGME, 1983;1992; Salvany y Custodio, 1995):

- limos y arenas del Plioceno; de ambiente deltaico y espesores desde pocos metros.
- arenas y gravas cuaternarias; de ambiente fluvial y espesores entre unas decenas y un centenar de metros; aparecen únicamente bajo la marisma.
- arcillas cuaternarias de estuario y marisma; aparecen sólo en el sector SE del acuífero, con espesores entre unos pocos y 60-70 metros.
- arenas eólicas; aparecen en toda la franja litoral y se extienden hasta el arroyo de La Rocina, con espesores de hasta 30-40 metros.

En el caso de Doñana no se puede hablar de un acuífero sino de un sistema acuífero, ya que las arcillas de estuario y marisma, de edad entre pleistocena y holocena (Zazo et al., 1999), forman parte del conjunto. Las arcillas de Doñana contienen agua salina y salada en los poros y, desde el momento de su formación hasta la actualidad, ese agua se ha desplazado fundamentalmente mediante flujos verticales ascendentes hacia la superficie de la marisma (Rodríguez-Arévalo,

1988; Konikow y Rodríguez-Arévalo, 1993). El sistema acuífero se recarga por el agua de lluvia allí donde afloran las arenas y limos arenosos, es decir en toda la superficie no cubierta por la marisma. La parte superior de las arenas y limos arenosos aflorantes contiene el nivel freático, aunque a mayor profundidad (claramente, al menos, en el área de El Abalarío) aparecen niveles semiconfinados que tienen distintos niveles piezométricos. Los limos arenosos, arenas y gravas situados bajo las arcillas de marisma están confinados por éstas (Custodio y Palancar, 1995; Trick, 1998; Manzano et al., 2001). La piezometría regional del sistema acuífero de Doñana se adapta con bastante fidelidad a la topografía del terreno, destacando el característico domo de El Abalarío, al oeste de la marisma. La descarga del sistema acuífero tiene lugar de forma natural hacia el mar a lo largo de toda la franja costera, hacia arroyos como La Rocina, El Partido, Cañada Mayor, Río Loro (o Río Oro), ríos como Guadimar (en su tramo bajo) y Tinto y también a lo largo de los contornos norte y oeste de la marisma, mediante flujos verticales ascendentes y mediante la evapotranspiración de la vegetación. Hoy en día una buena parte de la descarga tiene lugar en forma de bombeos (Manzano et al., 2002).

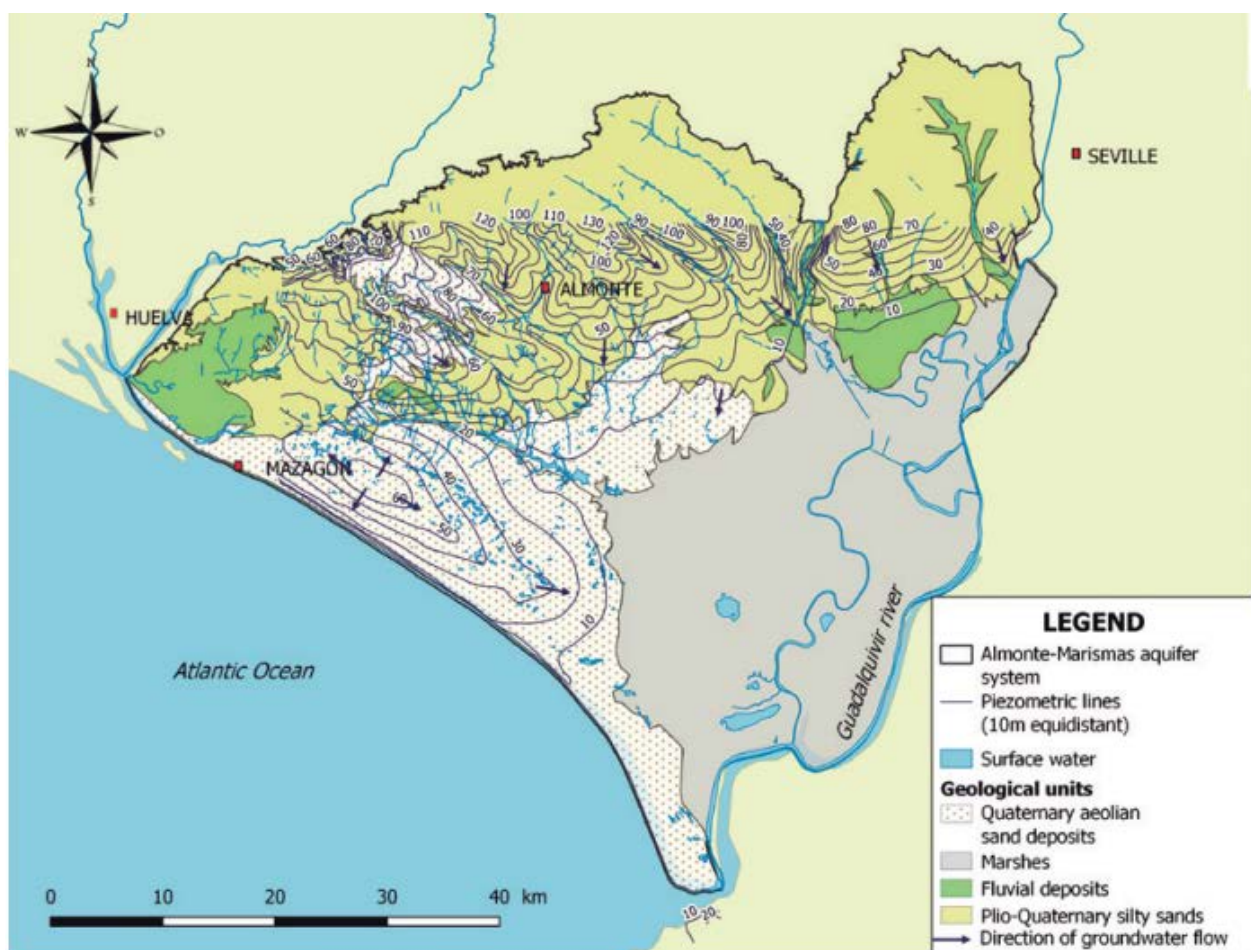


Figura 5. Contexto hidrogeológico del acuífero Almonte-Marismas. En blanco los depósitos de arena eólica cuaternaria, en gris la marisma, en verde los depositos fluviales y en amarillo las arenas plio-cuaternarias. Con una flecha azul se señala la dirección de las aguas subterráneas. Fuente: (David et al., 2020).

Fauna y Flora

En cuanto a la fauna, Diaz-Paniagua et al. (2015) describe de forma general que en las lagunas del entorno de Doñana hay una fuerte variación de **comunidades zooplanctónicas** a lo largo del periodo de inundación, de forma que mes a mes, las lagunas cambian su composición específica. En general, hacia el final del hidroperiodo, se produce una reducción importante de la diversidad

entre las lagunas (Díaz-Paniagua et al., 2015). Esto es aún más patente en las lagunas de hidroperiodo largo que permanecen más tiempo con agua, y donde las especies de zooplancton tienen que lidiar con unas condiciones ambientales más desfavorables hacia el final del ciclo de inundación. En total, la riqueza de especies de zooplancton en el conjunto de las lagunas de Doñana incluye 81 taxones de microscruáceos: 54 branquiópodos (de los que 46 son cladóceros, cinco anostráceos, dos conostráceos y un notostráceo), y 27 copépodos (de los que 14 son ciclópodos, ocho diaptómidos y cinco harpacticoides). Esto supone que las lagunas de Doñana albergan, al menos, a la mitad de las especies que se conocen en toda la Península Ibérica, tanto para copépodos como para branquiópodos (Díaz-Paniagua et al., 2015).

Por otro lado, también se describen en las lagunas **macroinvertebrados**, los cuales han desarrollado estrategias con las que se enfrentan a la desecación y a la imprevisibilidad de la inundación de las lagunas temporales. Una de ellas es la sincronización de sus ciclos de vida con la duración del periodo de inundación, otra es la dispersión hacia medios más permanentes cuando se va produciendo la desecación y por otro lado está la formación de estructuras de resistencia que les permite soportar la sequía. También se caracterizan por el tipo de hidroperiodo al que están asociados, siendo algunas especies exclusivas de los medios permanentes como son los zacallones (como los coleopteros *Hygrotus inaequalis* y *Yola bicarinata* y el heteróptero *Micronecta scholzi*). En Doñana se detectaron al menos 128 taxones diferentes que incluyeron, a nivel de especie, 59 coleópteros, 18 heterópteros, 14 odonatos, 8 grandes braquiópodos (cinco Anostraca, 2 Spinicaudata y 1 Notostraca), un decápodo, un efemeróptero, un isópodo y un quironómido. Esta riqueza se puede considerar alta comparada con otros sistemas de lagunas temporales mediterráneas (Díaz-Paniagua et al., 2015).

En Doñana el grupo de **vertebrados** se compone principalmente de anfibios, teniendo un papel importante como consumidores primarios, habitando 11 de las 13 especies de **anfibios** del suroeste de España. De modo que están favorecidas las especies adaptadas a medios acuáticos temporales. Los urodelos como tritones y gallipatos entran en las lagunas temporales cuando se inundan tras el verano y a partir de marzo ya es difícil encontrar adultos. Una ventaja adaptativa de los anfibios en las lagunas temporales es que sus larvas poseen la capacidad de acelerar o ralentizar su proceso metamórfico según el volumen de agua de la laguna, de forma que una disminución en la altura de la columna de agua bastará para acelerar su desarrollo y sobrevivir a la desecación. En Doñana hay cuatro especies de **reptiles acuáticos**: los dos galápagos, *Emys orbicularis* y *Mauremys leprosa*, y dos culebras de agua, *Natrix maura* y *Natrix natrix*, la primera de ellas ha sido registrada ocasionalmente en zacallones o grandes lagunas, depredando gallipatos o larvas de sapo de espuelas (Díaz-Paniagua et al., 2015). Según el estudio de Díaz-Paniagua et al. (2015), la segunda es actualmente muy escasa y no han llegado a detectarla en ninguna de las lagunas muestreadas en los últimos años. Con respecto a los **peces**, estos no son habitantes propios de medios temporales, pero pueden llegar a ellos en años de grandes inundaciones en los que se llegan a conectar las lagunas con otros medios acuáticos. En la actualidad, desde el punto de vista cuantitativo, las especies con más presencia en las lagunas son exóticas. Por otro lado, entre los **mamíferos**, la rata de agua y la nutria son los más relacionados con las lagunas temporales de Doñana, la población de la nutria ha aumentado mientras que la de la rata de agua ha disminuido, pero también se suele encontrar, en los momentos próximos a la desecación, huellas de jabalíes o ratas, que acuden a depredar las últimas larvas de anfibios sin metamorfosear (Díaz-Paniagua et al., 2015). Igualmente, las **aves acuáticas** son observadas ocasionalmente en estas lagunas. Principalmente anátidas y limícolas. Díaz-Paniagua et al. (2015) describen que de algunas, como los patos reales, se ha localizado ocasionalmente algún nido en las lagunas de mayor tamaño. También que son frecuentes en este tipo de hábitats las garzas y garcillas, que pueden depredar sobre anfibios adultos o sobre las larvas de mayor tamaño (Díaz-Paniagua et al., 2015).

Con respecto a la flora de las lagunas temporales de Doñana, se puede decir que los vegetales vasculares son el principal componente y también su soporte trófico en condiciones normales habiendo desarrollado una serie de adaptaciones que les permiten competir con éxito, como la heterofilia o variación de la forma foliar, lo que les permite estar adaptadas tanto al medio acuático como al aéreo. Además, este ambiente inestable es adecuado para un crecimiento de corta duración lo que se traduce en que la gran mayoría de las especies vegetales que se encuentran en las lagunas temporales son herbáceas y de pequeño tamaño, anuales y geófitas (Díaz-Paniagua et al., 2015).

Los factores que determinan la distribución de plantas en las lagunas de Doñana, son las variaciones geomorfológicas entre zonas que conforman una variación en la composición química de las aguas. Por otro lado, también genera una diferenciación la temporalidad natural, en cuanto a la resistencia a la desecación. Y es que las particularidades del sistema de lagunas de Doñana propician que en este se refugien especies de plantas vasculares singulares o raras. Como pueden ser: *Potamogeton natans*, *P. polygonifolius* o *Hydrocharis morsus-ranae*; o bien *Wolffia arrhiza* o *Ricciocarpos natans*; u otras ya desaparecidas en gran parte de Europa y que actualmente solo en Doñana encuentran las condiciones adecuadas para poder subsistir: como *Caropsis verticillato-inundata*; o especies endémicas que se encuentran actualmente solo en el Parque Nacional de Doñana y sus inmediaciones, como: *Avellara fistulosa* o *Juncus emmanuelis* (Díaz-Paniagua et al., 2015).

García Murillo y Sousa Martín (1997) describen que El Abalario ha conservado probablemente su vegetación natural o en origen hasta la primera mitad del siglo XX. Donde el norte estaba ocupado por alcornoque (*Quercus suber*) y bosque de *Oleo sylvestris-Quercetum suberis*. El sur, sin embargo, estaba ocupado por bosque del género *Juniperus* de las asociaciones: *Osyrio quadripartitae-Juniperetum turbinatae* y *Rhamno oleoidis-Juniperetum macrocarpae*. Y existía una gran área ocupada por la asociación *Erico ciliaris-Ulicetum lusitanici*, Brezal de brezo ciliado o Brezal húmedo atlántico con especies higrófilas.

Por otro lado, De las Heras (2009) realiza un estudio de flora y vegetación en el oeste del Parque Natural de Doñana, incluyendo la zona de estudio del presente trabajo y determina que solo se encuentra un 9,49% de vegetación natural. Navarro (2022) recoge de esta tesis las comunidades asociadas a los medios lagunares que se resumen a continuación:

- *Eryngio corniculati – Preslietum cervinae*, asociada a lagunas de agua dulce, no demasiado profundas, y que incluso llegan a secarse durante el verano.
- *Loto subbiflori – Chatopogonetum fasciculati*, se presenta en los bordes arenosos de las lagunas encharcadas por aguas dulces superficiales, durante el invierno o comienzo de la primavera.
- *Junco pygmaei – Isoetetum velati*, propia de suelos temporalmente inundados, que llegan a secarse durante la época estival del año.
- *Imperato cylindricae – Saccharion ravennae*, se sitúa en el borde de zonas de lagunas.
- *Typho angustifoliae – Phragmitetum australis*, se encuentra en márgenes de lagunas que a menudo son densas y monoespecíficas.
- *Juncus bufonius*, sobre suelos que permanecen inundados algunos meses, sobre todo de carácter arenoso, apareciendo tras períodos de lluvia intensa.

De la comunidad terofítica de *Eryngio corniculati – Preslietum cervinae*, De las Heras (2009) describe una alta presencia en su zona de estudio. Sin embargo, no define su presencia en Mazagón. También De las Heras (2009) encuentra que la comunidad terofítica *Junco pygmaei – Isoetetum velati* contacta con las comunidades *Eryngio corniculati – Preslietum cervinae* y *Loto subbiflori – Chatopogonetum fasciculati*. Por otro lado, la comunidad graminoide *Imperato cylindricae – Saccharion ravennae* se describe como una comunidad muy frecuente (De las Heras, 2009). Con respecto a la comunidad *Typho angustifoliae – Phragmitetum australis* son

muchas las ocasiones en las que De las Heras (2009) ha observado fragmentos de esta asociación, formando comunidades muy densas y casi monoespecíficas de *Phragmites australis* y comunidades monoespecíficas muy densas de talla muy elevada de *Scirpus lacustris*, que generalmente se ubican en las zonas más profundas de las lagunas.

En la zona de Mazagón concretamente, De las Heras (2009) cita también las siguientes comunidades: *Otantho maritimi* - *Ammophiletum australis* (propia de las crestas de las dunas móviles de las playas), *Euphorbio paraliae* – *Agropiretum junceiformis* (en las dunas embrionarias altas), *Artemisio crithmifoliae* – *Armerietum pungentis* (pueblan las dunas interiores del sinecosistema litoral), *Salsolo kali* - *Cakiletum aegyptiacae* (propia de dunas embrionarias y no es abundante en la zona de estudio), *Crassulo tillaeae* - *Saginetum apetalae* (se desarrolla sobre las rodadas de los caminos arenosos que se encuentran bien compactados por el pisoteo), *Linario donyanae* - *Loeflingetum baeticae* (coloniza los cortafuegos arenosos de la zona y los arenales abiertos), *Malcolmio lacerae* - *Anthyllidetum hamosae* (se desarrolla sobre las arenas, en los claros de matorral, pero sobre todo en los cortafuegos. Aunque en la zona de estudio también se ha detectado colonizando las primeras dunas semifijadas por el pino piñonero, *Pinus pinea*), *Halimio halimifolii* - *Stauracanthetum genistoides* o “Monte blanco” (se sitúa en los arenales y dunas profundas no sometidas a la acción del viento marino cargado de sales), *Pycnocomo rutifoliae* - *Retametum monospermae* (se dispone sobre sustrato arenoso, ya en las zonas de dunas estabilizadas), *Osyrio quadripartitae* - *Juniperetum turbinatae* o “sabinar” (se asienta en suelo muy arenoso, bastante ácido en superficie y con el nivel freático a más de un metro y medio de profundidad), *Rubio longifoliae* - *Corematetum albi* o “matorral de camariñas” (coloniza las dunas litorales y en la zona de estudio es una comunidad poco frecuente) (De las Heras, 2009).

Díaz-Paniagua et al. (2015) desarrollan las comunidades de Doñana asociadas a los zacallones. En los que están caracterizados por una mayor salinidad y carbonatos, se encuentran comunidades Chara (*Charetum asperae*, *Charetum fragilis* y *Charetum vulgaris*) y comunidades de macrófitos acuáticos flotantes, como *Lemnetum minoris*, *Lemnetum trisulcae* y *Lemno-Spirodeletum polyrrhizidae*. Por el contrario, las aguas menos salinas se colonizan por comunidades de especies perennes de Potamogeton (*Potametum lucentis*, *Myriophyllo alterniflori-Potametum natantis* o *Potametum pectinati*).

1.3 Objetivos

Dentro del Trabajo de Fin de Máster previamente realizado en la zona de estudio (Navarro, 2022), donde se estudian las mismas lagunas que en el presente estudio, se concluye que la presencia de agua en las lagunas está directamente relacionada con las precipitaciones. Igualmente, se observó que los descensos en los niveles piezométricos estudiados, de hasta 10 metros en los últimos 50 años, son mayores en la parte sur de la zona de estudio y se afirma que está relacionado con el abastecimiento a Mazagón y el riego agrícola. Además, Navarro (2022) también concluye que Pozo Candiles, El Martillo y, sobre todo, Grande de las Turmas han sufrido cambios en su vegetación, de manera que han experimentado una colonización de sus vasos por pinos y matorral. Finalmente, también indica, a partir de la conductividad eléctrica del agua, que las lagunas tienen un origen fundamentalmente epigénico.

El objetivo general del presente Trabajo de Fin de Máster es estudiar el estado de conservación de las lagunas peridunares del NE de Mazagón y el posible impacto de las extracciones de aguas subterráneas. Más allá de este objetivo general, encontramos los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar las características hidroquímicas de las lagunas seleccionadas.
- Estudiar la evolución de los niveles de inundación en las lagunas.
- Realizar y analizar en laboratorio un perfil de suelo de una de las lagunas.

- Evaluar mediante imágenes aéreas con dron las masas de vegetación de las lagunas.

2. Metodología

La metodología de este estudio se basa en la unión de distintas técnicas para el estudio de las lagunas como han sido la toma de datos en campo, el perfil de suelo, el estudio de sus vasos lagunares y de su vegetación.

2.1. Toma de datos de campo (niveles de inundación e hidroquímica)

Las visitas a la zona de estudio ha sido una de las primeras tareas dentro del plan de trabajo con el fin de monitorizar el hidropereodo de las lagunas objeto de estudio. De esta manera se han realizado 6 visitas a las lagunas repartidas a lo largo del año hidrológico 2022/23, en concreto el 27 de octubre, el 21 de diciembre, el 2 y 23 de febrero, el 30 de marzo y la última visita que se realizó fue el 5 de junio. Las medidas realizadas en cada visita han sido diferentes ya que en cada una se ha encontrado una situación distinta de las lagunas. Sin embargo, de todas las lagunas se ha realizado al menos un análisis de los parámetros físico-químicos in situ medidos mediante equipos portátiles. Se determinaron valores de temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE) y el potencial de oxidación reducción (ORP), utilizando medidores portátiles LAQUA Horiba PH220. Se realizó una calibración de tres puntos tanto para CE (147 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 12,88 $\mu\text{S}/\text{cm}$) como para pH (4,01, 7,00 y 9,21), mientras que el ORP se comprobó usando dos puntos (220 y 470 mV).

En cuanto a las muestras de agua, se tomaron de 6 lagunas en marzo de 2023: la laguna SN2, la laguna de los Cinco Pinos, la laguna del Conejo, el Zacallón 1 de la laguna del Martillo, la laguna Redonda y la laguna de Moguer 1. Se tomaron 500 mL de cada laguna en recipientes de polietileno de alta densidad, previamente descontaminados con ácido nítrico al 10%. Posteriormente, en laboratorio, las muestras fueron filtradas (0,45 μm celulose acetate), separadas en diferentes alícuotas y almacenadas en oscuridad a 4°C hasta su análisis. Finalmente, se determinó la concentración de elementos mayoritarios y trazas mediante espectroscopia de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) y espectroscopia de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), respectivamente. Los aniones se determinaron mediante cromatografía iónica. Estos análisis se llevaron a cabo en los laboratorios de los Servicios Centrales de la Universidad de Huelva con sede en CIDERTA.



Figura 6. Fotografía de un muestreo hidroquímico en el zacallón 2 de la laguna del Martillo.

Por último, en las visitas a campo se hicieron fotos del estado de las lagunas para ver su evolución temporal y se anotaron observaciones de cada una de ellas. También se midieron los niveles de inundación de las lagunas. De forma que se ha medido la altura de la lámina de agua

con respecto al fondo de la laguna en varas o estacas que ya se encontraban clavadas en el terreno.

