

# LAGUNA DE LOS OJOS DE VILLAVERDE: UNA APROXIMACIÓN A LA VARIABILIDAD HIDROLÓGICA Y QUÍMICA

## OJOS DE VILLAVERDE LAKE: AN APPROACH TO THE HYDROLOGICAL AND CHEMICAL VARIABILITY

*Jesús POZO<sup>1</sup>*

**Recibido:** 8 de julio de 2024

**Aprobado:** 25 de septiembre de 2024

### **Cómo citar este artículo:**

Pozo, J. (2024). Laguna de Los Ojos de Villaverde: una aproximación a la variabilidad hidrológica y química. *Sabuco*, 18: 79-114. [http://doi.org/10.37927/sabuco.18\\_5](http://doi.org/10.37927/sabuco.18_5)

## RESUMEN

El interés por los humedales entre la comunidad científica en las últimas décadas radica en que son ecosistemas escasos, complejos, con una gran biodiversidad y una elevada actividad biológica, que proporcionan un buen número de servicios ecosistémicos. Este trabajo se centra en la físico-química del agua en uno de los humedales manchegos mejor conservados: La laguna de los Ojos de Villaverde. Aprovechando visores geográficos, bases de datos meteorológicos y de gestores del agua, junto con medidas de campo y análisis de laboratorio, se realiza una aproximación al balance de masas hidrológico y químico a lo largo de 10 años en época estival. Una estabilidad del nivel de las aguas abiertas y una escasa estratificación térmica de la columna de agua contrastan con lo esperable para lagunas manchegas y es fruto de la alimentación subterránea que, incluso en época de estiaje, permite un flujo suficiente para mantener el nivel del agua sin apenas variación. Ese acuífero condiciona la química del agua, pero la actividad biológica marca los comportamientos de los componentes nitrogenados y del fósforo, poniendo en valor el balance de masas como indicador funcional. Cuanto mayor sea nuestro conocimiento sobre estos ecosistemas, mejor se podrá llevar a cabo su gestión. Estudios extendidos en el tiempo con una mayor frecuencia en la columna de agua y en el cinturón de helófitos aportarían información muy valiosa. Asegurar los aportes actuales de agua y reducir la fertilización con nitratos en la cuenca son esenciales para la conservación de este paraje tan singular.

---

1 Catedrático de Ecología jubilado de la Universidad del País Vasco/EHU, [jesus.pozo@ehu.es](mailto:jesus.pozo@ehu.es), ID <https://orcid.org/0000-0003-3104-5423>

**Palabras clave:** acuifero, balances, Castilla-La Mancha, ecología, humedal, serie temporal, verano.

## ABSTRACT

The concern of wetlands among the scientific community in the last decades is based on the scarcity, the complexity and the great biodiversity of these ecosystems, where biological activity is high and several ecosystem services are supplied. This work focuses water physico-chemistry in one of the best conserved wetlands from La Mancha: The Laguna de los Ojos de Villaverde. By using geographic viewfinders, weather and water manager data bases, together with field measures and laboratory analyses, an approach to water and chemical budgets was performed in summer for 10 years. Small change in water level surface and a slight thermal stratification of water column contrast with expected summer conditions for La Mancha lakes, what is the result of groundwater fluxes that, even during summer, are enough to maintain surface water level without noticeable variation. The aquifer influence water chemistry of the lake, but biological activity affects nitrogen and phosphorus compounds, showing that mass budget is a good functional indicator of the ecosystem. The more knowledge we have about these systems, the better will be their management. Frequent and time extended research on the water column and the surrounding helophyte border would provide valuable insight. To maintain present water supplies and to reduce the use of nitrates as agricultural fertilizers in the catchment are essential to the wetland conservation.