2.2. Perfil de suelo Laguna del Martillo

Se realizó un perfil de profundidad del suelo de la laguna del Martillo. Se llegó hasta 400 cm de profundidad mediante una barrena helicoidal. Se tomaron muestras cada 10 cm, aproximadamente, para la posterior determinación de granulometría, pH, CE. La granulometría se determinó empleando un equipo Mastersizer ubicado en el Laboratorio de investigación y control agroalimentario de la Universidad de Huelva (edificio CIDERTA). Esta técnica mide la intensidad de luz dispersada cuando un rayo láser pasa a través de una muestra de partículas dispersas (Malvern Panalytical, 2021). Los análisis de granulometría se realizaron por triplicado por cada muestra de sedimento. A partir de los resultados obtenidos se cuantificó el contenido promedio correspondiente a arcillas (<2 μm), limos (2-50 μm) y arenas (50-2000 μm) en cada muestra. El pH y la CE en suelos se determinaron en alícuota suelo:agua proporción 1:1 mediante equipos portátiles LAQUA Horiba PH220 calibrados a tres puntos tanto para CE (147 $\mu\text{S/cm}$, 1413 $\mu\text{S/cm}$ y 12,88 $\mu\text{S/cm}$) como para pH (4,01, 7,00 y 9,21).

2.3. Estudio morfológico de los vasos lagunares

Adicionalmente se ha estudiado la morfología de las lagunas objeto de estudio, con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica, el Modelo Digital del Territorio y la ortofoto del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Además de los centros o localizaciones de las lagunas digitalizadas gracias a un SIG del trabajo de fin de máster de Alberto Navarro.

El Modelo Digital del Terreno o MDT utilizado se basa en un sistema láser aerotransportado o vuelo LiDAR de segunda cobertura. Este modelo se realizó desde 2015 hasta hace 2 meses (a fecha de 1 de diciembre de 2023) (IDEE, s.f.). LiDAR (Light Detection and Ranging) es un sistema láser que permite medir la distancia entre el punto de emisión del láser hasta un objeto o superficie. Para ello, realmente lo que se mide es el tiempo que tarda ese láser en llegar a su objetivo y volver del mismo, y con ello se calcula la distancia entre los dos puntos. Los componentes principales de los que está compuesto un sistema de medida LiDAR incluyen una plataforma (avión, UAV, automóvil, trípode, mochila, barco, etc.), sistema de escáner láser, sistema GNSS (Sistema de posicionamiento global) e INS (sistema de navegación por inercia, mide la rotación, inclinación y encabezamiento del sistema). El escáner láser trabaja con dos movimientos: el de la trayectoria de la plataforma (longitudinal) y el del espejo que refleja la luz que llega desde el láser (transversal). Con ellos, es capaz de obtener una nube de puntos del terreno que permite conocer su topografía de manera detallada (PNOA, s.f.) con lo que se hace un levantamiento de 2 metros por 2 metros (la mayor resolución del terreno que se puede obtener gracias al PNOA). Por ejemplo, un satélite Sentinel, con la mejor de las resoluciones, obtiene una resolución espacial de 60 metros (Conejo García, 2022). Los MDT se han obtenido del Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional. Para las lagunas de nuestro estudio que se situaban más al norte se ha utilizado el siguiente MDT: *MDT02-ETRS89-HU29-1000-3-COB2*, mientras que para las que se situaban más al sur se ha utilizado este otro: *MDT02-ETRS89-HU29-1017-1-COB2*, ya que cada MDT cubre una cuadrícula concreta de territorio.

A través de estos datos se ha realizado un análisis usando el software ArcGIS donde se han obtenido las curvas de nivel del terreno por cada 10 centímetros de altura y mediante su superposición a la ortofoto del PNOA, se ha seleccionado la curva que señalaba el límite de la cubeta o vaso lagunar de cada laguna. Sobre estas, se ha realizado el análisis de las curvas de nivel dentro de cada cubeta, lo que nos permite saber su profundidad y el volumen de agua que

puede llegar a almacenar. La fecha de la ortofoto es la máxima actualidad, actualizada hasta hace 2 meses (a fecha de 1 de diciembre de 2023) (IDEE, s.f.) y su fuente ha sido el Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica.

2.4. Cartografía de la vegetación

Para abordar este objetivo del trabajo se ha continuado realizando el análisis en el programa ArcGIS. Para ello se han utilizado parte de los datos obtenidos para el estudio morfológico de los vasos lagunares, como han sido las cubetas de las lagunas además de imágenes de fotogrametría, es decir de alta resolución, gracias a vuelos de drones realizados entre febrero y abril de 2022 realizados sobre 3 lagunas del estudio. Estas han sido: la laguna Grande de las Turmas, la laguna de los Cinco Pinos y la laguna de Moguer 1. Las dos primeras se han volado con los modelos de dron DJI Air 2S y DJI P4 Multiespectral. Mientras que la laguna de Moguer 1 se ha volado con un dron DJI Mavic 3 Multiespectral. Los criterios para su elección han sido la extensión espacial o la longitud del hidoperiodo. La cartografía se ha realizado de forma que se estudia el vaso lagunar junto a su área de influencia para analizar los Hábitats de Interés Comunitario o HICs que los componen para cuya conservación es necesario designar Zonas Especiales de Conservación (Directiva 92/43/CEE, Anexo II). El área de influencia de las lagunas es de unos metros alrededor del vaso lagunar, de mayor o menor tamaño según la extensión de su vaso o cubeta.

Finalmente, se ha realizado una visita a campo el 9 de septiembre de 2023 para comprobar si los datos que proporcionaban los datos digitales correspondían a la vegetación real de la zona de estudio. Esta visita se ha aprovechado para realizar un inventario de flora y fauna de la zona de estudio mediante observación directa.

3. Resultados y discusión

Los resultados de todos los datos recopilados en el estudio se van a diferenciar en cuatro apartados por cada objetivo del estudio junto con su discusión.

3.1. Niveles de inundación e hidroquímica

Precipitaciones y temperaturas en la zona

En primer lugar se presentan los datos de la evolución de las precipitaciones del año 2022/2023. El estudio de las precipitaciones cobra especial relevancia, especialmente en humedales epigénicos (aquellos que dependen de la escorrentía superficial y subsuperficial y donde el régimen hidrológico está dominado por las variables climáticas más que por las hidrogeológicas), como son las lagunas del presente estudio (Navarro, 2022). Para describir estas precipitaciones se ha escogido la Estación Meteorológica de IFAPA Centro Las Torres-Tomejil, Finca El Cebollar por cercanía a la zona de estudio (7 km al norte). Se descargaron los datos de octubre de 2013 a septiembre de 2023 que se resumen en el siguiente gráfico (**Fig. 7**).

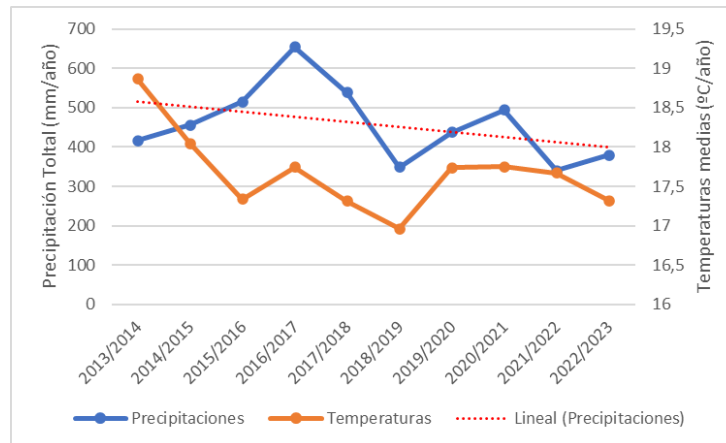


Figura 7. Precipitación total y temperaturas medias de los años hidrológicos 2013-2023 de la Estación Meteorológica IFAPA Centro Las Torres-Tomejil. Finca El Cebollar (Huelva).

La **precipitación** media en 10 años de mediciones de la estación (2013-2023) es de 457,9 mm. En los cuales tres años han sido secos, es decir por debajo de los 400 mm anuales. Estos fueron los años hidrológicos 2018-2019, 2021-2022 y 2022-2023 con 348,2 mm, 340,4 mm y 379,2 mm respectivamente. El año 2016-2017 supera destacablemente la media de precipitaciones, alcanzando ese año una precipitación total de 654,6 mm. La tendencia de las precipitaciones desde el año 2013 es descendente (**Fig. 7**), lo que conlleva a una menor acumulación de agua en esta zona al igual que ocurre en la zona de la estación meteorológica del Palacio de Doñana (**Fig. 4**). Por otro lado, en cuanto a la **temperatura**, la media de la zona es 17,7 °C mientras que la mínima fue -1,8 °C el 5 de febrero de 2018 y la máxima fue reciente, alcanzando los 43,6 °C el 25 de julio de 2022 (**Fig. 7**). En el año 2022/2023 la temperatura media se sitúa en los 17,3 °C, destacando algo por debajo de la media del periodo del año 2013 al 2023. La temperatura máxima fue 41 °C el 11 de agosto de 2023 y la temperatura mínima fue de -0,7°C tanto el 1 de febrero como el 27 de enero de 2023.

Evolución de los niveles de inundación

Las lagunas estudiadas se encontraron en diferente situación en cada una de las visitas realizadas (**Tabla 1**). El 27 de octubre, al inicio del año hidrológico, todas menos la laguna del Martillo estaban secas. Por el contrario, el 21 de diciembre, tras unas lluvias intensas a principio de mes (205,8 mm) (**Fig. 8**), sólo la laguna Grande de las Turmas y Pozo Candiles se encontraban sin agua. Sin embargo, el 2 de febrero las únicas lagunas que conservaban agua en superficie eran la laguna de Cinco Pinos, los zacallones de la laguna del Martillo, la laguna Redonda (**Fig. 9A**) y la laguna de Moguer 1 (**Fig. 9C**), indicándonos que estas dos últimas lagunas son las que mayor hidroperiodo presentan (en el caso de la laguna del Martillo, sólo se mantiene el agua en los zacallones). Para el 23 de febrero se continuó encontrando agua en la laguna Redonda y la laguna de Moguer 1. Entre el primer y segundo muestreo de febrero llovieron un total de 45,8 mm y como consecuencia la laguna de Moguer 1 obtuvo una inundación similar a la del 21 de diciembre, con 35 cm. Marzo fue un mes seco (10,4 mm) pero para el 30 de marzo la laguna de Moguer 1 continuaba inundada (**Fig. 8**). Las precipitaciones en los meses de abril y mayo fueron escasas, tan solo 1,8 mm en abril y 23,4 mm en mayo, de forma que el 5 de junio se encontraron todas las lagunas secas (**Tabla 1**).

Posteriormente, se muestra en un gráfico la evolución del nivel de la lámina de agua de la laguna de Moguer 1 ya que ha sido la laguna con más datos y una de las de más largo periodo de inundación o hidroperiodo. En la figura, se observa su máximo nivel de agua el 21 de diciembre

de 2022. Las inundaciones corresponden con los máximos de lluvia (en los meses de diciembre y febrero), propio de lagunas epigénicas (**Fig. 8**).

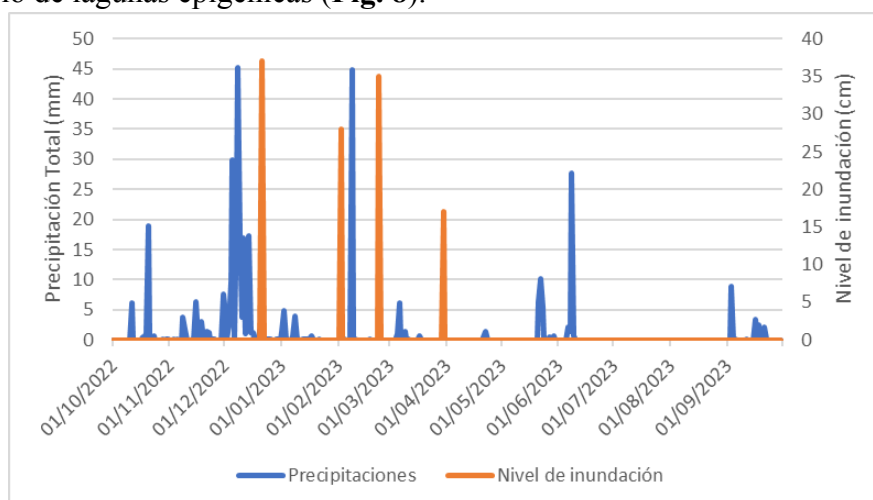


Figura 8. Gráfica de la evolución del nivel de agua de la laguna de Moguer 1 junto a las precipitaciones totales del año hidrológico 2022/2023.

Tabla 1. Resultados del control de la inundación de las lagunas en las seis visitas realizadas.

		Grande de las Turmas	Pozo Candiles	SN2	Cinco Pinos	El Conejo	Vallunosa	SN1	El Caballo	El Martillo. Zacallón 1	El Martillo. Zacallón 2	Redonda	Moguer 1	Moguer 2
2022	27/10	Visita	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
		Agua en superficie	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Inundada	Inundada	Seca	Seca	Seca
		Profundidad lamina (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	21/12	Visita	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
		Agua en superficie	Seca	Seca	Inundada	Inundada	Inundada	Inundada	Inundada	Inundada	Inundada	Inundada	Inundada	Inundada
		Profundidad lamina (cm)	-	-	10	12	10	12	6	-	-	-	13	37
2023	02/02	Visita	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
		Agua en superficie	Sin dato	Sin dato	Seca	Inundada	Seca	Seca	Seca	Seca	Inundada	Inundada	Inundada	Inundada
		Profundidad lamina (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	28
	23/02	Visita	No	No	No	No	No	No	No	No	No	Sí	Sí	No
		Agua en superficie	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Inundada	Inundada
		Profundidad lamina (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	35
	30/03	Visita	No	No	No	Sí	No	No	No	No	Sí	Sí	No	Sí
		Agua en superficie	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Seca	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Sin dato	Inundada	Inundada	Sin dato	Inundada
		Profundidad lamina (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
05/06	Visita	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	Sí	
	Agua en superficie	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca	
	Profundidad lamina (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

La primera visita realizada nos dió indicios de las posibles gestiones que se habían hecho de las lagunas para su conservación. En la laguna Grande de las Turmas, en la laguna de los Cinco Pinos y en la laguna Redonda se observaban numerosos tocones de pinos alrededor de su cubeta. Además en la laguna Grande de las Turmas y en la laguna Redonda se observó una acumulación de pinos cortados a su lado (**Fig. 9B**). Estas actuaciones podrían haberse realizado para reducir la absorción de agua por parte de la arboleda que dejaría más agua disponible en el suelo para otros componentes del ecosistema. O también para retirar la arboleda calcinada tras el último incendio. Por otro lado, se observaron zonas excavadas artificialmente (zacallones) tanto en la laguna del Martillo como en la laguna de Pozo Candiles. Su existencia ya lo apuntaba Navarro en su trabajo de 2022. Sin embargo, para la laguna del Martillo, en este trabajo se evidencia un zacallón más, distinguiendo Zacallon 1 y Zacallón 2.



Figura 9A. Situación de la laguna Redonda el 2 de febrero de 2023.

Figura 9B. Pinos amontonados al lado de la laguna Grande de las Turmas.

Figura 9C. Situación de la laguna de Moguer 1 el 2 de febrero de 2023.

Parámetros físico-químicos del agua de las lagunas

En las distintas visitas realizadas también se ha realizado un análisis hidroquímico o de parámetros físico-químicos del agua (**Tabla 2**). Existen dos lagunas en las que no se ha hallado agua superficial en ninguna de las visitas: la laguna Grande de las Turmas y la laguna de Pozo Candiles. Por otro lado, no se ha muestreado la laguna de Moguer 2 porque se considera similar a la laguna de Moguer 1.

Se puede observar que en cuanto al **pH**, el valor medio de las lagunas se encuentra en 6,38 (6,82 en diciembre, 6,31 en febrero y 6,03 en marzo). El valor máximo (7,46) pertenece a la laguna Sin Nombre 2 en la visita del 21 de diciembre de 2022. En contraposición, la laguna de más bajo pH (5,76) ha sido el del zacallón 2 de la laguna del Martillo el 30 de marzo de 2023. Sin embargo, con respecto al anterior muestreo no supone una bajada importante de pH (0,5 puntos). La acidez no llega a comprometer la supervivencia de la fauna anfibia ya que se tendría que llegar a un pH 3-4 (Díaz-Paniagua et al., 2015). Para el **potencial redox**, la media de las lagunas está en 240,77 mV (201 mV en diciembre, 273 mV en febrero y 248 mV en marzo). La laguna con mayor valor es el zacallón 1 de la laguna del Martillo en febrero (318 mV), mientras que el menor valor entre todas las lagunas lo adquiere la laguna de Valluncosa para diciembre (113 mV). Sin embargo, todos son potenciales redox positivos, lo que significa que en todos existen condiciones oxidantes. En cuanto a la **CE**, la media se sitúa en 191 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (164 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en diciembre, 177 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en febrero y 233 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en marzo). El mayor valor lo tiene la laguna Valluncosa para diciembre (361 $\mu\text{S}/\text{cm}$), mientras que el menor se presenta en la laguna SN2, en diciembre también (68 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Esto quiere decir, el mayor y menor contenido en sales disueltas. Según Serrano et al. (2006) la conductividad en la laguna Santa Olalla, una laguna hipogénica, ha variado en las últimas décadas entre 3000 y 283000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Otra laguna de Doñana, la laguna del Zahillo, ha registrado valores desde 730 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en enero de 2003 hasta 4180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en marzo de 2006 (Díaz Paniagua et al., 2015). Los valores de conductividad de las lagunas de nuestro estudio difieren notablemente de los valores que alcanzan estas lagunas, también del Manto Eólico, lo que parece confirmar que las lagunas de la zona de estudio tienen un carácter epigénico (Navarro, 2022). Por último, para el **oxígeno disuelto**, la media de las lagunas se ha encontrado en 63,83% y 7,33 mg/L. Sin embargo esta medida solo se ha podido medir en dos de las visitas de campo (**Tabla 2**). El mayor valor se tiene en la laguna SN2 en diciembre (91% o 9,46 mg/L) mientras que el menor pertenece a la laguna de Moguer 1 en febrero (48,5% o 6,17 mg/L). La alta proporción de oxígeno disuelto en la laguna SN2 puede ser debido a que se encuentran mayor número de organismos fotosintéticos y pocos consumidores (Díaz Paniagua et al., 2015).

Tabla 2. Resultados de los parámetros físico-químicos en las diferentes lagunas del estudio. Las celdas que se representan en gris significa que no se ha podido realizar la medición porque no había presencia de agua en superficie.

Lagunas	Fecha visita															
	21/12/2022						02/02/2023				30/03/2023					
	pH	T (°C)	Orp (mV)	CE (µS/cm)	O ² disuelto		pH	T (°C)	Orp (mV)	CE (µS/cm)	O ² disuelto		pH	T (°C)	Orp (mV)	CE (µS/cm)
%					mg/L	%					mg/L					
Grande de las Turmas																
Pozo Candiles																
SN2	7,46	14,7	245	67,8	91	9,46										
Cinco Pinos	6,43	13,7	180	157	60,5	6,25										
					53	5,60										
El Conejo	6,85	16,5	222	150												
Valluncosa	6,6	15	113	360,6												
SN1	7	17	217	104,5												
El Caballo	7,07	16,7	152	215,2												
El Martillo, Zacallón 1	6,7	14	249	172,8			6,02	5,7	318	180	72	9,23	6,16	15,1	255	153,1
El Martillo, Zacallón 2	6,35	14,8	240	149			6,3	6,8	220	199	58	7,28	5,76	16,2	283	278,9
Redonda	7,1	17,7	235	112,5												
Moguer 1	6,6	14,6	160	150			6,6	6,3	280	151	48,5	6,17	6,17	14,8	207	268
Moguer 2																
Valor mínimo	6,35	13,7	113	67,8	53	5,6	6,02	5,7	220	151	48,5	6,17	5,76	15,1	207	153,1
Valor máximo	7,46	17,7	249	360,6	91	9,46	6,6	6,8	318	199	72	9,23	6,17	16,2	283	278,9
Valor medio	6,8	15,5	201,3	163,9	68	7,1	6,3	6,3	272,7	176,7	60	7,6	6	15,4	248,3	233,3

Componentes mayoritarios del agua de las lagunas

Los datos de las concentraciones de cloruros, bicarbonatos, sulfatos y nitratos han sido tomados del trabajo de Alberto Navarro de 2022 muestreados entre el 1 de febrero, el 10 de febrero o el 7 de abril de 2022. Se puede determinar que los iones más abundantes en las lagunas son los **cloruros y bicarbonatos (Tabla 3)**, producidos de manera natural. En cuanto a los bicarbonatos, se debe al contenido en calcita (CaCO₃) de la unidad geológica (Manto Eólico) en la que se sitúan las lagunas (Kohfahl, 2019), mineral en forma de granos detríticos o conchas que produce este bicarbonato, además de calcio. También se pueden encontrar naturalmente al ser transportados por el agua de lluvia (Kohfahl et al., 2019). Destaca la concentración de bicarbonatos en la laguna de Moguer 1, con un valor de 89 mg/L. En cuanto al **calcio**, la mayor concentración la posee la laguna del Conejo con 12,2 mg/L, valor muy superior al resto de las lagunas. En cuanto al resto de elementos, destaca el valor de **sodio** de la laguna de los Cinco Pinos, situándose en 32,6 mg/L, en cloruros de la laguna Redonda (52,6 mg/L) y en **sulfatos** del Zacallón 1 de la laguna del Martillo (33,4 mg/L). El sedimento de las lagunas puede ser una fuente de estos elementos al funcionar como trampa de sales (Cl, Na, Ca y S) (Kohfahl et al., 2019). Sin embargo, una laguna hipogénica como la laguna de Santa Olalla tiene una concentración de cloruro y sodio de hasta 3500 mg/L (Rodríguez-Rodríguez et al., 2020) y de sulfatos entre 50 y 1000 mg/L (Bocanegra et al., 2005), por lo que las concentraciones que se encuentran en las lagunas de este estudio, no son altas comparadas con otras lagunas de la misma unidad geológica (Manto Eólico). En cuanto a los **nitratos** por debajo de 10 mg/L se pueden producir por oxidación atmosférica (Kohfahl, 2019). Valores mayores como la concentración del Zacallón 1 de la laguna del Martillo han podido producirse por contaminación atmosférica de fertilizantes de amonio utilizados para la agricultura de la zona (Kohfahl et al., 2019). Con respecto al **magnesio**, las lagunas de nuestro estudio tienen concentraciones muy bajas de este

elemento. Por el contrario, en las lagunas del Parque Nacional, la laguna Dulce se encuentra entre los 50 y 720 mg/L, la laguna de Santa Olalla entre los 50 y 240 mg/L y la laguna Charco del Toro entre los 24 y 240 mg/L (Bocanegra et al., 2005).

Tabla 3. Resultados de los elementos mayoritarios (en mg/L).

Lagunas	Ca	K	Mg	Na	Cl	HCO ₃	SO ₄	NO ₃
SN2	3,6	3,9	1,9	9,6	5,65	23	0,5	3,35
Cinco Pinos	6,3	5,6	2,7	32,6	40,5	36,6	2,65	9,98
El Conejo	12,2	6,1	3,4	7,2	4,62	57	1,19	0,25
El Martillo. Zacallón 1	8,8	8,3	3,7	19,6	39,1	26	33,4	15,2
Redonda	3,5	5,1	2,3	9,2	52,6	48	9,5	1,70
Moguer 1	8,6	11,2	3,6	20,9	26,6	89	1,67	5,94
Valor mínimo	3,5	3,9	1,9	7,2	4,62	23	0,5	0,25
Valor máximo	12,2	11,2	3,7	32,6	52,6	89	33,4	15,2
Valor medio	7,17	6,7	2,93	16,52	28,18	46,6	8,15	6,07

También en cuanto a los iones mayoritarios, se ha realizado un diagrama de Piper para determinar las características hidroquímicas del agua de las lagunas estudiadas (**Fig. 10**). La fecha de muestreo de los cationes (Na, Mg, Ca, K) ha sido marzo de 2023. Mientras que como ya se ha mencionado anteriormente, el muestreo para los aniones (Cl, SO₄, HCO₃) fue realizado entre el 1 de febrero, el 10 de febrero y el 7 de abril de 2022. Para los carbonatos (CO₃), el dato no se ha recogido ya que solo se encuentran en el agua con un pH mayor a 8,5, una condición que no ha ocurrido en nuestras lagunas. En el diagrama, la laguna Sin Nombre 2 se ha representado con la letra A, la laguna de los Cinco Pinos con la letra B, la laguna del Conejo con la C, luego el Zacallón 1 de la laguna del Martillo con la letra D, la laguna Redonda con la E y la laguna de Moguer 1 con la F. Las facies hidroquímicas resultantes son que la laguna Sin Nombre 2 tiene un agua de tipo bicarbonatada sódica, la laguna de los Cinco Pinos tiene un agua clorurada sódica, por otro lado la laguna del Conejo posee un agua bicarbonatada cálcica no dominante (con solo un 45% de cationes de calcio), el Zacallón 1 de la laguna del Martillo tiene un agua clorurada sódica (con un 49% de cloruros), la laguna Redonda tiene un agua clorurada sódica y la laguna de Moguer 1 un agua bicarbonatada sódica (**Fig. 10**). Por tanto, la facies hidroquímica predominante es la clorurada sódica, propia de las lagunas de Cinco Pinos, el Zacallón 1 de la laguna del Martillo y la laguna Redonda. Las aguas del acuífero libre de Doñana son dulces y, típicamente, bicarbonatadas cálcicas (Llamas, 1990), pero cuando afloran a la superficie, la evaporación concentra las sales más solubles, haciendo aumentar su proporción en cloruro sódico. Por eso, las aguas de las lagunas de Doñana están dominadas por el cloruro sódico (Díaz Paniagua et al., 2015). La laguna del Conejo es la que presenta un agua menos mineralizada.

Existen elementos de los que se determina su concentración máxima en la normativa según la dureza del agua por lo que se ha calculado la dureza total de las lagunas a partir de los resultados de la Tabla 3. Se ha obtenido una dureza de:

- 16,9 mg CaCO₃/L para la laguna Sin Nombre 2 (SN2)
- 27 mg CaCO₃/L para la laguna de los Cinco Pinos
- 44,7 mg CaCO₃/L para la laguna del Conejo
- 37,4 mg CaCO₃/L para el Zacallón 1 de la laguna del Martillo
- 18,3 mg CaCO₃/L para la laguna Redonda
- 36,5 mg CaCO₃/L para la laguna de Moguer 1

Las lagunas poseen muy baja concentración en aluminio (Al ≤ 0,3 mg/L) y hierro (Fe = 0,3 mg/L). El zacallón 1 de la laguna del Martillo tiene la más alta concentración en manganeso (Mn) con 69,6 µg/L, mientras que la laguna de los Cinco Pinos destaca por su concentración en zinc (Zn) con 43,4 µg/L y en plomo (Pb) con 8,85 µg/L. También destaca la concentración en estroncio (Sr) y en bario (Ba) del Zacallón 1 de la laguna del Martillo con 43,5 µg/L y 35,5 µg/L respectivamente (**Tabla 4**). En cuanto a la normativa estatal de calidad ambiental de las aguas, las sustancias o metales que superan los niveles máximos establecidos son Pb en la laguna de los Cinco Pinos y el Cd también en la laguna de Cinco Pinos y la laguna Sin Nombre 2 (SN2), el Zacallón 1 de la laguna del Martillo, la laguna Redonda y la laguna de Moguer 1. En la laguna del Conejo, al resultar el análisis menor a 0,5 µg/L y su dureza ser mayor al resto de las lagunas, no se puede saber si la concentración es mayor que el nivel máximo de Cd para esta dureza (0,08 µg/L) (Real Decreto 60/2011, Anexo I) (**Tabla 5**). Con respecto al Se ocurre lo mismo, el resultado de los análisis es menor a 2,5 µg/L, sin embargo no se puede saber si su concentración incumple la normativa ya que no se sabe si es mayor o menor que el límite (1 µg/L) (Real Decreto 60/2011, Anexo II).

Tabla 4. Resultados de los elementos minoritarios y trazas analizados por ICP-MS en el muestreo del 21 de diciembre de 2023. Datos expresados en µg/L.

Lagunas	Al	As	Ba	Cd	Ce	Cr	Co
SN2	<100	1,85	8,18	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cinco Pinos	200	2,06	4,72	0,827	<0,5	1,03	<0,5
El Conejo	<100	2,73	9,85	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
El Martillo. Zacallón 1	300	0,822	35,5	<0,5	1,25	1,61	0,957
Redonda	300	0,908	3,39	<0,5	<0,5	0,585	<0,5
Moguer 1	500	1,69	11,4	<0,5	<0,5	0,814	<0,5

Lagunas	Cu	Fe	La	Li	Mn	Nd	Ni
SN2	6,44	300	<0,5	1,59	38,6	<0,5	0,792
Cinco Pinos	7,13	300	<0,5	3,17	18,2	<0,5	2,10
El Conejo	7,95	<100	<0,5	<0,5	17,3	<0,5	<0,5
El Martillo. Zacallón 1	3,82	<100	0,560	4,86	69,6	0,698	1,25
Redonda	6,21	<100	<0,5	1,14	4,9	<0,5	<0,5
Moguer 1	8,48	500	<0,5	2,55	61,2	<0,5	1,75

Lagunas	Pb	Rb	Se	Sr	Ti	V	Y
SN2	<0,5	1,20	<2,5	13,6	<1	<0,5	<0,5
Cinco Pinos	8,85	2,15	<2,5	23,3	<1	0,954	<0,5
El Conejo	<0,5	1,56	<2,5	39,7	<1	<0,5	<0,5

El Martillo. Zacallón 1	1,15	4,06	<2,5	43,5	1,22	1,57	0,523
Redonda	<0,5	1,78	<2,5	17,7	3,42	0,771	<0,5
Moguer 1	<0,5	3,00	<2,5	30,9	1,62	1,22	<0,5
Lagunas	Zr	Zn					
SN2	<0,5	16,4					
Cinco Pinos	0,709	43,4					
El Conejo	<0,5	10,8					
El Martillo. Zacallón 1	0,504	14,9					
Redonda	<0,5	10,4					
Moguer 1	0,587	11,4					

Tabla 5. Elementos o sustancias que superan la concentración máxima establecida por la normativa de calidad ambiental de aguas en las lagunas objeto de estudio.

Metal	Real Decreto	Mala calidad
<i>Sustancias prioritarias (Anexo I del Real Decreto 60/2011)</i>		
Plomo (Pb)	7,2 µg/L	Laguna de los Cinco Pinos
Níquel (Ni)	20 µg/L	Ninguna
Cadmio (Cd). Dureza: < 40 mg CaCO ₃ /L	≤ 0,08 µg/L	Todas menos la laguna del Conejo, que no se puede determinar
40 a < 50 mg CaCO ₃ /L	0,08 µg/L	
50 a < 100 mg CaCO ₃ /L	0,09 µg/L	
100 a < 200 mg CaCO ₃ /L	0,15 µg/L	
≥ 200 mg CaCO ₃ /L	0,25 µg/L	
<i>Sustancias preferentes (Anexo II del Real Decreto 60/2011)</i>		
Arsénico (As)	50 µg/L	Ninguna
Cobre (Cu). Dureza: < 10 mg CaCO ₃ /L	5 µg/L	Ninguna
10 a < 50 mg CaCO ₃ /L	22 µg/L	
50 a < 100 mg CaCO ₃ /L	40 µg/L	
> 100 mg CaCO ₃ /L	120 µg/L	
Cromo (Cr)	50 µg/L	Ninguna
Selenio (Se)	1 µg/L	No se puede determinar
Zinc (Zn). Dureza: < 10 mg CaCO ₃ /L	30 µg/L	Ninguna
10 a < 50 mg CaCO ₃ /L	200 µg/L	
50 a < 100 mg CaCO ₃ /L	300 µg/L	

> 100 mg CaCO₃/L

500 µg/L

3.2. Perfil de suelo Laguna del Martillo

El análisis del suelo de la laguna del Martillo muestra un mayor contenido en arenas y limos que en arcillas (**Fig. 11**). De forma general en todo el perfil, las arenas y limos componen el 90% del suelo y las arcillas un 10%. La proporción de las arenas y limos varía según la profundidad, encontrándose en una proporción más reducida de los 30 a los 85 centímetros. Mientras que las arcillas se encuentran especialmente en baja proporción de 0 a 10, de 225 a 250 y de 300 a 325 centímetros. Generalmente en el perfil, tras realizar la media de sus proporciones por profundidad (6,3% arcillas, 49,4% limos y 44,3% arenas), el análisis de su permeabilidad gracias al diagrama triangular (**Fig. 11**) resulta en un suelo de clase 4, es decir, moderadamente lento o francoarenoso según la clasificación textural de acuerdo a la USDA (FAO, s.f.), lo que corresponde a una permeabilidad de 0,5 a 2 cm/h (López, 1998). Se puede decir que la permeabilidad de los materiales del suelo de la laguna del Martillo es baja y por tanto se favorece la retención superficial del agua en la laguna.

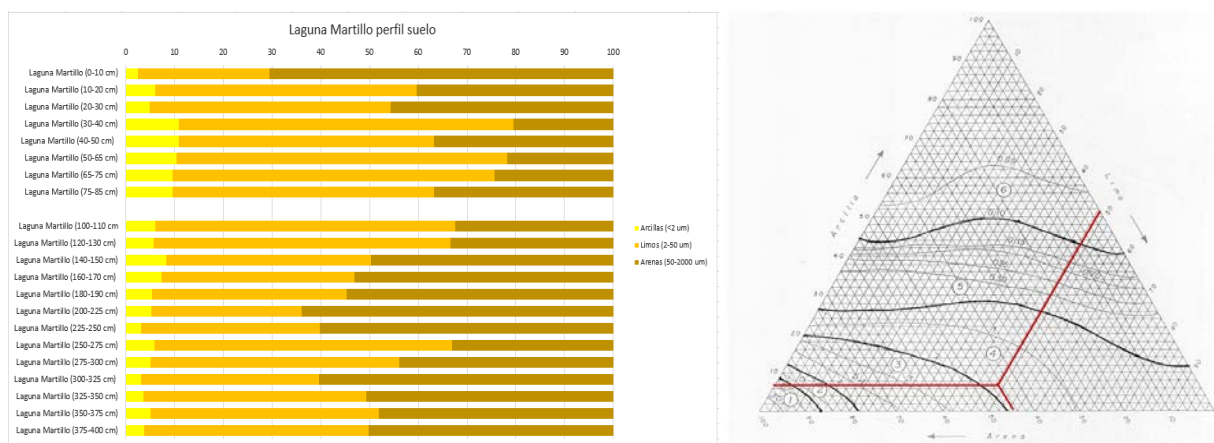


Figura 11. Gráfica y diagrama de la granulometría analizada de la laguna del Martillo en porcentajes.

Por otra parte, en cuanto al pH, el suelo de la laguna del Martillo adquiere valores de pH neutros y básicos de entre 6,9 y 8,5 tal y como vemos en la **figura 12**. El carácter más neutro se presenta a una profundidad de 30-40 cm y 50-65 cm igualmente. El carácter más básico se da a la profundidad de entre los 75 y los 110 cm y los 200-225 cm. Por otro lado en cuanto a la CE, se observa una alta variabilidad de entre 74,2 y 1290 µS/cm. La menor conductividad se presenta en los primeros centímetros de suelo, hasta los 30 centímetros. Mientras que el más alto rango se encuentra de los 50 a los 110 cm.

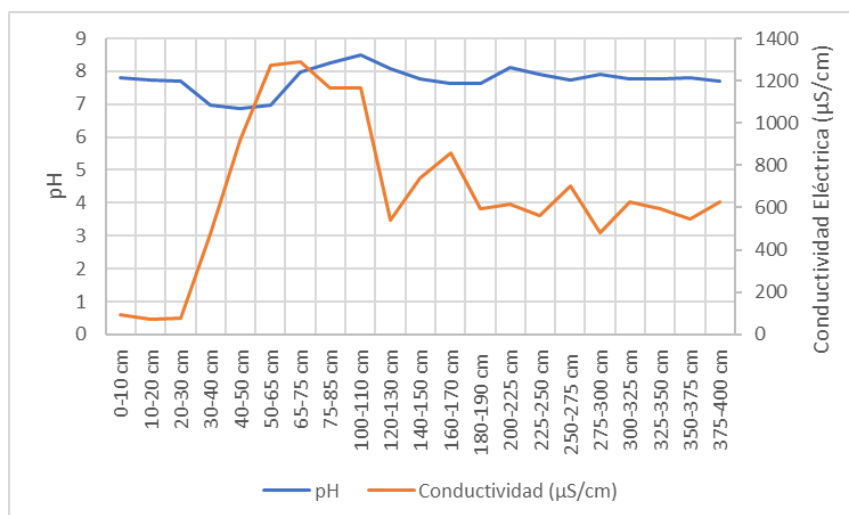


Figura 12. Valores de pH y CE determinados en el perfil de suelo de la laguna del Martillo.

3.3. Estudio morfológico de las lagunas

Para el estudio de la morfología de las lagunas, se han realizado mapas con las curvas de nivel por cada 10 cm de profundidad para cada laguna (**Figs. 13 a 24**). En los mapas las distintas curvas de nivel se han representado en una escala de colores de verde a rojo, donde el verde es la más baja y rojo la más alta, mientras que el resto de curvas de nivel fuera de la cubeta se han dibujado en un color uniforme. Las lagunas se incluyen en dos modelos digitales del territorio (MDT) diferentes, por un lado las lagunas más al norte de la zona de estudio en el MDT02-ETRS89-HU29-1000-3-COB2 y las lagunas más al sur en el MDT02-ETRS89-HU29-1017-1-COB2.

Para la laguna Redonda (**Fig. 13**), el perímetro de su vaso lagunar coincide con la curva de nivel de 57,9 msnm. Su cubeta se encuentra entre los 57,4 y 57,9 metros, teniendo sólo 50 cm de profundidad. Las curvas de nivel se ven muy próximas en el límite del vaso lagunar. Sin embargo, esto sólo representa 40 cm de desnivel. En el centro se observa una gran zona con una altura de 10 cm menor a las demás curvas. Por tanto, con estos datos se puede concluir que esta laguna no tiene una profundidad acusada, sino que es bastante somera. En cuanto a los datos de inundación (**Tabla 1**), la máxima inundación observada en la laguna fue de 13 cm (21/12/2022) lo que indica que sólo una mínima parte de su superficie se inundó en el año 2022/23. En la figura, no se observa vegetación terrestre dentro de su vaso lagunar.

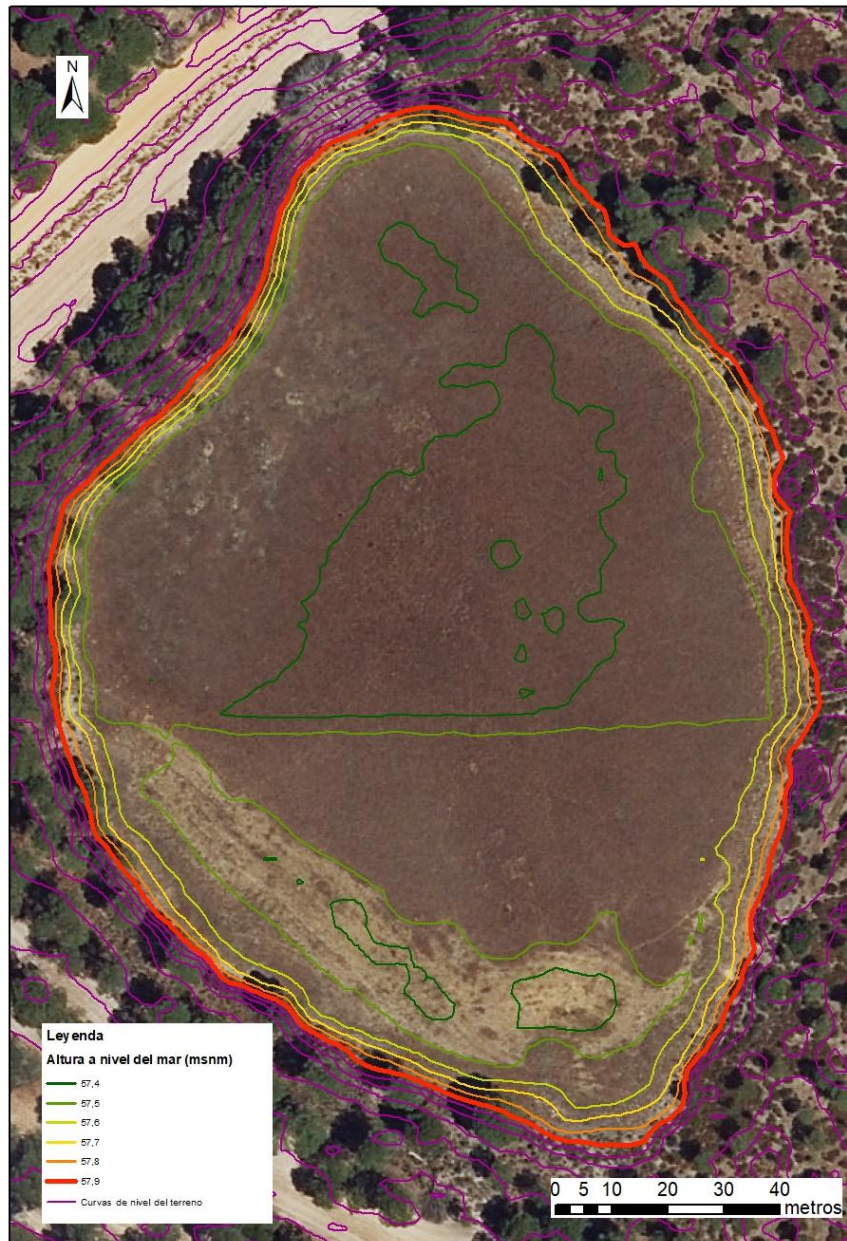


Figura 13. Mapa de la morfología de la laguna Redonda.

En la laguna del Martillo (**Fig. 14**) se observa que el perímetro del vaso lagunar se encuentra a 55,1 msnm (representado por la línea naranja más exterior). Entre la curva más alta y la curva más baja, situada en el zacallón más profundo, existen 2,2 m de altura. De manera que la laguna se halla entre 52,9 y 55,1 msnm. Existen dos zonas concretas especialmente profundas con respecto a otras zonas de la laguna que corresponden con el lugar de los zacallones realizados artificialmente. El más pequeño de ellos llega hasta los 53,9 m en color verde claro, mientras que el otro alcanza la mínima curva de 52,9 m. Dentro del vaso lagunar se observa también una zona que conforma un montículo elevado por encima de la curva del vaso, alcanzando los 55,9 m. Según Navarro (2022) su origen debe estar ligado a la excavación del zacallón, por lo que no es natural. También se observan otras estructuras al suroeste de la cubeta que deben ser antrópicas. En cuanto a los datos de inundación (**Tabla 1**), los zacallones de la laguna permanecieron inundados al menos hasta el 30 de marzo, pero el resto de la laguna se mantuvo seca en todas las visitas. En la figura, no se observa vegetación terrestre dentro de su vaso lagunar.

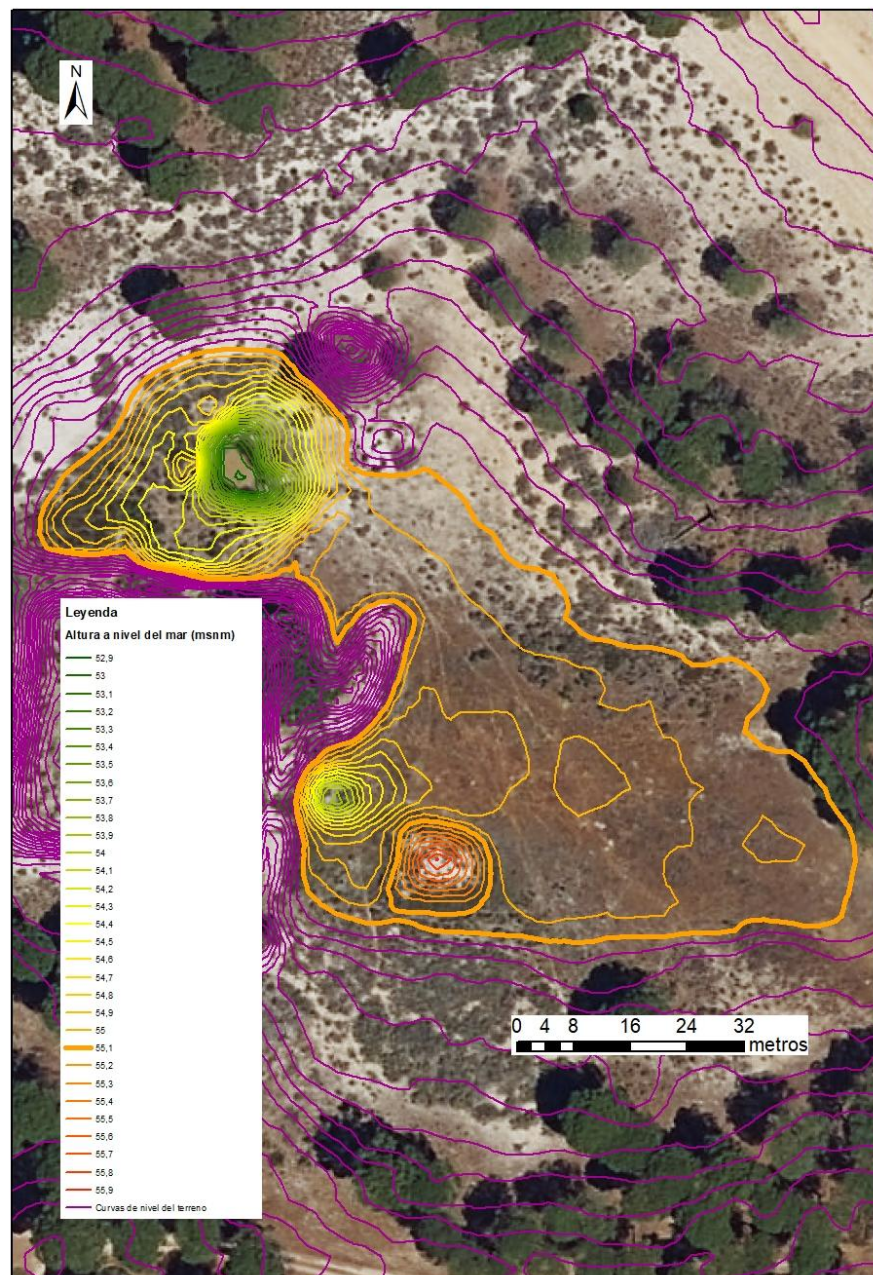


Figura 14. Mapa de la morfología de la laguna del Martillo.

Para la laguna de Valluncosa (**Fig. 15**), el perímetro de su vaso lagunar está a una curva de altitud de 49,1 msnm. Desde su curva más alta o perímetro (49,1 msnm) hasta su curva más baja (48,5 msnm) en su parte este, existe un desnivel de 60 cm lo que define la profundidad de su cubeta. Al oeste de su cubeta se observan dos depresiones de pequeño tamaño. Es una laguna somera. La forma de esta laguna es bastante uniforme. La máxima y única inundación observada en la laguna fue de 12 cm (**Tabla 1**; 21/12/2022) lo que indica que sólo una mínima parte de su superficie se inundó en el año 2022/23. En la figura, no se observa vegetación terrestre dentro de su vaso lagunar.

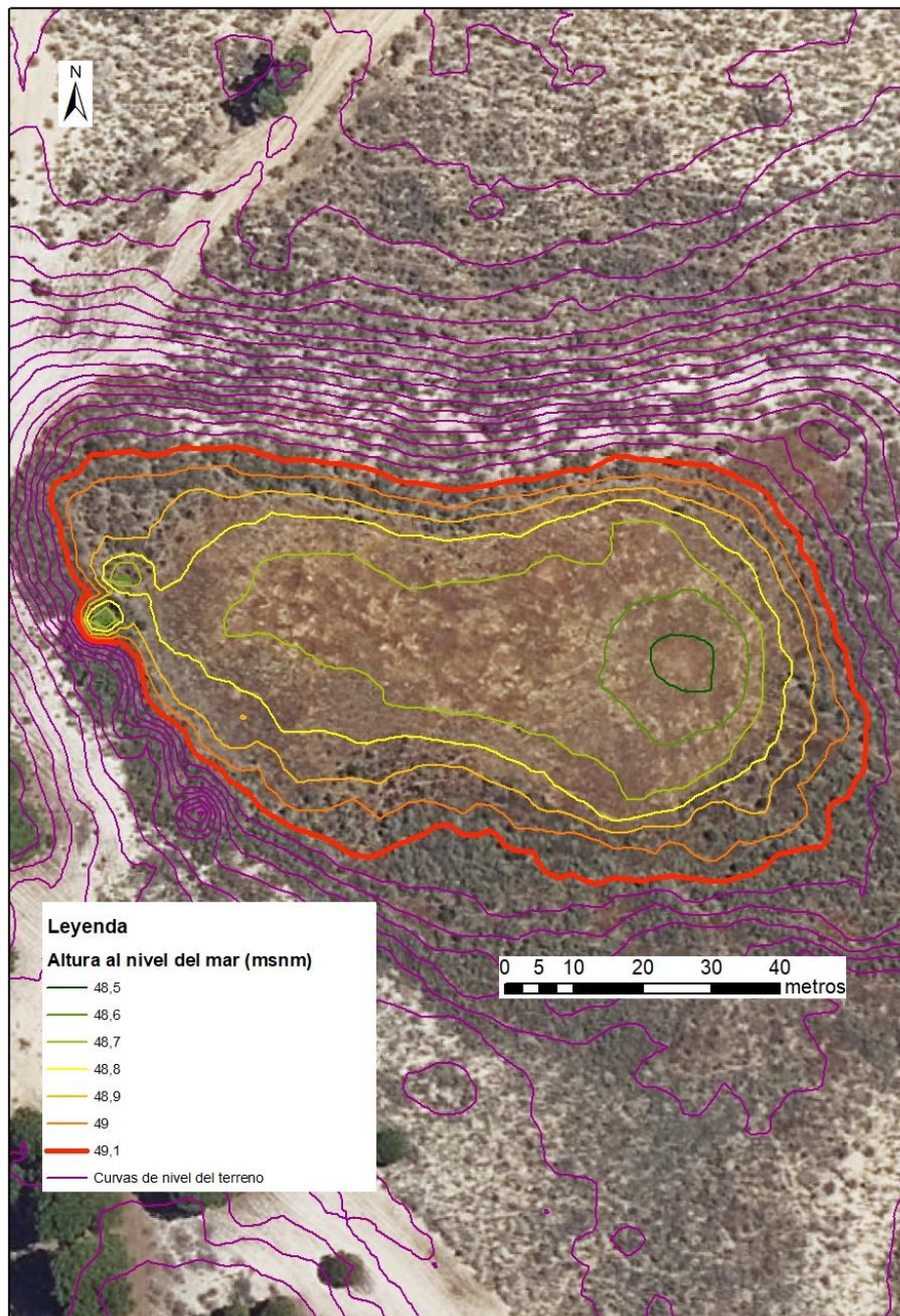


Figura 15. Mapa de la morfología de la laguna de Valluncosa.

En la laguna del Caballo (**Fig. 16**), el perímetro del vaso lagunar se encuentra a 51 msnm. Se observa que su cubeta no tiene mucha profundidad. De manera que se encuentra entre los 51 y 49,7 msnm. Es decir, entre la curva más alta y la curva más baja solo existen 30 cm de diferencia, por lo que se puede decir que la laguna es somera. Las partes más profundas están situadas al suroeste en lo que parecen ser unos pequeños zacallones artificiales. El borde oeste de esta laguna está definido por una pista de dirección SO-NE, que marca el límite del Parque Natural de Doñana. La laguna estaba inundada el 21 de diciembre de 2022 (**Tabla 1**), sin embargo no se pudo obtener el dato de la profundidad. Sólo una mínima parte de su superficie se inundó en el año 2022/23. En la figura, se observa vegetación terrestre dentro de su vaso lagunar.

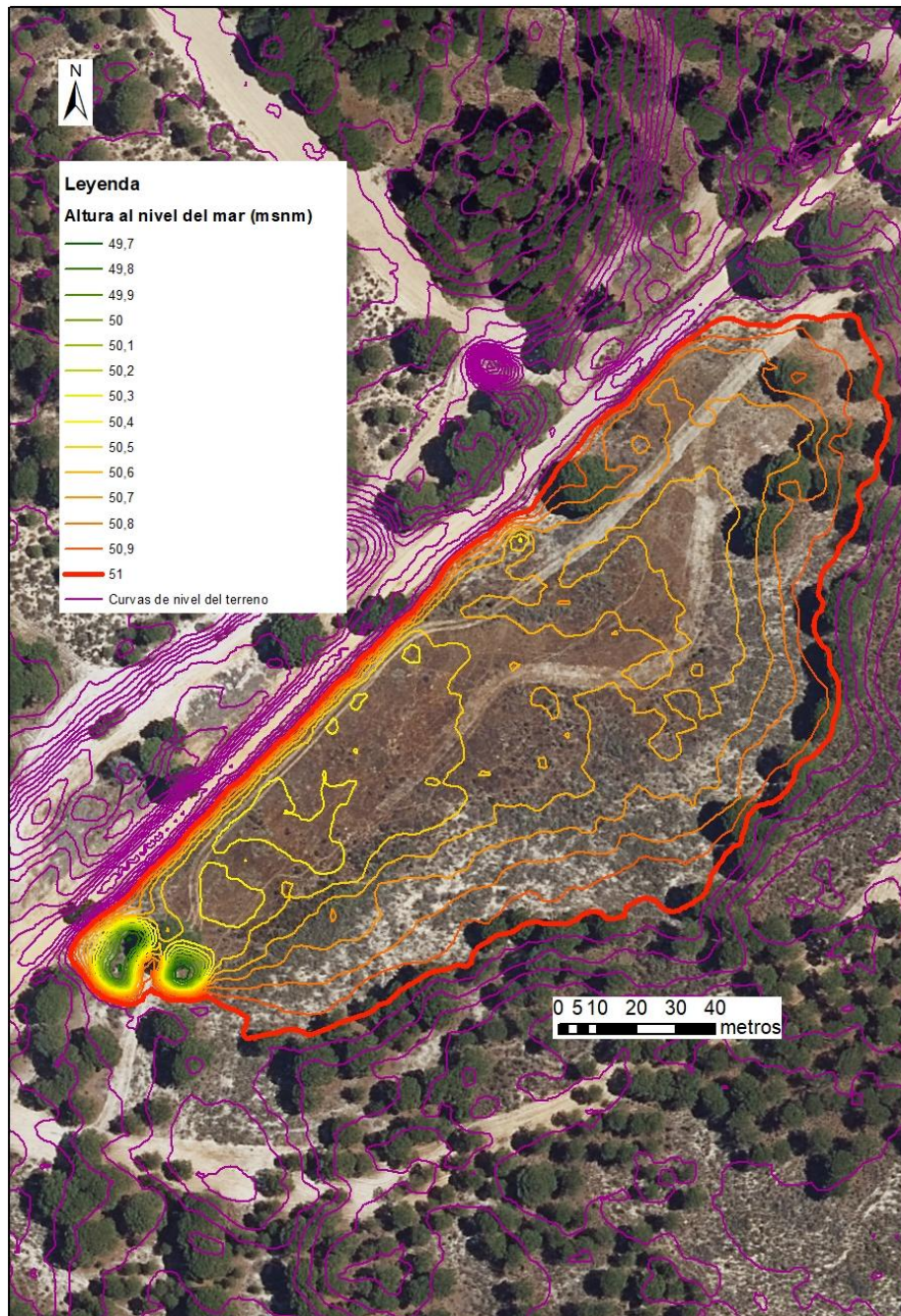


Figura 16. Mapa de la morfología de la laguna del Caballo.

Para la laguna del Conejo (**Fig. 17**), el perímetro de su vaso lagunar se sitúa en los 51,4 m. Entre la curva más alta y la curva más baja solo existe una diferencia de 40 cm por lo que también tiene una cubeta bastante plana o lo que es lo mismo, no tiene profundidad. La zona más baja se encuentra en el centro de su vaso lagunar representado en verde oscuro en la figura. Destaca en la morfología de esta laguna, la irregularidad de su vaso, encontrando dentro de su cubeta numerosas depresiones y montículos de forma dispersa. El vaso lagunar está atravesado por un camino de arena que afecta a su conservación. En cuanto a los datos de inundación (**Tabla 1**), la laguna solo se encontró inundada el 21 de diciembre de 22, sin embargo no se pudo obtener el dato de la profundidad. Sólo una mínima parte de su superficie se inundó en el año 2022/23. En la figura, se observa posible vegetación terrestre dentro de su vaso lagunar.

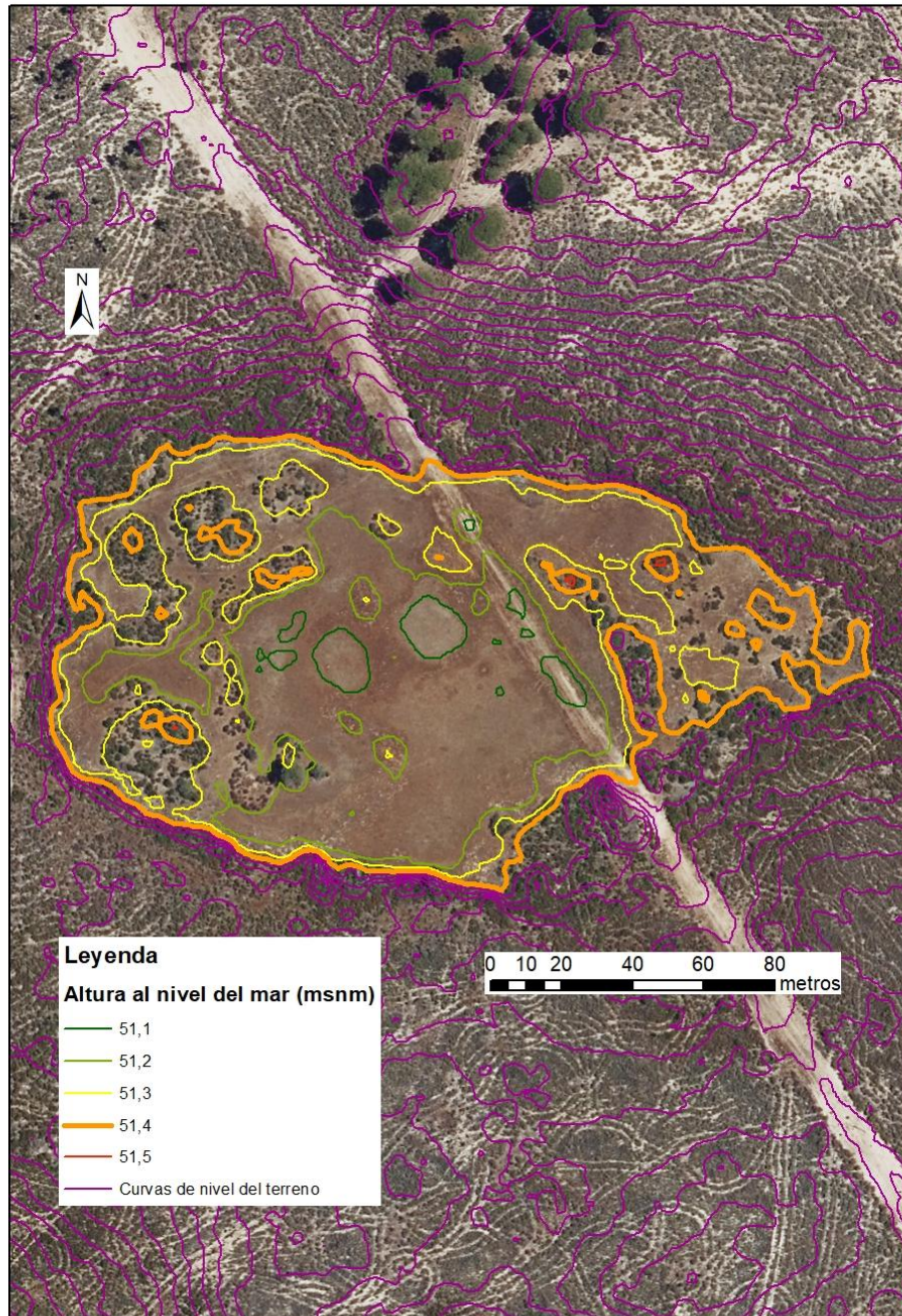


Figura 17. Mapa de la morfología de la laguna del Conejo.

En cuanto a la laguna de Moguer 1 (**Fig. 18**), la curva que define su vaso lagunar se sitúa en los 59,7 msnm suponiendo su curva más alta. Sus curvas de nivel se comprenden entre los 59,7 y 59,5 metros sobre el nivel del mar. Por lo que la laguna alcanza solo los 20 cm de profundidad. Esta laguna es por tanto, muy somera y con pocas irregularidades en su vaso lagunar. La máxima inundación observada en la laguna fue de 37 cm (**Tabla 1**; 21/12/2023), suponiendo una de las lagunas con mayor periodo de inundación, sin embargo, el agua en superficie sólo abarcó una mínima parte de su extensión en el año 2022/23. En la figura, no se observa vegetación terrestre dentro de su vaso lagunar, sin embargo, tras las observaciones de campo se puede determinar que si existe una zona pequeña de este tipo de vegetación.

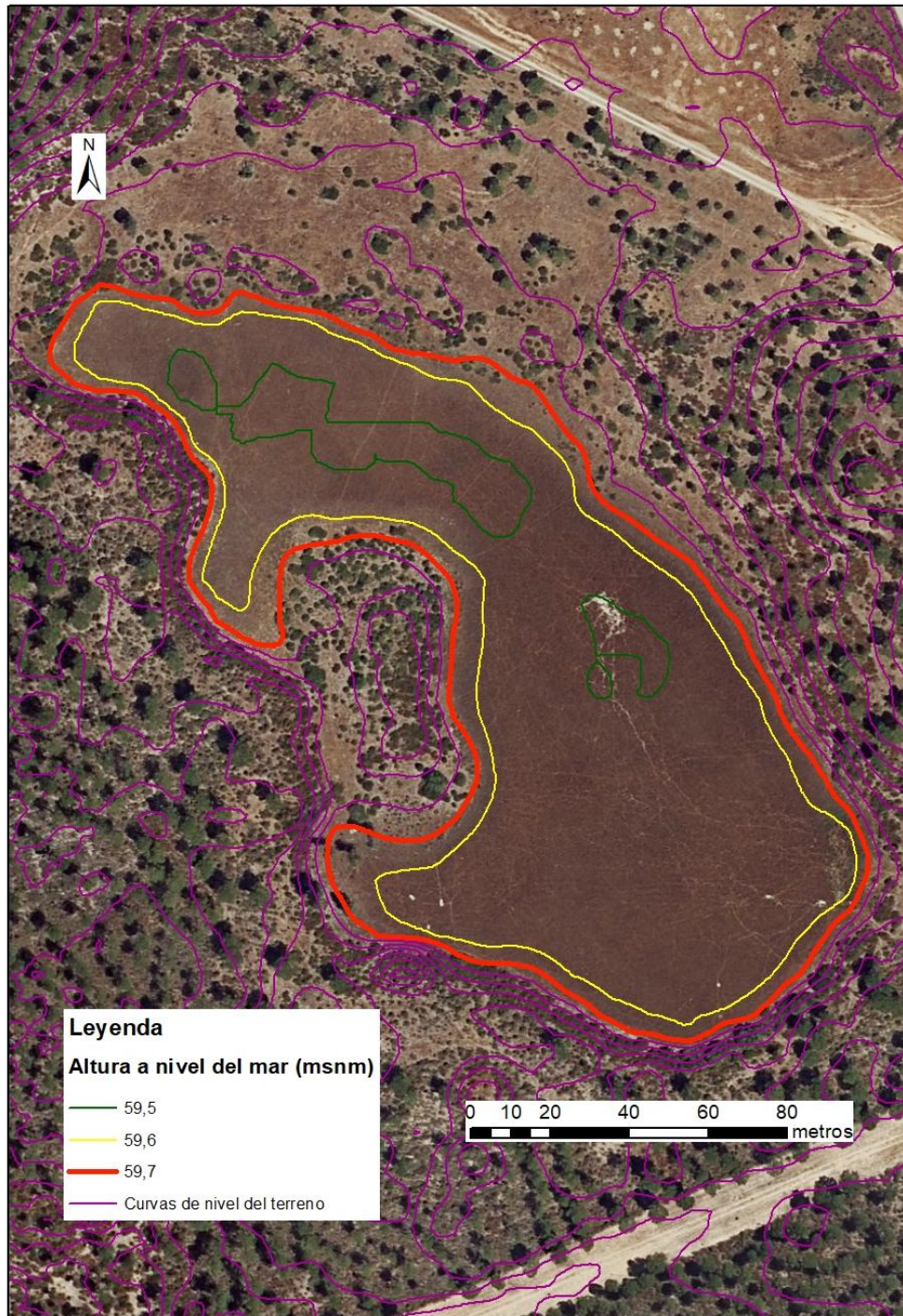


Figura 18. Mapa de la morfología de la laguna de Moguer 1.

Con respecto a la laguna de Moguer 2 (**Fig. 19**), el perímetro de su vaso lagunar se encuentra a los 59,1 msnm, siendo su curva más alta. Las curvas de nivel se encuentran entre los 59,1 y los 58,7 metros, de forma que la laguna tiene una profundidad de 40 cm. En el centro de su cubeta existen dos alturas diferenciadas solo por 10 centímetros. La zona noroeste se encuentra a 58,9 msnm, mientras que la zona sureste se encuentra a 59,9 msnm. No existen zonas de mayor profundidad dentro del vaso. En la figura, no se observa posible vegetación terrestre dentro de su vaso lagunar.

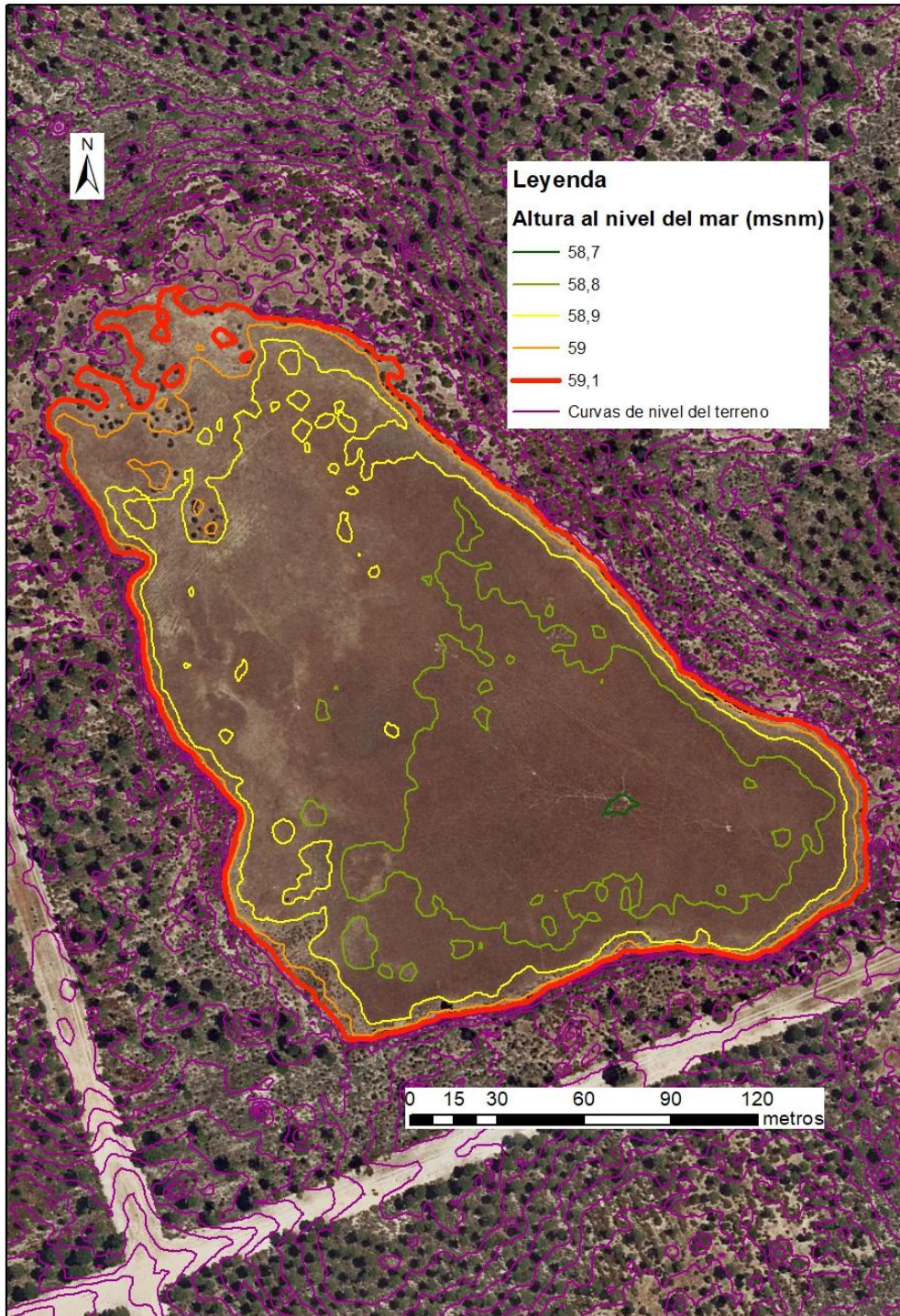


Figura 19. Mapa de la morfología de la laguna de Moguer 2.

Para la laguna Sin Nombre 1 (**Fig. 20**), el perímetro de su vaso lagunar se encuentra a los 49,7 msnm. En su cubeta solo se encuentran 4 curvas de nivel. La laguna se encuentra entre los 49,7 y 49,4 msnm. La profundidad de su cubeta es de 30 cm, también es una laguna somera. A través de su vaso discurre un camino de arena, lo que influye en su conservación. En su cubeta no se observan zonas de gran profundidad, sin embargo sí se observa una zona levemente deprimida, que se corresponde a la localización de una pista que corta la laguna al noreste de la laguna. La máxima y única inundación observada en la laguna fue de 6 cm (**Tabla 1**; 21/12/2022), pero sólo una mínima parte de su superficie se inundó en el año 2022/23. En la figura, no se observa vegetación terrestre dentro de su vaso lagunar.

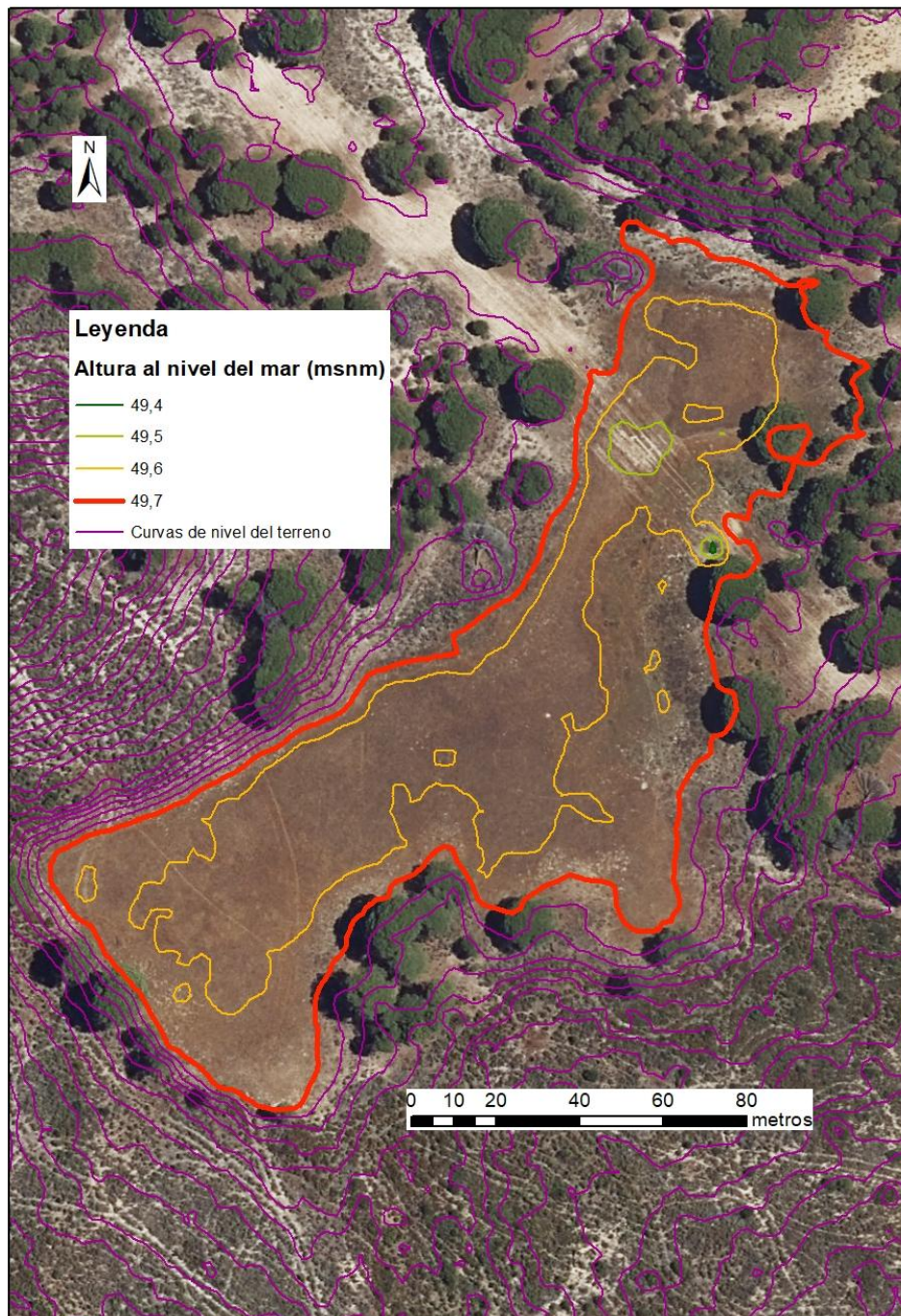


Figura 20. Mapa de la morfología de la laguna Sin Nombre 1.

En cuanto a la laguna Grande de las Turmas (**Fig. 21**), se puede apreciar que el perímetro se sitúa en los 56,2 m y la curva de nivel más baja en 54,3 msnm, teniendo una profundidad 1,9 m. Las mayores altitudes conforman un conjunto de pinos al noroeste del vaso lagunar. La morfología de la laguna es muy irregular, lo indica la gran cantidad de curvas de nivel dentro del vaso lagunar. Gracias a la ortofoto de máxima actualidad, se observa que el vaso lagunar está siendo colonizado casi por completo por vegetación terrestre, concretamente por una gran cantidad de pinos. Por lo que, en la figura, se observa numerosa vegetación terrestre dentro de su vaso lagunar. La laguna no se ha encontrado inundada en el año hidrológico 2022/2023 (**Tabla 1**).

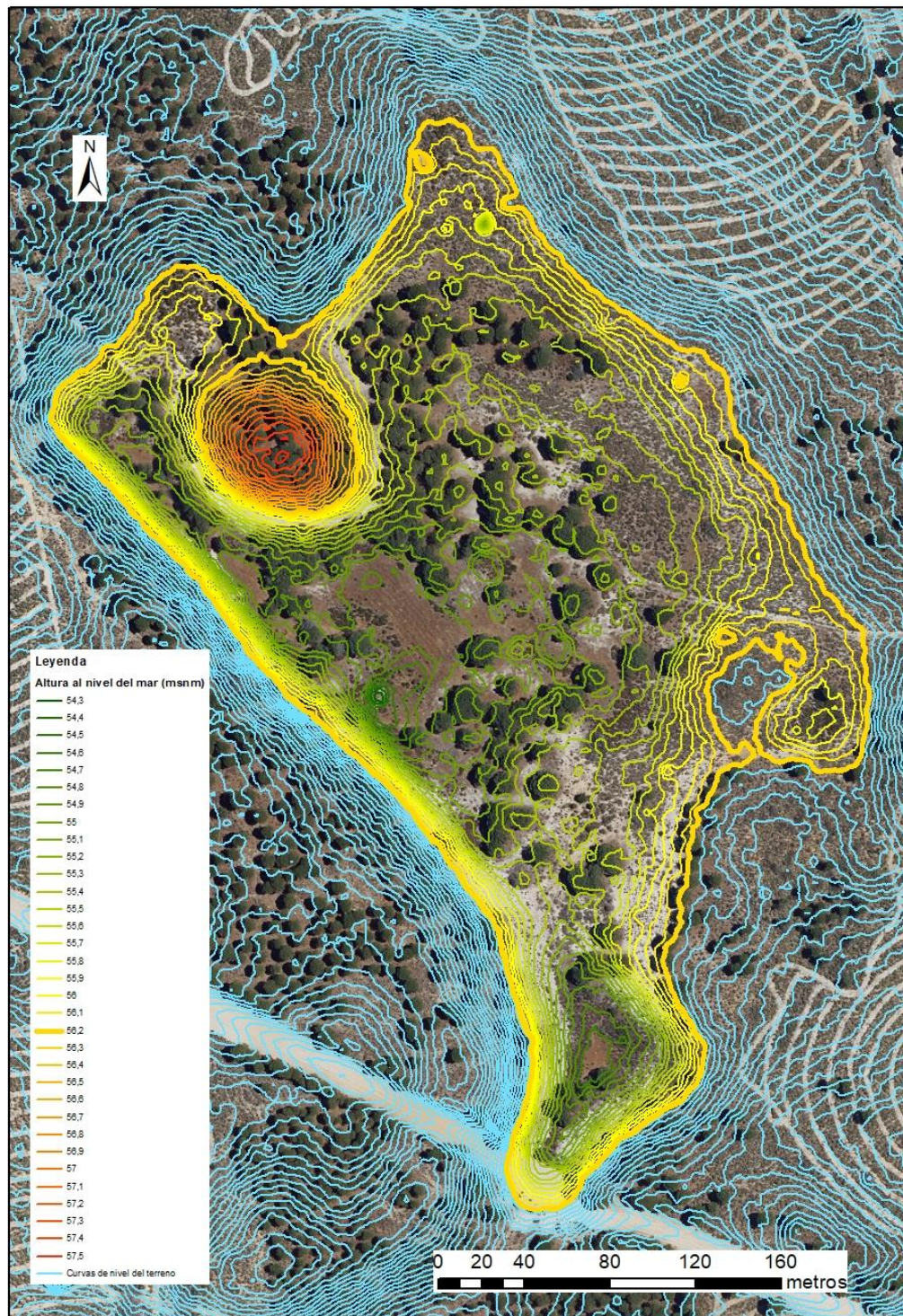


Figura 21. Mapa de la morfología de la laguna Grande de las Turmas.

Para la laguna de los Cinco Pinos (**Fig. 22**), el perímetro del vaso lagunar es su máxima curva encontrándose a 53,9 msnm. Su cubeta tiene una profundidad de 80 cm, es una laguna somera. Sin embargo, su cubeta solo contiene tres curvas de nivel, desde los 53,9 hasta los 53,6 msnm. El resto de curvas se encuentran en una zona de mínimo tamaño al suroeste de la laguna. Dentro de la cubeta no se encuentran demasiadas irregularidades en el terreno, sin embargo se encuentran pinos jóvenes y vegetación terrestre en crecimiento. El vaso lagunar está atravesado por un camino de arena en su límite noreste que afecta a su conservación. La laguna se ha encontrado inundada el 21 de diciembre de 2022, sin embargo no se ha podido medir su profundidad (**Tabla 1**). Esta inundación solo ha sido una mínima parte de su superficie en el año 2022/2023. En la figura, no se observa vegetación terrestre dentro de su vaso lagunar, sin embargo, tras las observaciones de campo se puede determinar que si existe este tipo de vegetación.

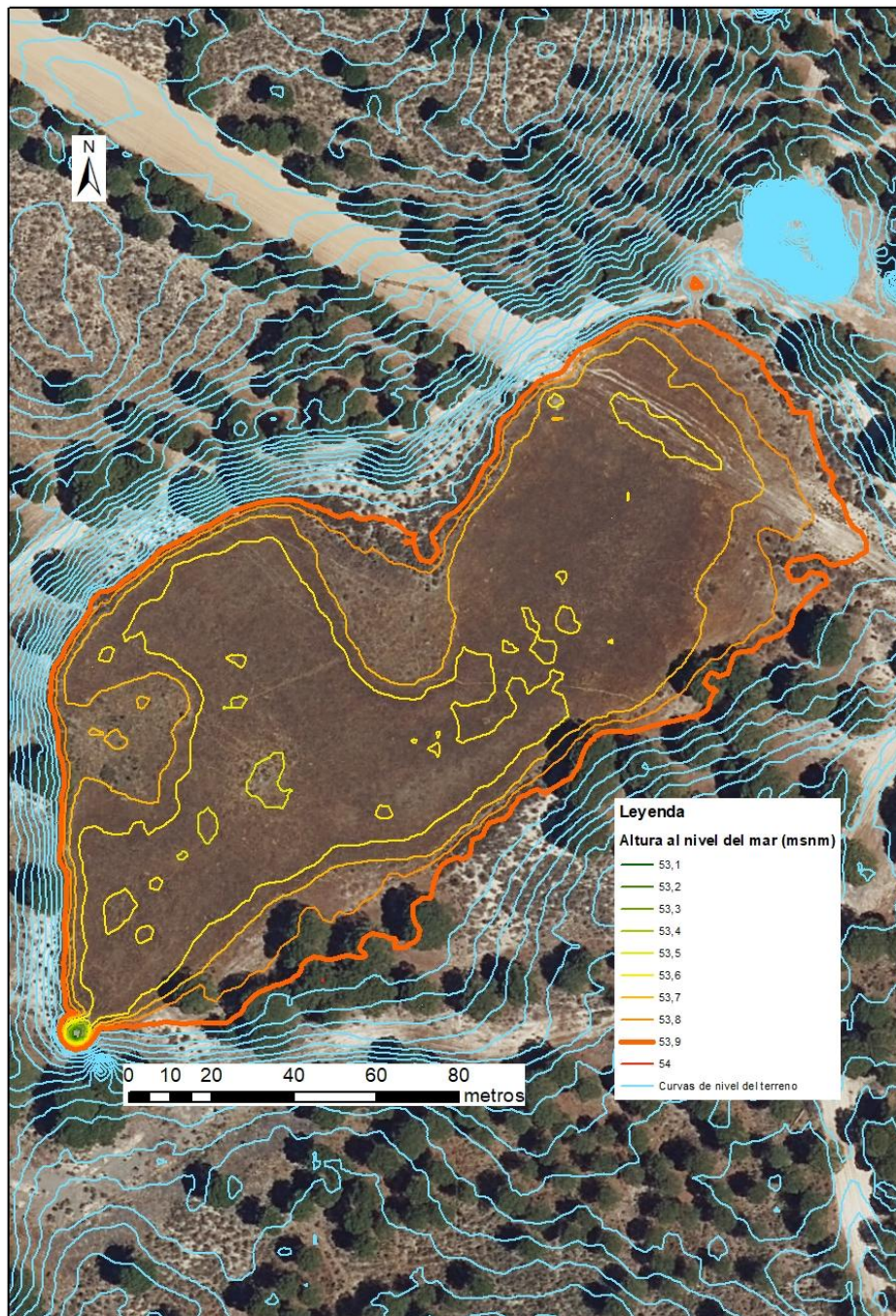


Figura 22. Mapa de la morfología de la laguna de los Cinco Pinos.

En cuanto a la laguna de Pozo Candiles (**Fig. 23**), el perímetro de su vaso lagunar se sitúa a 52,4 msnm, siendo su máxima curva. En su cubeta se encuentran numerosas curvas de nivel y muy próximas, lo que indica una profundidad muy acusada. La profundidad se adquiere hacia el centro, de forma que la curva más alta se encuentra en el borde de su cubeta con 52,4 msnm y la curva más baja se encuentra a los 49 msnm. De forma que la laguna tiene una profundidad de 3,4 m. Esta laguna se observa excavada siendo la razón por la que tiene una profundidad mucho mayor al resto. La morfología de su cubeta es bastante homogénea. La laguna no se ha encontrado inundada en el año hidrológico 2022/2023 (**Tabla 1**). En la figura, se observa vegetación terrestre dentro de su vaso lagunar.

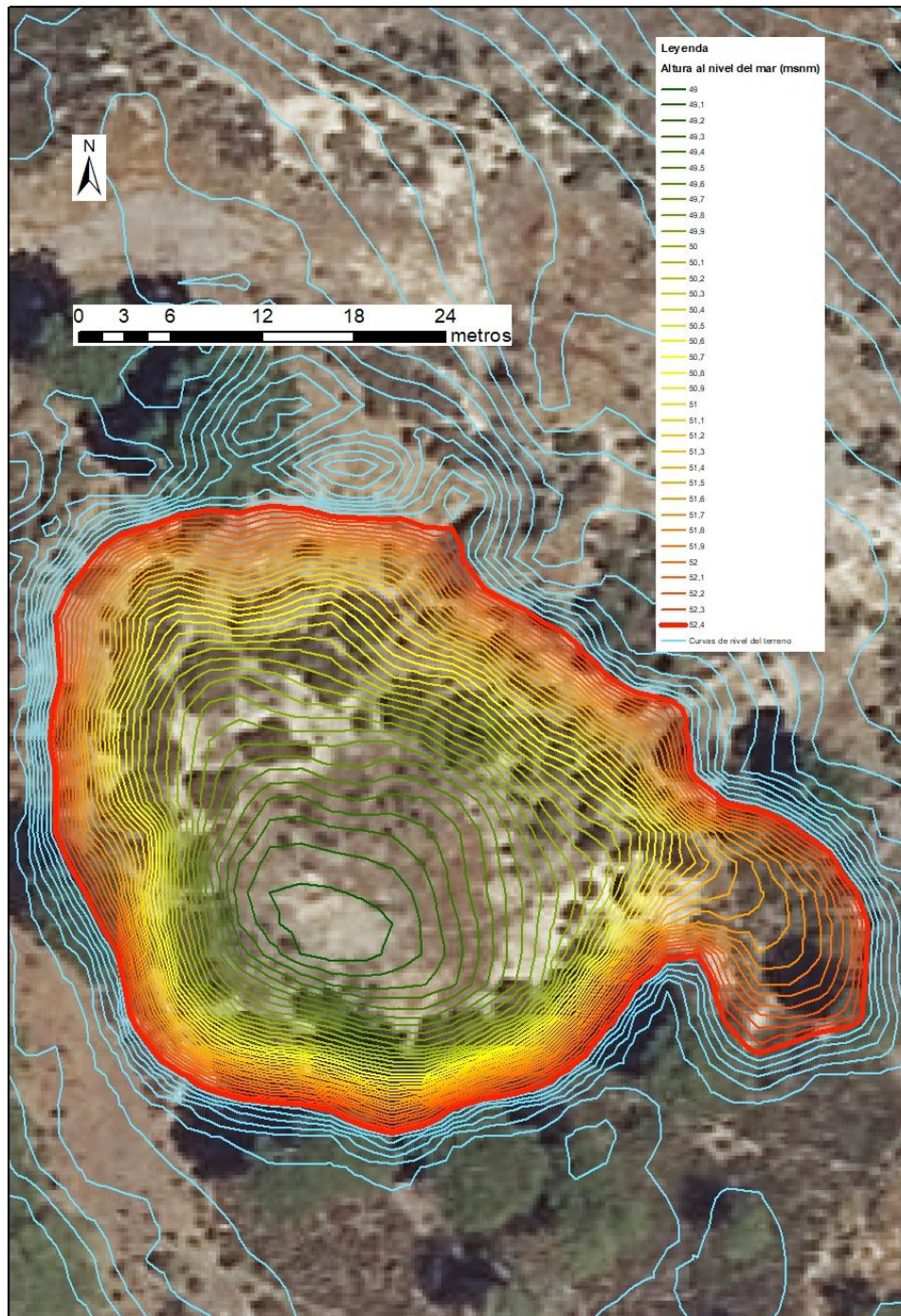


Figura 23. Mapa de la morfología de la laguna de Pozo Candiles.

Por último, con respecto a la laguna Sin Nombre 2 (**Fig. 24**), el perímetro de su vaso lagunar se encuentra a 53,8 msnm. Las curvas de nivel se comprenden entre los 53,8 y los 53,2 msnm. De manera que el vaso lagunar solo tiene 60 cm de profundidad. Las curvas de nivel se ordenan de manera progresiva hacia el centro de la laguna. No se observan zonas de altitud o vegetación en el centro de la laguna. La máxima inundación observada en la laguna fue de 10 cm (**Tabla 1**; 21/12/2022), pero sólo una mínima parte de su superficie se inundó en el año 2022/23. En la figura, no se observa vegetación terrestre dentro de su vaso lagunar.

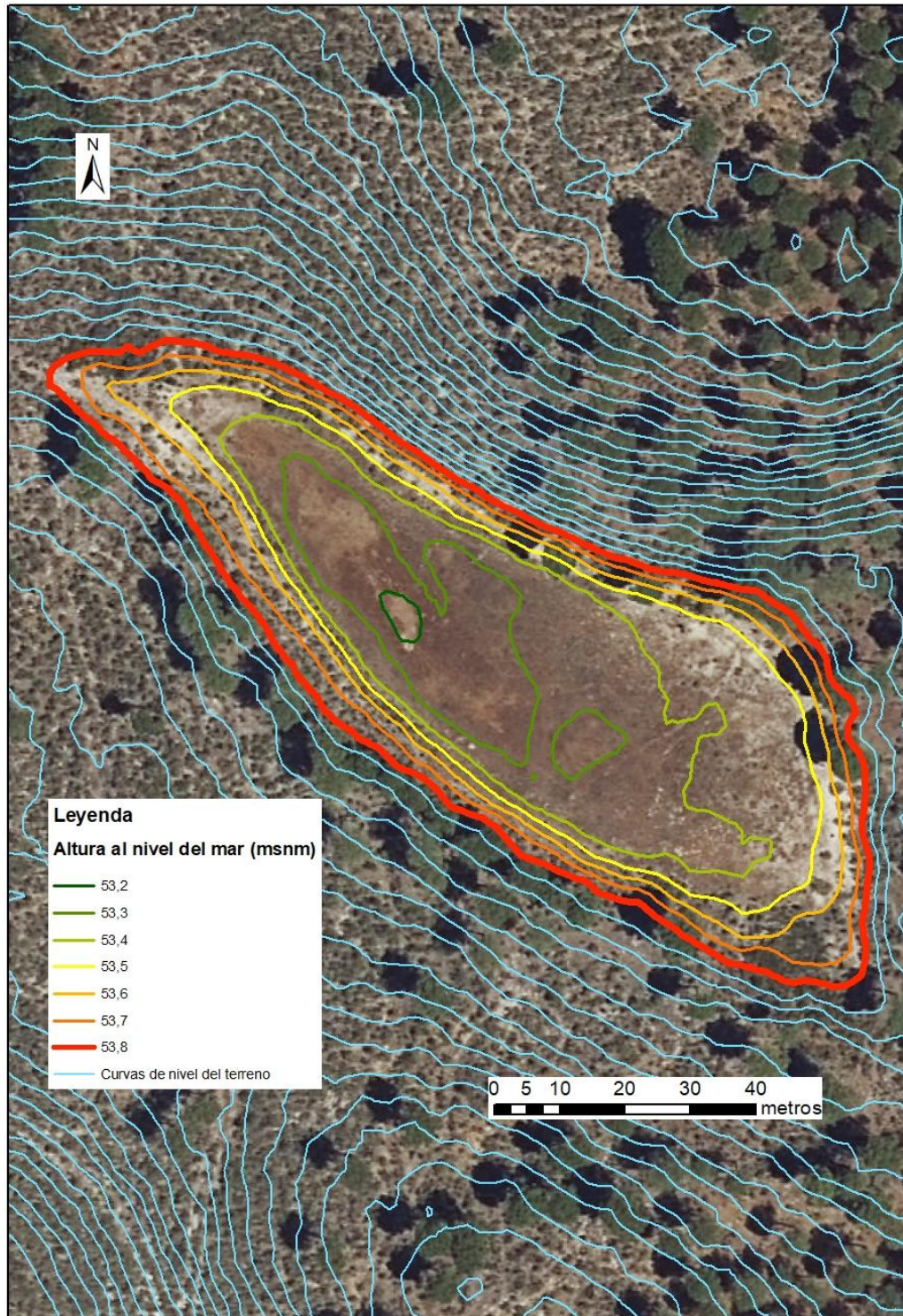


Figura 24. Mapa de la morfología de la laguna Sin Nombre 2.

Por tanto, en cuanto a **profundidad**, se puede decir que las lagunas más profundas del estudio son la laguna de Pozo Candiles (3,4 m), le sigue la laguna Grande de las Turmas (1,9 m) y posteriormente la laguna del Martillo (2,2 m). El resto de lagunas son muy someras, con respecto a las tres anteriormente mencionadas, no llegando a alcanzar un metro de profundidad (entre 0,2 y 0,8 m) (**Tabla 6**). Sin embargo, la profundidad de las lagunas de Pozo Candiles y del Martillo no es natural, su profundidad es mayor de manera artificial. Debe tenerse en cuenta que, estas profundidades al estar analizadas gracias a las curvas de nivel, puede haber cotas sobre el MDT que se sitúen más altas o más bajas del valor de profundidad obtenido. De manera que los datos de profundidad no son exactos, sino estimados mediante curvas de nivel del terreno digitalizadas por cada 10 centímetros.

La **máxima superficie** de las lagunas se ha calculado para poder estimar el volumen máximo de agua que pueden almacenar las lagunas objeto de estudio (**Tabla 6**). No obstante, para la laguna Grande de las Turmas, la laguna del Martillo y en menor medida, la laguna del Conejo, este análisis no es representativo, ya que tienen zonas de mayor altura dentro de su vaso que reduce el máximo volumen de agua que pueden almacenar. Estas zonas pueden ser vegetación terrestre o cúmulos de tierra, que se aseguran para la laguna del Martillo debido a las excavaciones de los zacallones. Para la laguna del Conejo, son dos, de pequeño tamaño y de poca mayor altura que el perímetro lagunar. En cuanto a extensión se puede determinar que las lagunas tienen una alta heterogeneidad de tamaños. En el estudio se engloban lagunas desde la Grande de las Turmas con una superficie de 8,38 hectáreas hasta la de Pozo Candiles que no llega a la hectárea (0,15 hectáreas). Sin embargo, para la mayoría (8 de 12), sus vasos lagunares si que alcanzan la hectárea (**Tabla 6**). Si se comparan estas lagunas con las lagunas del Parque Nacional estas lagunas se pueden considerar pequeñas, teniendo la laguna de Santa Olalla más de 25 hectáreas de superficie actuales (Rodríguez-Rodríguez et al., 2020). También, 3 de las 12 lagunas (El Conejo, Sin Nombre 1 y Cinco Pinos) tienen su superficie afectada por otra causa. Estas están atravesadas por un camino de arena con marcas de ruedas de vehículos. Y por otro lado, las lagunas del Caballo, Moguer 1, Cinco Pinos y Grande de las Turmas tienen vegetación terrestre dentro de su vaso lagunar.

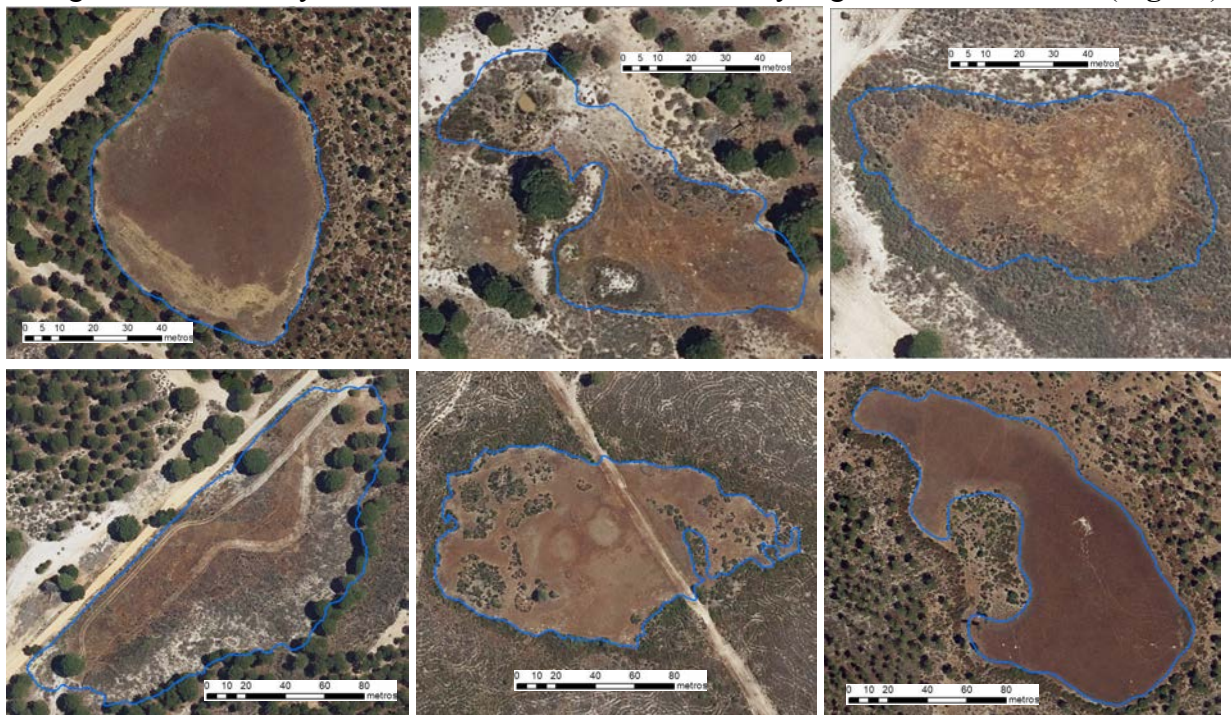
Por otro lado, en cuanto a sus curvas de nivel y **topografía**, las lagunas cuyos vasos lagunares alcanzan la mayor altitud sobre el nivel del mar son las lagunas de Moguer 1 y 2 (59,7 y 59,1 msnm). Por el contrario, las más bajas son la laguna de Valluncosa (49,1 msnm) y la laguna Sin nombre 1 (49,7 msnm). Encontrándose la mayoría por encima de los 50 msnm. El fondo de sus cubetas, sin embargo, está desde los 49,1 hasta los 59,7 msnm. De manera que se sitúan próximas a la altura piezométrica del acuífero libre en la zona (**Fig. 5**). Sin embargo, según los resultados de los parámetros físico-químicos de este trabajo, no existe un aporte de agua subterránea en ninguna de ellas. Según Navarro, esto se debe a que actualmente el agua en el acuífero se encuentra a más de 16 metros de profundidad (Navarro, 2022) debido a su explotación. Es por ello que a pesar de las lluvias, es muy difícil que el acuífero aporte una alimentación de agua a las lagunas.

*Tabla 6. Curvas, profundidades y superficies del vaso lagunar de las lagunas objeto de estudio. El * quiere indicar las lagunas cuya máxima superficie no equivale al máximo volumen de agua que pueden almacenar por desnaturalización de su vaso lagunar.*

Laguna	Curva vaso lagunar (msnm)	Profundidad estimada (m)	Superficie (m ²)
Redonda	57,9	0,5	17.796
El Martillo	55,1	2,2	4.277*

Laguna	Curva vaso lagunar (msnm)	Profundidad estimada (m)	Superficie (m ²)
Valluncosa	49,1↓	0,6	5.662,5
El Caballo	51	0,3	18.479
El Conejo	51,4	0,4	18.666*
Moguer 1	59,7↑	0,2↓	17.192
Moguer 2	59,1	0,4	39.962
SN1	49,7	0,3	13.644
Grande de las Turmas	56,2	1,9	83.788*↑
Cinco Pinos	53,9	0,8	18.070
Pozo Candiles	52,4	3,4↑	1.482↓
SN2	53,8	0,6	5.389

En la figura 25 se muestran los vasos lagunares de las lagunas estudiadas representadas en color azul sobre la ortofoto de máxima actualidad. De esta forma se ve la gran variedad morfológica de las lagunas del estudio y sus diferencias en cuanto a tamaño y vegetación en la cubeta (**Fig. 25**).



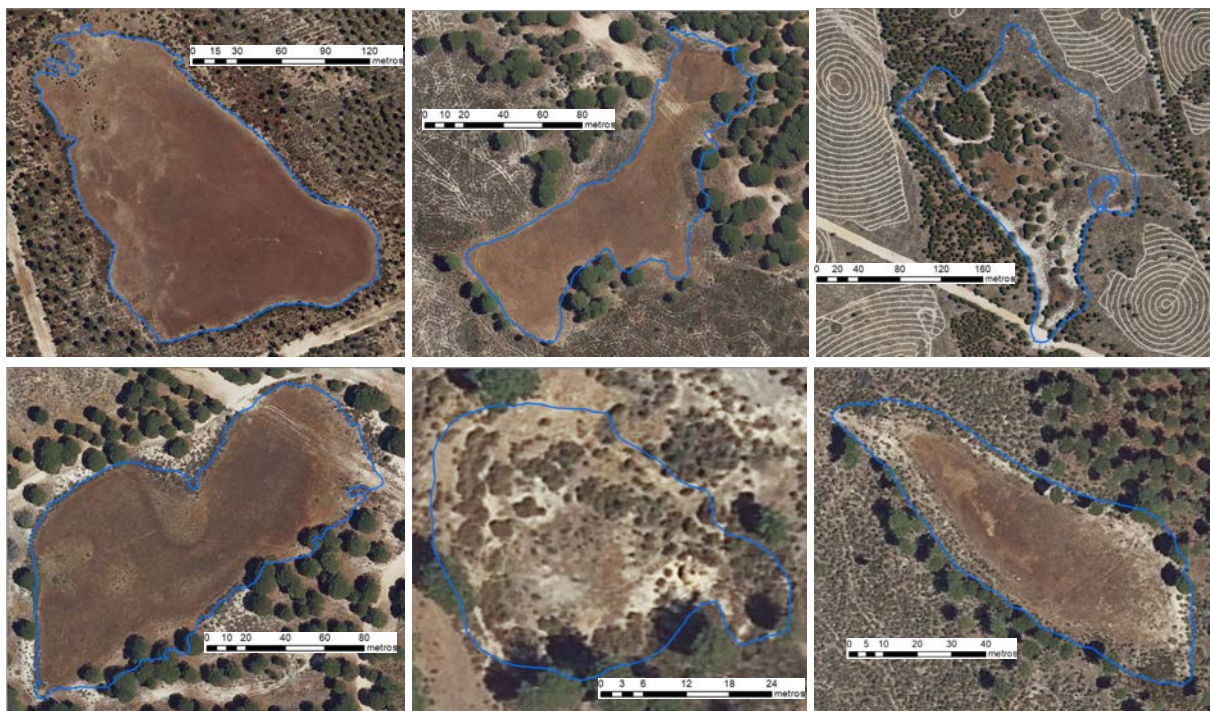


Figura 25. Vasos lagunares actuales de las lagunas del estudio. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Redonda, El Martillo, Valluncosa, El Caballo, El Conejo, Moguer 1, Moguer 2, SNI, Grande de las Turmas, Cinco Pinos, Pozo Candiles, SN2.

3.4. Cartografía de Hábitats de Interés Comunitario

Se ha realizado una cartografía de los hábitats de interés comunitario en las lagunas: Grande de las Turmas, de Moguer 1 y de los Cinco Pinos. Para esta cartografía se ha considerado una zona rodeando a las lagunas o área de influencia de 100 m de ancho tanto para la laguna Grande de las Turmas, como para la laguna de Moguer 1 y de menor tamaño, para la laguna de los Cinco Pinos. En primer lugar, se incluye la representación cartográfica de los Hábitats de Interés Comunitario (HICs), representados para la laguna de Moguer 1, la laguna Grande de las Turmas y la laguna de los Cinco Pinos. Y posteriormente se va a incluir fauna y flora inventariada en campo.

Por un lado, en **la laguna Grande las Turmas** se han definido tres Hábitats de Interés Comunitario (**Fig. 29**). Se encuentran el hábitat 2230 “Dunas con céspedes de *Malcomietalia*”, 2270 “Dunas con bosques de *Pinus pinea* y/o *Pinus pinaster*” y el 3170 “Estanques temporales mediterráneos”. Dentro del área total estudiada (24,45 hectáreas), el hábitat de mayor cobertura ha sido el 2230 (40%) o “pastizal”, le sigue el hábitat 2270 (37,9%) o “pinar” y posteriormente el hábitat 3170 (21,1%). En el año 2022/23 no se ha observado agua superficial en la laguna (**Fig. 26**), tampoco se encontró en el estudio realizado en el año 2021/22, por lo que es difícil determinar vegetación hidrófila (**Fig. 26**). Sin embargo, no se descarta que crezca en años de fuerte precipitación. Aún así, el vaso lagunare se encuentra completamente colonizado por vegetación terrestre a diferencia del resto de lagunas, lo que parece indicar que la laguna lleva años sin inundarse. La arboleda o pinar se ha gestionado y retirado parcialmente, observándose en campo numerosos tocones dentro de su cubeta. No se ha determinado el hábitat 2260, que se corresponde en Doñana al denominado “Monte blanco” (REDIAM, 2020). Sin embargo en campo, se han hallado especies que caracterizan este hábitat como el jaguarzo blanco (*Halimium halimifolium*), el cantueso (*Lavandula stoechas*) (**Fig. 27**), la armeria (*Armeria velutina*) (**Fig. 27**), el tomillo (*Thymus mastichina*) y el jaguarzo amarillo (*Halimium calycinum*). En la ortofoto se observan numerosos signos de tránsito de máquinas lo que puede ser la causa de su indeterminación cartográfica.



Figura 26. Situación de la cubeta de la laguna Grande de las Turmas el 9 de septiembre de 2023.



Figura 27. A la izquierda *Lavandula stoechas* y a la derecha *Armeria velutina* en la laguna Grande de las Turmas.

Asimismo, con respecto al HIC 2230, que ocupa en el mapa la mayor extensión (**Fig. 29**), son características las especies: *Malcolmietalia* o *Cutandietalia maritima*, o de la subalianza *Tuberarienion guttatae* (de *Tuberarietalia guttatae*). También otras especies como *Linaria pedunculata*, *L. munbyana*, *L. tursica*, *Silene littorea*, *S. gracilis*, *Malcolmia triloba*, *M. ramosissima*, *Ononis baetica*, *O. broteriana*, *Hymenocarpos hamosus*, *Maresia nana*, *Loeflingia baetica*, *Hedypnois arenaria*, *Cutandia marítima*, *Rostraria salzmännii*, *Trisetaria duforei*, *Vulpia fontquerana*, *Pseudorlaya pumila*, etc., aunque también aparece *Malcolmia littorea*, con importante cobertura dentro de algunas formaciones. Ninguna de las especies anteriormente mencionadas han sido encontradas en campo. Este inventario se ha realizado en verano y como es característico la vegetación estaba muy seca lo que hace más dificultoso la identificación de especies de pequeño porte. También puede influir que en la zona se ha realizado una gestión de la vegetación (**Fig. 9B**), el tránsito de máquinas o la ocurrencia de incendios, ha podido modificar la vegetación de la zona. En esta laguna se encuentran signos de incendio en la corteza de los pinos (**Fig. 28**). Y pudo ser afectada por el incendio de Peñuelas de 2017 ya que la laguna se encuentra dentro del área de afección (**Fig.1**).



Figura 28. Pino quemado en la laguna Grande de las Turmas. Abajo, rastros de carbón.

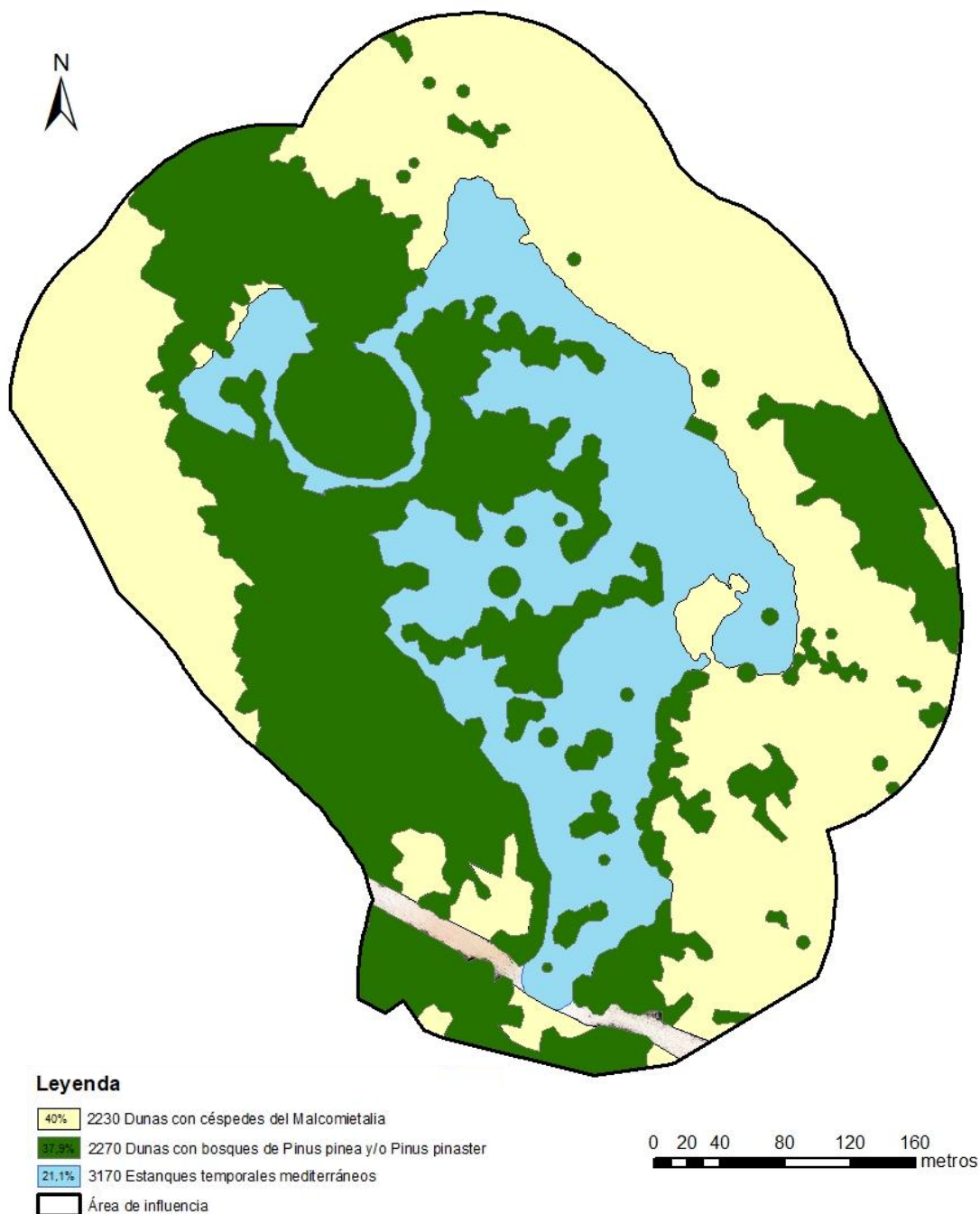


Figura 29. Cartografía de los hábitats de interés comunitario en la laguna Grande de las Turmas.

En cuanto a la **laguna de Moguer 1 (Fig. 33)** se hallan el hábitat 2230 “Dunas con céspedes de Malcomietalia”, 2260 “Dunas con vegetación esclerófila de Cisto-Lavanduletalia”, 2270 “Dunas con bosques de Pinus pinea y/o Pinus pinaster” y el 3170 “Estanques temporales mediterráneos”. Dentro del área total estudiada (11,15 hectáreas), el hábitat de mayor cobertura ha sido el 2270 (45,8%), le sigue el hábitat 2260 (27,1%) y posteriormente los hábitats 3170 (15,4%) y 2230 (9,6%). El hábitat 3170 caracteriza la cubeta de la laguna. Dentro de esta se observa una pequeña zona con vegetación terrestre que corresponde al HIC 2260 (**Fig. 33**). Como se ha obtenido dentro de este trabajo, la laguna de Moguer es la laguna de mayor hidroperiodo de toda la zona de estudio. En la Guía de Identificación de Hábitats de Interés Comunitario en Andalucía se

encuentra que las especies que caracterizan este hábitat en zonas más someras con hidropereodo prolongado son:

- ❖ *Isoetes setaceum* (sinónimo: *I. delilei*), *Lythrum borystenicum* (sinónimo: *Peplis hispidula*), *Eryngium corniculatum*, *Isoetes velatum subsp. velatum*, *Baldellia ranunculoides*, *Pulicaria paludosa*, *Juncus pygmaeus*, *Ranunculus longipes*, *Eryngium corniculatum*, *Mentha cervina* o *M. pulegium*, que conforman distintas comunidades dependiendo de otras características del medio (REDIAM, 2020).

Por tanto, no es de extrañar que en campo, dentro de su cubeta, se haya determinado *Pulicaria paludosa* (Fig. 30), lo que indica que se podrían encontrar las demás especies características.



Figura 30. Fotografía de *Pulicaria paludosa*.

Sin embargo, en el área se encuentran signos de que la zona ha sufrido un incendio, como en los troncos de los pinos. Además, estos pinos son muy jóvenes con respecto al pinar del resto de las lagunas del estudio (Fig. 31). Lo cual podría indicar que son de una reciente reforestación y/o que la zona ha sufrido con más intensidad el incendio. De manera que no se encuentran pinos maduros. La laguna se encuentra dentro del perímetro del incendio de Peñuelas de 2017 (Fig. 1).



Figura 31. Pinar de la laguna de Moguer 1 de *Pinus pinea* y/o *Pinus pinaster* y sotobosque de Monte blanco.

Los incendios en la zona han podido provocar un cambio en la vegetación. La vegetación que se ha inventariado en campo en la zona de influencia son las siguientes especies: *Myrtus communis*, *Halimium halimifolium*, *Phillyrea angustifolia*, *Eucalyptus globulus*, *Cistus salviifolius*, *Pinus pinea*, *Chamaerops humilis* y *Stipa gigantea*. El eucalipto se observa como una especie relictas (Fig. 32), mientras que el jaguarzo blanco (*Halimium halimifolium*) y el jaguarzo morisco (*Cistus salviifolius*) se encuentran muy extendidos. Por último, se encuentran numerosas protecciones con plantas de alcornoque (*Quercus suber*) alrededor de la cubeta de la laguna (Fig. 32), identificadas en el mapa en color naranja (Fig. 33). Esto podría indicar una reforestación que está intentando recuperar la vegetación potencial de la zona, ya que esta corresponde a la Serie climatofila gaditana litoral y penibética meridional silicícola mediterránea pluviestacional oceánica termomediterránea seco superior-subhúmeda de los bosques de *Quercus suber* y *Olea sylvestris* con *Chamaerops humilis* y *Calicotome villosa*. Y como se ha mencionado en este trabajo, García Murillo y Sousa Martín (1997) la describen como la vegetación natural o en origen hasta la primera mitad del siglo XX.

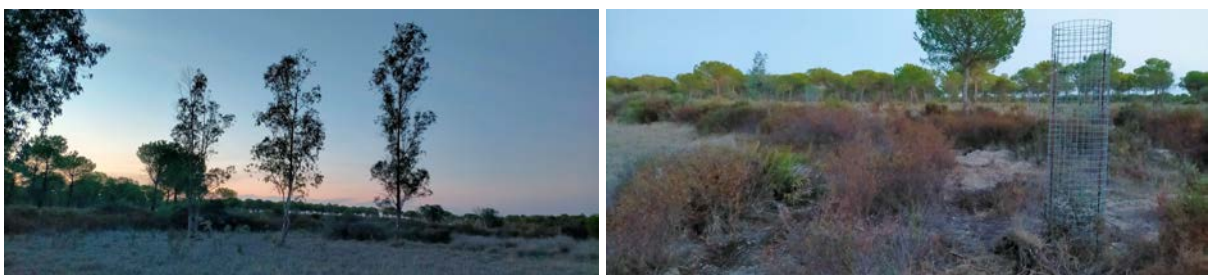


Figura 32. A la izquierda los eucaliptos (*Eucalyptus globulus*) relictos de la laguna de Moguer 1 y a la derecha las protecciones de la reforestación de alcornoque (*Quercus suber*) el 9 de septiembre de 2023.

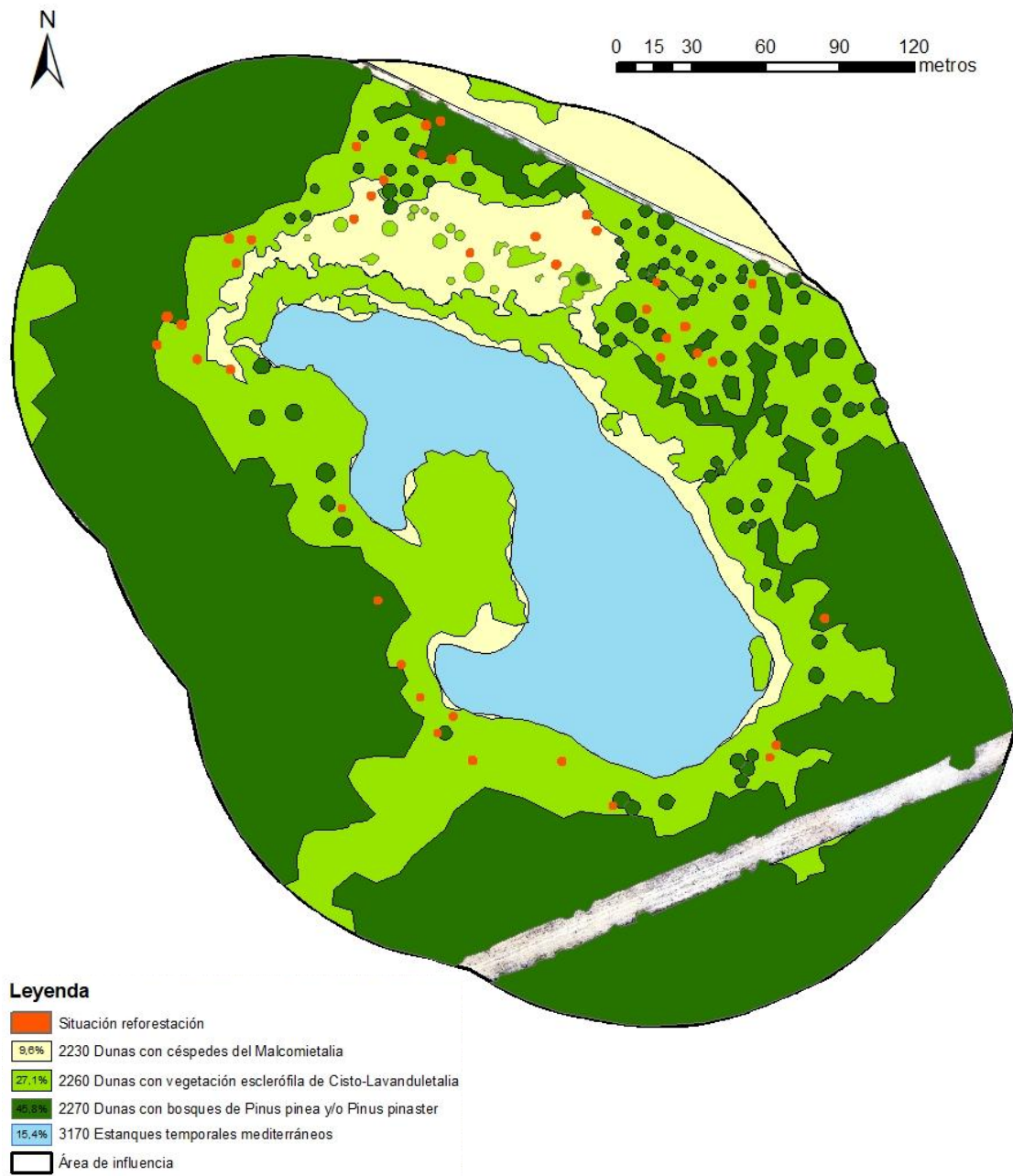


Figura 33. Cartografía de los hábitats de interés comunitario en la laguna de Moguer I.

Por último, en la laguna de los Cinco Pinos se han hallado cuatro HICs (Fig. 37). Estos son el hábitat 2230 “Dunas con céspedes de Malcomietalia”, 2260 “Dunas con vegetación esclerófila de Cisto-Lavanduletalia”, 2270 “Dunas con bosques de Pinus pinea y/o Pinus pinaster” y el 3170 “Estanques temporales mediterráneos”. Dentro del área total estudiada (6,36 hectáreas), el hábitat de mayor cobertura ha sido el 2270 (46,6%), le sigue el hábitat 3170 (23,7%) y posteriormente los hábitats 2230 (16,5%) y 2260 (11,4%). Al igual que en las demás lagunas, el hábitat 3170 se encuentra conformando el vaso lagunar. La figura 34 muestra la vegetación del vaso a finales de marzo (Fig. 34). En campo, en el límite del vaso lagunar se ha hallado *Typha angustifolia*. La



Figura 34. Fotografía de la estaca de la L. Cinco Pinos.

superficie de la laguna se está empezando a colonizar por *Pinus pinea*, *Cistus ladanifer* y *Cistus salviifolius*, que parece marcar su perímetro (**Fig. 35**). Por otro lado, *Halimium halimifolium*, es una especie que encontramos frecuentemente más lejana al vaso. De manera que próxima a este solo se encuentra de manera muy espaciada, encontrándose un individuo cada ciertos metros (**Fig. 35**). Lejos del vaso, se encuentra un matorral principalmente formado por esta especie (**Fig. 36**), lo que conforma el hábitat 2260 “Dunas con vegetación esclerófila de Cisto-Lavanduletalia” o “Monte blanco” y forma el sotobosque del siguiente hábitat.



Figura 35. *Cistus salviifolius* rodeando la laguna de los Cinco Pinos.



Figura 36. Matorral de *Halimium halimifolium* en el área de influencia de la laguna de los Cinco Pinos.

El HIC 2270 o “pinar” también supone en la laguna de los Cinco Pinos el hábitat de mayor extensión (**Fig. 37**), al igual que en la laguna de Moguer 1. Este hábitat se compone de algunas especies acompañantes como son: *Corema album*, *Stauracanthus genistoides*, *Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata*, *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus alaternus*, *Phyllirea angustifolia*, *Asparagus albus*, *Smilax aspera*, *Aristolochia baetica*, *Rubia peregrina*, *Cistus salviifolius*, *Chamaerops humilis*, *Ulex minor*, *Halimium halimifolium*, etc. En campo, la especie *Pinus pinea*, se encuentra principalmente reforestada. Y se han datado otras especies de este hábitat como son *Pistacia lentiscus*, *Phyllirea angustifolia*, *Asparagus albus*, *Chamaerops humilis*, además de las ya mencionadas *Cistus salviifolius* y *Halimium halimifolium* (**Fig. 36**).

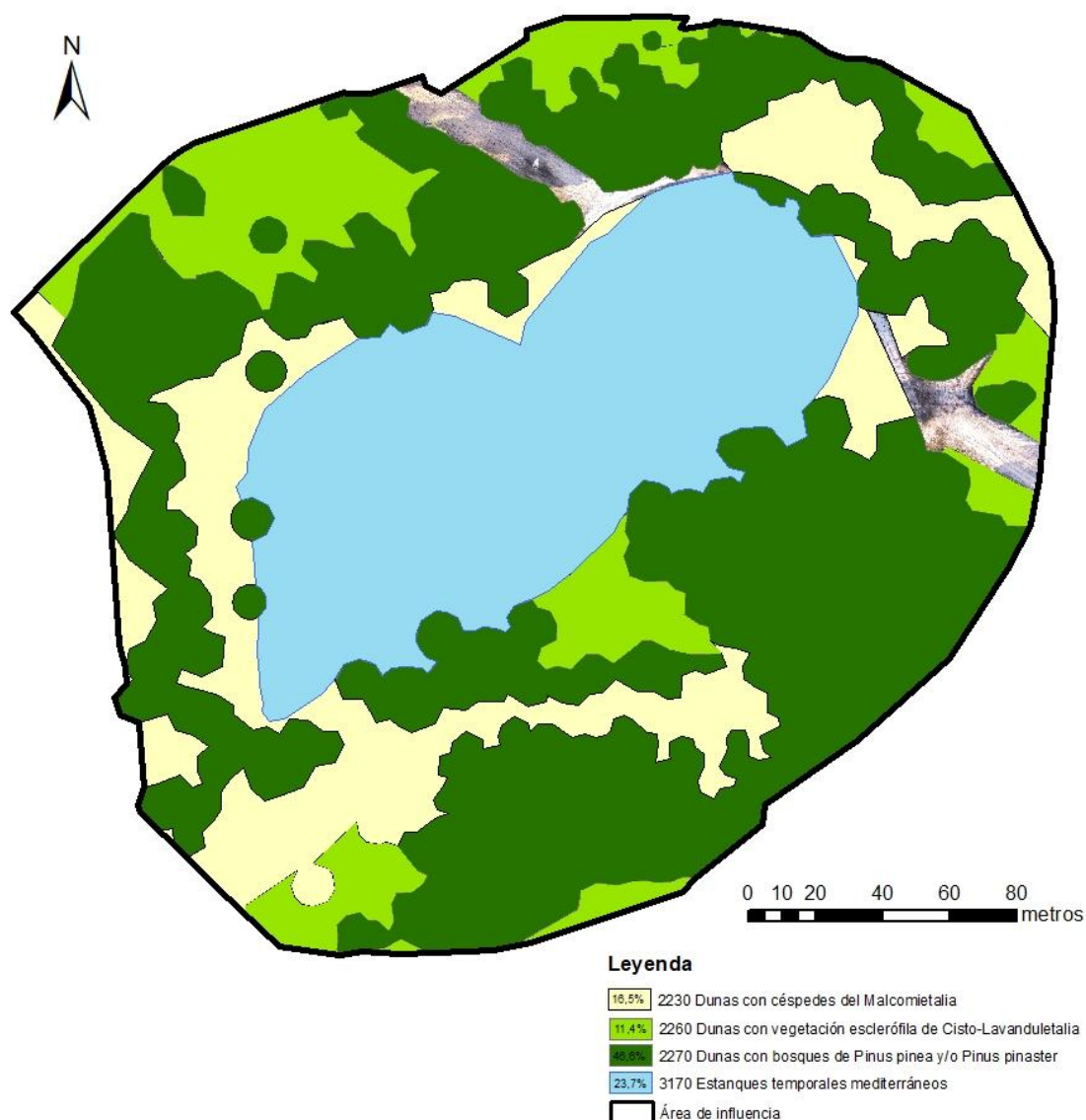


Figura 37. Cartografía de los hábitats de interés comunitario en la laguna de los Cinco Pinos.

En Andalucía, los hábitats que se han caracterizado en las tres lagunas de las cuales se ha realizado la cartografía son catalogados además de importancia comunitaria (HIC), como prioritarios (REDIAM, 2020). El hábitat 2230 y el 2260 se quedarían fuera de esta categorización según los tipos de Hábitat de Interés Comunitario de España (MITECO, s.f.). Esto significa que son tipos de hábitats naturales amenazados de desaparición presentes en el territorio, cuya conservación supone una especial responsabilidad para la Comunidad Europea habida cuenta de la importancia de la proporción de su área de distribución natural incluida en el territorio (Directiva 92/43/CEE, Artículo 1).

A continuación, se discute la información recogida de los inventarios de fauna y flora. En la visita realizada el 9 de septiembre de 2023, la flora que se encuentra en la zona de estudio es bastante homogénea. En la mayoría de las lagunas se encuentran las mismas especies. De manera que a medida que nos alejamos encontramos mayor vegetación arbustiva y arbórea. Como se explica en el apartado 3.1, el pinar ha sido gestionado en las cubetas de las lagunas Grande de las Turmas y Cinco Pinos, donde se han observado numerosos tocones de pinos. A continuación, se va a incluir el listado de las especies de flora halladas en la zona de estudio (**Tabla 8**) y sus

fotografías (Fig. 39). Según el Real Decreto 139/2011, ninguna de las especies de flora inventariadas en la tabla 8 es incluida como Especie Silvestre en Régimen de Protección Especial o dentro del Catálogo Español de Especies Amenazadas.

Tabla 8. Inventario de especies de flora mediante observación directa en la zona de estudio.

Espece	Nombre común
<i>Armeria velutina</i>	Armeria velutina
<i>Asparagus albus</i>	Esparraguera silvestre
<i>Chamaerops humilis</i>	Palmito
<i>Cistus ladanifer</i>	Jara pringosa
<i>Cistus salviifolius</i>	Jaguarzo morisco
<i>Cytisus grandiflorus</i>	Retama
<i>Daphne gnidium</i>	Torvisco
<i>Dianthus broteri</i>	Clavellina de Doñana
<i>Dittrichia viscosa</i>	Olivarda
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto
<i>Halimium calycinum</i>	Jaguarzo amarillo
<i>Halimium halimifolium</i>	Jaguarzo blanco
<i>Heliotropium supinum</i>	Hierba de alacrán
<i>Helichrysum picardii</i>	Amaranto, manzanilla de monte
<i>Imperata cylindrica</i>	Carrizo
<i>Juncus maritimus</i>	Junco
<i>Lavandula stoechas</i>	Cantueso
<i>Myrtus communis</i>	Mirto
<i>Phillyrea angustifolia</i>	Olivilla
<i>Pinus pinea</i>	Pino piñonero
<i>Pistacia lentiscus</i>	Lentisco
<i>Pulicaria paludosa</i>	Matapulgas
<i>Quercus suber</i>	Alcornoque
<i>Thymus mastichina</i>	Tomillo

<i>Typha angustifolia</i>	Enea
<i>Stipa gigantea</i>	Banderillas o berceo



Figura 39. Fotografías de las especies de flora observadas en la zona de estudio.

En cuanto a la fauna de la zona de estudio, en la visita realizada el 9 de septiembre de 2023 se ha podido observar un buen número de especies. Sin embargo, está condicionado a la época del año en la que se ha realizado. Sabemos que los animales tienen una estacionalidad en el territorio, al igual que las lagunas. Aún así un mayor hidropereodo, supone que un mayor número de especies se encontrarán en el biotopo. Existen especies animales que son característicos de ecosistemas acuáticos como son las lagunas temporales, estos son aves acuáticas, principalmente anátidas y limícolas y destacando los insectos, con heterópteros (*Notonecta*, *Nepa*), coleópteros (*Gyrinus*, *Ditiscus*), odonatos (*Agrion*), etc., y los anfibios (*Triturus*, *Hyla*, *Bufo*, *Rana*, etc.) (MITECO, s.f.). El grupo faunístico que se ha inventariado son los vertebrados. El inventario recoge especies de la familia de las aves y mamíferos observados tanto el 9 de septiembre de 2023 como en las 6 visitas anteriormente realizadas a las lagunas (**Tabla 7**).

Pero también en estas visitas se han encontrado puestas de anfibios y renacuajos en el agua de la laguna Sin Nombre 2. Sin embargo, no se ha identificado la especie y por ello no se han incluido en el inventario. La Directiva Hábitat recoge en el Anexo II las especies animales y vegetales de interés comunitario para cuya conservación es necesario designar zonas especiales de conservación y en su Anexo IV las especies animales y vegetales de interés comunitario que requieren una protección estricta. La mayoría de las especies que figuran en el Anexo II se hallan incluidas en el Anexo IV. Los anfibios son una de las familias de animales que se recogen en ambos anexos de la directiva (Directiva 92/43/CEE, Anexo II; Anexo IV).

Según el Libro rojo de los vertebrados de España de 1992, las especies inventariadas no se clasifican en ninguna de las categorías de conservación (MITECO, s.f.). Tampoco en el Libro Rojo de los Vertebrados Amenazados de Andalucía actualizado en el año 2000 (Junta de Andalucía, s.f.). Sin embargo, existe un documento más actualizado para las especies amenazadas, el Real Decreto 139/2011, del 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. En este documento legal las especies del inventario en campo que se encuentran recogidas son, por orden alfabético: Abejaruco europeo (*Merops apiaster*), Abubilla común (*Upupa epops*), Águila calzada (*Hieraaetus pennatus*), Cárabo común (*Strix aluco*), Carbonero común (*Parus major*), Cogujada común (*Galerida cristata*), Cogujada montesina (*Galerida theklae*), Curruca cabecinegra (*Sylvia melanocephala*), Golondrina común (*Hirundo rustica*), Mosquitero musical (*Phylloscopus trochilus*) y Pico picapinos (*Dendrocopos major*). De modo que en la zona de estudio se han encontrado en 1 sola visita, 11 especies del Listado Español de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial. Estas son especies merecedoras de una atención y protección particular en función de su valor científico, ecológico y cultural, singularidad, rareza, o grado de amenaza, argumentado y justificado científicamente; así como aquella que figure como protegida en los anexos de las directivas y los convenios internacionales ratificados por España (Real Decreto 139/2011, Artículo 2). Sin embargo, no se explicitan dentro del catálogo de especies amenazadas según el Real Decreto. El procedimiento de inclusión, cambio de categoría o exclusión de una especie en el Listado y Catálogo es un procedimiento legal, propio de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, para el Listado y el Catálogo (Real Decreto 139/2011, Artículo 6), es decir, conlleva para ello un proceso legislativo.

Por otro lado, en cuanto al conejo (*Oryctolagus cuniculus*) actualmente existe un Programa LIFE entre entidades españolas y portuguesas. El LIFE es el Programa de la Unión Europea para el Medio Ambiente y la Acción Climática para el periodo 2021-2027 y es uno de los principales contribuyentes al Pacto Verde Europeo, cuyo objetivo es: transformar la UE en una sociedad justa y próspera, con una economía moderna, eficiente en recursos y competitiva, en la que no haya emisiones netas de gases de efecto invernadero en 2050 y en la que el crecimiento económico se desvincule del uso de recursos. Además de proteger, conservar y mejorar el capital natural de la UE, y proteger la salud y el bienestar de los ciudadanos frente a los riesgos e

impactos relacionados con el medio ambiente y el clima (MITECO, s.f.). En este marco se situó el LIFE Iberconejo en octubre de 2021 y pretende implementar un sistema de gobernanza para la gestión del conejo en la Península Ibérica. En los últimos 70 años las poblaciones de conejo de la Península Ibérica han descendido en más de un 90% por efecto de cambios en los usos de suelo y enfermedades. En base a los datos analizados en su última evaluación, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) ha declarado a la especie en “peligro de extinción” en el año 2019 (LIFE Iberconejo, s.f.). Uno de los impactos que pretende este Programa en los servicios ecosistémicos hasta su final en diciembre de 2024 es aumentar la resiliencia de los ecosistemas (LIFE Iberconejo, s.f.).

Tabla 7. Inventario de especies de fauna mediante observación directa en la zona de estudio.

Grupo	Especie	Nombre común	Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial
Ave	<i>Upupa epops</i>	Abubilla común	Sí
Ave	<i>Cyanopica cooki</i>	Rabilargo ibérico	-
Ave	<i>Hieraaetus pennatus</i>	Águila calzada	Sí
Ave	<i>Carduelis carduelis</i>	Jilguero europeo	-
Ave	<i>Streptopelia decaocto</i>	Tórtola turca	-
Mamífero	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Conejo común	-
Ave	<i>Turdus merula</i>	Mirlo común	-
Mamífero	<i>Vulpes vulpes</i>	Zorro común	-
Ave	<i>Galerida cristata</i>	Cogujada común	Sí
Ave	<i>Galerida theklae</i>	Cogujada montesina	Sí
Ave	<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina común	Sí
Ave	<i>Alectoris rufa</i>	Perdiz roja	-
Ave	<i>Strix aluco</i>	Cárabo común	Sí
Mamífero	<i>Eliomys quercinus</i>	Lirón careto	-
Ave	<i>Phylloscopus trochilus</i>	Mosquitero musical	Sí
Ave	<i>Merops apiaster</i>	Abejaruco europeo	Sí
Ave	<i>Parus major</i>	Carbonero común	Sí
Ave	<i>Sylvia melanocephala</i>	Curruca cabecinegra	Sí
Ave	<i>Serinus serinus</i>	Verdecillo	-

Ave	<i>Dendrocopos major</i>	Pico picapinos	Sí
Ave	<i>Saxicola torquatus</i>	Tarabilla común	-
Ave	<i>Corvus corax</i>	Cuervo grande	-

Además, se han encontrado numerosos rastros y huellas en la zona de estudio las cuales se incluyen en imágenes posteriormente (**Figs. 38A, 38B y 38C**).





Figura 38A. Rastros de Conejo común (Oryctolagus cuniculus).

Figura 38B. Excrementos y huellas de ungulados.

Figura 38C. Huellas de Zorro común (Vulpes vulpes).

4. Conclusiones

En primer lugar, se ha determinado que la morfología de las 12 lagunas es variable en profundidad y extensión. Las lagunas tienen una superficie desde 8 hasta 0,15 hectáreas, siendo la laguna Grande de las Turmas la de mayor extensión. Sin embargo, todas se consideran pequeñas en comparación con las lagunas del Parque Nacional. La superficie de Grande de las Turmas, El Martillo y El Conejo no equivale al máximo volumen de agua que pueden almacenar y esta última junto a Sin Nombre 1 y Cinco Pinos están atravesadas por un camino de arena que utilizan vehículos. La mayoría de las lagunas son someras encontrándose por debajo del metro de profundidad. De forma artificial, Pozo Candiles y El Martillo alcanzan los 3 y 2 metros de profundidad respectivamente. La laguna de más baja altitud con respecto al nivel del mar es Valluncosa mientras que la más alta es Moguer 1. A pesar de que la altura piezométrica del acuífero corresponde aproximadamente a la altura del fondo de los vasos de las lagunas, es muy difícil que ocurra un aporte de agua a las lagunas, ya que las precipitaciones tienen una tendencia descendente desde hace al menos 10 años, y tendrían que contrarrestar unos 16 metros de profundidad del nivel freático debido a la explotación de las aguas subterráneas en la zona.

En segundo lugar, en cuanto a los niveles de inundación e hidroquímica, se concluye que la laguna de Moguer es la laguna de hidropereodo más largo, de forma que se inundó con las precipitaciones de diciembre de 2022, permaneciendo el agua hasta abril/mayo de 2023. La laguna del Martillo también muestra una inundación prolongada sólo en los zacallones artificiales excavados, mientras que el resto del vaso lagunar permaneció seco durante todo el periodo de estudio. No obstante, hay que señalar que el año hidrológico 2022/23 ha sido seco. La hidroquímica de todas las lagunas presenta bajas concentraciones de sales disueltas con respecto

a las de las lagunas del Parque Nacional, siendo 360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ la mayor conductividad alcanzada por la laguna de Valluncosa en diciembre. La facies hidroquímica predominante en el agua de las lagunas es la clorurada sódica. Esto junto con la alimentación de agua dependiente estrechamente de las lluvias confirma también en este trabajo la alimentación epigénica en todas las lagunas. Las lagunas superan el límite establecido para ciertos contaminantes por el Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas, en Cd, en todas menos la laguna del Conejo y en Pb para la laguna de los Cinco Pinos. El perfil del suelo tomado en la laguna del Martillo tiene una permeabilidad baja, por lo tanto favorece la retención superficial del agua tras las precipitaciones intensas.

En tercer lugar, se concluye que en cuanto al estudio de la vegetación, las tres lagunas investigadas tienen en torno a un 40% de pinar en el área de influencia de su vaso lagunar. Este ha sido gestionado tanto en la laguna Grande de las Turmas como en la laguna de los Cinco Pinos. La laguna de Moguer 1 es la que más cobertura tiene de “Monte blanco” (HIC 2260) y la laguna Grande de las Turmas la de mayor cobertura de “pastizal” (HIC 2230). El vaso lagunar de la laguna Grande de las Turmas está colonizado por vegetación terrestre con numerosos pinos, lo que debería ser exclusivamente HIC 3170. Esto puede indicar que lleva años sin inundarse y por tanto es la peor conservada. Además, aparecen signos del paso de incendios en el área de influencia del vaso de la laguna, aunque también en la laguna de Moguer 1. Estas dos lagunas pudieron estar afectadas por el incendio de Peñuelas de 2017, encontrándose dentro del perímetro de afección. En la laguna de Moguer 1 se evidencia que se están realizando esfuerzos para reforestar su área de influencia de *Quercus suber* (vegetación potencial) pero aún se encuentra *Eucalyptus globulus* de forma relicta alrededor de su vaso de los trabajos forestales del siglo XX. No se ha encontrado flora amenazada en las lagunas. En cuanto a la laguna de los Cinco Pinos, actualmente existe vegetación terrestre creciendo dentro de su vaso lagunar, como pinos jóvenes y cistáceas. Con respecto a la fauna de las lagunas, se han inventariado 11 especies de aves que pertenecen al Listado Español de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial, en una sola visita. Se recomienda para futuros estudios realizar un inventario más exhaustivo para evaluar de manera más significativa el estado de conservación de la fauna y en caso de que fuera necesario mejorar las poblaciones, realizar acciones y planes de mejoras en el hábitat para la conservación de esta especial biodiversidad. Actualmente, la zona ya es asistida por un programa europeo para la conservación del Conejo común, el LIFE Iberconejo, que va a prevalecer 1 año más para, entre otras cosas, aumentar la resiliencia de los ecosistemas.

En conclusión, la conservación de las lagunas del NE de Mazagón está amenazada por el descenso de las precipitaciones, los contaminantes en sus aguas, la colonización de vegetación terrestre de sus vasos lagunares y, en el caso de la laguna Grande de las Turmas, posiblemente la reducción de aportes de aguas subterráneas. No obstante, en ellas se encuentra aún una elevada biodiversidad y Hábitats de Interés Comunitario. Además, no debemos de olvidar que son parte de un sistema mayor, el humedal más grande de Europa, Doñana. En la zona se ven evidentes esfuerzos por su conservación, como reforestaciones de vegetación potencial o tala de pinos en sus cubetas, sin embargo, aún se pueden seguir realizando muchos estudios o planes de gestión y acciones para preservarlas en un futuro como fuentes de biodiversidad, naturaleza y bienestar humano como podrían ser la retirada de vegetación terrestre del interior de los vasos lagunares, la canalización de las aguas residuales depuradas de la EDAR de Mazagón para contrarrestar la

explotación de las aguas subterráneas para el abastecimiento, la colocación de cajas nido o refugios para la fauna y el emplazamiento de tanques de agua que abastezcan la flora y fauna en los meses de menores precipitaciones.

Agradecimientos

A la Cañada de los Pájaros, por darme la pasión del cuidado de los humedales y ser la razón de estudiar este máster. A Manolo Vázquez, Álvaro Begines y Josemari Sánchez por ser mis maestros de campo. A mis tutores y profesores del máster M Dolores Basallote, Manuel Olías, Cristina Pérez-Carral y Pablo Hidalgo por el apoyo y la guía en este difícil trabajo. A Josemari Sanchez por ser además, mi compañero y experto ornitólogo en salidas a campo necesarias para el estudio. También agradecer el apoyo a mis padres, familia y compañeros de clase por haber estado a mi lado este año. Agradezco a la vida por haberme cruzado en el camino con el profesor Pepe Prenda con el que comparto dos grandes pasiones, la ornitología y la defensa de la naturaleza. Y me agradezco personalmente la fortaleza y determinación, para a pesar de las malas rachas, seguir adelante y acabar lo empezado.

Comentario de la autora

Nuestro comportamiento depredador con el ecosistema se asemeja al de un cormorán en un lago, que se come, sin espera, todos los peces hasta agotarlos. Sin embargo, tenemos una ventaja como especie: la conciencia. Sabemos hacia dónde van nuestros actos y por tanto, sabemos lo que estamos haciendo con los recursos del planeta. Citando a Pepe Prenda, hay dos modos de conciencia, que decía Machado: "Conciencia de visionario que mira en el hondo acuario peces vivos, fugitivos, que no se pueden pescar, o esa maldita faena de ir arrojando a la arena, muertos, los peces del mar". Gestionemos Doñana desde esa conciencia de visionario que nos permite coexistir de manera armónica con los demás seres de este planeta y dejemos atrás ese ansia depredadora que condena nuestra supervivencia en el planeta.

Referencias bibliográficas

Barrera, C.B., Diaz del Olmo, F. y Barrera, F. B. (2008). Dinámica hidrogeomorfológica de la laguna del Charco del Toro (Complejo Palustre del Manto Eólico Litoral de El Abalario-Doñana). Parque Nacional de Doñana, Huelva. Territoris. Universitat de les Illes Balears. Núm. 7. pp. 87-98.

https://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/territoris/archives/Territoris_2008v/07p087.dir/Territoris_2008v07p087.pdf

Bocanegra, E., Hernandez, M., y Usunoff, E. (2005). Groundwater and Human Development: IAH Selected Papers on Hydrogeology 6. CRC Press. 279 p.

Coletto, C. (2003). Funciones hidrológicas y biogeoquímicas de las formaciones palustres hipogénicas de los mantos eólicos litorales de El Abalario-Doñana (Huelva). Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid.

Conejo García, C. (2022). Evaluación de la peligrosidad de incendio y el nivel de afectación que sufren las coberturas vegetales según el Índice Diferencial Normalizado de Vegetación mediante el uso de imágenes satelitales. Trabajo de Fin de Grado, Universidad Pablo de Olavide.

Custodio, E. y Palancar, M. (1995). Las aguas subterráneas en Doñana. Revista de Obras Públicas, Madrid, 142 (3340), 31-53.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/191287/1995_febrero_3340_03.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Custodio, E., Manzano, M. y Montes, C. (2009). Las aguas subterráneas en Doñana: Aspectos ecológicos y sociales. Agencia Andaluza del Agua. 246 p.
https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/agencia_andaluza_agua/participacion/publicaciones/libro_donana_baja.pdf

David, R., Kohfahl, C., Rebollo, A. y Ruiz, F. (2020). Quality aspects of the Doñana groundwater resources (SW-Spain) before the intensification of agriculture. Boletín Geológico y Minero, 131 (4): 757-773 https://www.igme.es/Boletin/2020/131_4/BGM_131-4_Art-14.pdf

De las Heras Pérez, M. A. (2009). Estudio de flora y vegetación del oeste del entorno de Doñana. Tesis Doctoral, Universidad de Huelva.
<https://bibdigital.rjb.csic.es/medias/3e/10/f7/3a/3e10f73a-5271-4bc7-8a18-49db1e9852f/files/7059.pdf>

Diaz del Olmo, F., Recio Espejo, J. M., Borja Barrera, C., Camara Artigas, R. y Borja Barrera, F. (2010). Nuevas aportaciones a la caracterización geomorfológica del Manto Eólico Litoral de El Abalario-Doñana: el perfil de la laguna Río Loro (Huelva, España). Geogaceta, 48. 3-6.
<https://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/7901/Nuevas-aportaciones.pdf?sequence=2>

Díaz-Paniagua, C., Fernández-Zamudio, R., Serrano, L., Florencio, M., Gómez-Rodríguez, C., Sousa, A., Sánchez, P., García-Murillo, P. y Siljestrom, P. (2015). El sistema de lagunas temporales de Doñana, una red de hábitats acuáticos singulares. Organismo Autónomo Parques Nacionales. 291 p.

Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. Boletín Oficial del Estado, núm. 206, de 22 de julio de 1992.

García Murillo, P. y Sousa Martín, A. (1997). Vegetation changes in Abalarario (Parque Natural del entorno de Doñana). *Lagascalia* 19 (1-2): 737-744.

https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/11653/file_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

González Bernaldez, F. (1992). Paisajes del agua: terminología popular de los humedales. Ed. Reyeró, Madrid.

IGME. (1983). Hidrogeología del Parque Nacional de Doñana y su entorno. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía, Instituto Geológico y Minero de España, Colección Informe. Madrid, 1-120 + mapa.

https://www.igme.es/igme/publica/libros6_HyZH/libro48/lib48.htm

IGME. (1992). Hidrogeología del Parque Nacional de Doñana y su entorno. Instituto Geológico y Minero de España, Colección Informes Aguas Subterráneas y Geotécnia, Madrid, 1-64 + 2 mapas. https://www.igme.es/igme/publica/libros6_HyZH/libro48/lib48.htm

Kohfahl, C., Molano-Leno, L., Guardiola, C., Manzano, M., Ruiz, F., Naranjo-Fernández, N., Rebollo, A., Martínez, D., Martínez, A., Heredia, J., Custodio, E., Vanderlinden, K., Higuera, J.H. y Giráldez, V. (2019). Monitoring and current research of groundwater resources and recharge in the Doñana Natural area (SE Spain). *Boletín Geológico y Minero*, 130 (4): 661-690 https://www.igme.es/boletin/2019/130_4/BGM_130-4_Art-5.pdf

Konikow, L. y Rodríguez-Arévalo, F.J. (1993). Advection and diffusion in a variable density confining layer. *Water Resour. Res.* 29 (8): 2727-2761.

López, F. (1998). Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Tragsa. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 944 p.

Manzano, M.; Custodio, E.; Loosli, H.H.; Cabrera, M.C.; Riera, X. y Custodio, J. (2001). Palaeowater in coastal aquifers of Spain. En: *Palaeowaters in Coastal Europe: evolution of groundwater since the late Pleistocene*. Geological Society of London, Special Publication, 189: 107-138

<https://rac.es/ficheros/doc/00530.pdf>

Manzano, M., Borja, F. y Montes, C. (2002). Metodología de tipificación hidrológica de los humedales españoles con vistas a su valoración funcional y a su gestión. Aplicación a los humedales de Doñana. *Boletín Geológico y Minero*, 113 (3): 313-330.

https://www.igme.es/boletin/2002/113_3_2002/11-ARTICULO%20METODOLOGIA.pdf

Millenium Ecosystem Assesment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. 155p. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>

Montes, C., Santos, F., Martín-López, B., González, J., Aguado, M., López-Santiago, C., y Benayas, J. (2012). La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España. Del equilibrio entre la conservación y el desarrollo a la conservación para el bienestar humano. *Revista Ambienta* (98), 2-12.

Montes-Vega, M. J. y Rodríguez-Rodríguez, M. (2021). Análisis del hidropериодо de tres lagunas de la Reserva Biológica de Doñana (2018-2020). *Geogaceta*, 70. 43-46.

https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/geo70/Geo70_p_43_46.pdf

Navarro, A. (2022). Estudio hidrológico de las lagunas del Parque Natural de Doñana en la zona NE de Mazagón. Implicaciones para su conservación. Trabajo de Fin de Máster, Universidad de Huelva.

Olsson, L., Barbosa, H., Bhadwal, S., Cowie, A., Delusca, K., Flores-Renteria, D., Hermans, K., Jobbagy, E., Kurz, W., Li, D., Sonwa, D. y Stringer, L.C., (2019). Land Degradation, in: Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2022/11/SRCCL_Chapter_4.pdf

Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas. Boletín Oficial del Estado, núm. 19, de 22 de enero de 2011.

Rodríguez-Arévalo, F.J. (1988). Origen y movimiento del agua intersticial en el acuitardo arcilloso de las marismas del Guadalquivir. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 1-300 + anejos.

Rodríguez-Rodríguez, M., Fernández-Ayuso, A., Moral, F. y Caro, R. (2020). Monitorización hidrológica y caracterización de la relación laguna-acuífero en las lagunas de los mantos eólicos de Doñana. Geogaceta, 67. 87-90.

https://sge.usal.es/archivos/geogacetitas/geo67/Geo67_p87_90.pdf

Rodríguez-Rodríguez, M., Montes-Vega, M. J. y Maldonado-Jiménez, J. (2022). Caracterización hidrológica y vulnerabilidad de la laguna del Acebuche (El Abalarío, Huelva). Geogaceta, 72. 3-6. <https://recyt.fecyt.es/index.php/geogaceta/article/view/98035/71240>

Salvany, J.M. y Custodio, E. (1995). Características litoestratigráficas de los depósitos plio-cuaternarios del bajo Guadalquivir en el área de Doñana: implicaciones hidrogeológicas. Revista de la Sociedad Geológica de España, 8(1-2): 21-31. [https://sge.usal.es/archivos/REV/8\(1-2\)/Art02.pdf](https://sge.usal.es/archivos/REV/8(1-2)/Art02.pdf)

Sancho, F., Fernández-Palacios, J.M., García, P., Espina, J., Olmedo, F. Y Estévez, A. (2018). El Abalarío: Un paisaje en construcción. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. 75 p.

https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/servicios/centro_de_documentacion_y_biblioteca/fondo_editorial_digital/documentos_tecnicos/el_abalarior/el_abalarior.pdf

Serrano, L. y Toja, J. (1995). Descripción limnológica de cuatro charcas temporales del Parque Nacional de Doñana. Parque (SO España). Archiv für Hydrobiologie 133, 497–516.

Serrano, L. y Serrano, L. (1996). Influence of Groundwater Exploitation for Urban Water Supply on Temporary ponds from Doñana National Park (SW Spain). Journal of Environmental Management 46, 229–238.

Sousa, A. y García, P. (1999). Historical evolution of the Abalarío lagoon complexes (Doñana Natural Park, SW Spain). Limnetica. 85-98.

<https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-16-1-p-85.pdf>

Sousa, A., García-Barrón, L., Morales, J., & García-Murillo, P. (2006). Post-Little Ice Age warming and desiccation of the continental wetlands of the aeolian sheet in the Huelva region (SW Spain). Limnetica, 25(1-2): 57-70.

<https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-25-1-p-57.pdf>

Trick, Th. (1998). Impacto de las extracciones de agua subterránea en Doñana: aplicación de un modelo numérico con consideración de la variabilidad de la recarga. Tesis Doctoral. ETSICCPB, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

Zazo, C., Dabrio, C., González, A., Siervo, F., Yll, E.I., Goy, J.L., Luque, L., Pantaleón-Cano, J., Soler, V., Roure, J.M., Lario, J., Hoyos, M. y Borja, F. (1999). The record of the latter glacial and interglacial periods in the Guadalquivir marshlands (Mari López drilling, SW Spain). *Geogaceta*, 26: 119-122.

Páginas web

CIAD. La importancia de la biodiversidad <https://www.ciad.mx/la-importancia-de-la-biodiversidad/#:~:text=La%20biodiversidad%20es%20responsable%20de,depende%20de%20ella%20para%20sobrevivir>

Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul. Caracterización de los Hábitats de Interés Comunitario terrestres (HIC) https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-%C3%ADndice/-/asset_publisher/zX2ouZa4r1Rf/content/caracterizaci-c3-b3n-de-los-h-c3-a1bitats-de-inter-c3-a9s-comunitario-terrestres-hic--1/20151

Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul. Fichas descriptivas de los Hábitats de Interés Comunitario Terrestres de Andalucía <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/areas-tematicas/biodiversidad-y-vegetacion/habitats/caracterizacion-de-los-habitats-de-interes-comunitario-terrestres/fichas-descriptivas-habitats-interes-comunitario-terrestres-andalucia>

CSIC. Clima y meteorología Doñana <http://icts.ebd.csic.es/datos-meteorologicos>

CSIC. (2023). Doñana en estado crítico: más de la mitad de sus lagunas han desaparecido. Comunicado de Prensa. <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/donana-en-estado-critico-mas-de-la-mitad-de-sus-lagunas-han-desaparecido>

Díaz-Paniagua, C. (2022). Guerra del agua entre Doñana y las explotaciones agrícolas y turísticas. *The Conversation*. Artículo de prensa. <https://theconversation.com/guerra-del-agua-entre-donana-y-las-explotaciones-agricolas-y-turisticas-179054>

Ecología verde. (2020). Contaminación por metales pesados en el agua <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-por-metales-pesados-en-el-agua-1452.html>

FAO. Servicios ecosistémicos y biodiversidad <https://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>

FAO. Textura del suelo https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm

IAIFAPAPE. Estación Meteorológica de IFAPA Centro Las Torres-Tomejil. Finca El Cebollar <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/riaweb/web/estacion/21/101>

IDEE. Catálogo de datos y servicios IDEE. Modelo Digital del Terreno con paso de malla de 2 metros (MDT02) de España
<https://www.idee.es/csw-inspire-idee/srv/spa/catalog.search?#/metadata/spainMDT02>

IDEE. Catálogo de datos y servicios IDEE. Ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) máxima actualidad de España
<https://www.idee.es/csw-inspire-idee/srv/spa/catalog.search?#/metadata/spainPNOAMA>

Junta de Andalucía. Libro Rojo de los Vertebrados Amenazados de Andalucía
https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/servicios/centro_de_documentacion_y_biblioteca/fondo_editorial_digital/documentos_tecnicos/Libro_rojo_vertebrados/documento_completo.pdf

Life Iberconejo <https://www.iberconejo.eu/>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Categorías y tipos de masas de agua superficiales
<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/categorias-y-tipos-de-masas-de-agua.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Conservación de la biodiversidad
<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-la-biodiversidad.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Libro rojo de los vertebrados de España
https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/libro_rojo_vertebrados.html

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Tipos de hábitat de interés comunitario de España
https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/rn_tip_hab_esp_espana.html

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. ¿Qué es LIFE?
<https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/servicios/ayudas-subsidios/programa-life/que-es-life.html>

ONU (2022). La COP15 finaliza con un acuerdo histórico por la biodiversidad. Reportaje
<https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/la-cop15-finaliza-con-un-acuerdo-historico-por-la-biodiversidad#:~:text=Del%207%20al%2019%20de,mundiales%20sobre%20biodiversidad%20hasta%202030>

PNOA. Tecnología LiDAR <https://pnoa.ign.es/pnoa-lidar/tecnologia-lidar>

REDIAM (2020). Guía de Identificación de Hábitats de Interés Comunitario en Andalucía. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible
<https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/contenidoExterno/habitats/>

United Nations Development Programme. Sustainable Development Goals
https://www.undp.org/sustainable-development-goals?gclid=Cj0KCCQjwxuCnBhDLARIsAB-cq1pp4twMBmqwrU7q8GiVKpCVIXUhsKHdxuUDL9KcvJzfONp0NeHSY6MaAkrwEALw_wcB