**Key words:** aquifer, budgets, Castilla-La Mancha, ecology, summer, time series, wetland

## 1. INTRODUCCIÓN

Encontrar una definición precisa y admitida unánimemente del concepto humedal no es fácil, como tampoco lo es elegir la denominación apropiada para este tipo de sistemas, a caballo entre el agua y la tierra (González Bernáldez, 1996; Babinger, 2002). En España, en función del área geográfica y de la cultura local, muchas acepciones diferentes como aguarral, carrizal, laguna, masiega, nava, ojo o tabla, por citar unas pocas, pueden referirse a lo mismo. Scheffer (1998) considera que el término humedal hace referencia a lagos someros y al medio terrestre circundante anegado y ocupado por vegetación ligada al agua, de modo que el conjunto supone un hábi-

tat muy rico en términos de biodiversidad. En la Ley de Aguas vigente en España (Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes, 2023), el término humedal sólo aparece citado una vez (artículo 92) y de manera tangencial, una falta de referencias al término que contrasta con el gran interés que durante las últimas cuatro décadas ha suscitado entre la comunidad científica. La primera convención sobre humedales a nivel internacional celebrada en 1971 en Ramsar (Irán) fue fundamental, creciendo el interés por los humedales, su conocimiento y su gestión (Cirujano *et al.*, 2010). Esa importancia medioambiental se ha puesto de manifiesto en un aumento de aportaciones científicas, tanto en revistas especializadas como en libros específicos, que, como indica Babinger (2002), proporcionan las herramientas para su adecuada gestión y conservación. Y ese no ha sido el único indicador, sino que se han prodigado los eventos, convenciones, congresos... celebrados *ad hoc* (ej. Sánchez-Carrillo y Angeler, 2010).

La conjunción de aguas abiertas y el gran desarrollo de macrófitos, además de una gran biodiversidad, confiere a estos ambientes una alta productividad, principalmente porque la mayoría son lagos pequeños y someros, y la influencia de su entorno húmedo terrestre es muy fuerte, tanto por la actividad biológica que se desarrolla ahí, como porque altera la composición química de la escorrentía superficial que atraviesa ese espacio litoral antes de llegar a la masa de agua abierta (Wetzel, 2001). Además, los humedales proporcionan importantes servicios ecosistémicos, como la regulación climática e hidrológica, la formación de suelos, el control de plagas, la provisión de hábitats (inherentes a la biodiversidad elevada), tanto para especies residentes como migrantes, al margen de contribuir a la depuración de las aguas y al reciclaje de nutrientes, aportar alimento, o aspectos recreativos y culturales (Comín, 2014; Thomaz, 2023). A todo ello hay que añadir que actualmente son ambientes escasos. Antaño más frecuentes, la disminución de los mismos durante la mayor parte del siglo XX (Scheffer, 1998; La Calle, 2003) se debió, entre otras causas, a la eliminación de zonas potencialmente insanas por el estancamiento de sus aguas y al aprovechamiento de las tierras, antes anegadas, para ampliar zonas agrícolas. En España, a principios de los noventa, había desaparecido la mitad de los humedales existentes sólo cuarenta años atrás (Matamala y Aguilar, 2003).

Dado su indudable valor ecológico y su escasez, se entiende la preocupación ante el deterioro que, desde hace tiempo, vienen sufriendo por la actividad humana, más si cabe en ambientes mediterráneos (ej. Florín, 1999; Florín y Montes, 1999; Paracuellos, 2003). Alteraciones de la cuenca hidrográfica, manifestadas en la hidrología, la química del agua, la morfología del sistema, los vertidos de sustancias tóxicas, la pérdida de especies o la expansión de especies invasoras, entre otras, son frecuentes en los humedales. Tampoco han sido raros los incendios de la vegetación circundante al objeto de sacar provecho de los pastos (González *et al.*, 1991), que, a su

vez, traen asociadas otras consecuencias en las aguas, como el aumento de la concentración de nutrientes, la turbiedad o la temperatura, así como descensos del oxígeno disuelto (Morales *et al.*, 2023). A todo ello hay que sumar los efectos del cambio climático, con respuestas dependientes del área geográfica e influidas por otros factores ambientales como la eutrofización o la acidificación (Adrian *et al.*, 2009). Por esas relaciones, cambio climático y calidad del agua se postulan como aspectos esenciales actuales y futuros de la investigación sobre humedales (Gao *et al.*, 2023). Ante toda esa serie de amenazas, la importancia de la gestión para la conservación de estos sistemas es muy elevada (Paracuellos, 2003; Florín, 2011).

El conocimiento profundo de los humedales y de los problemas que los afectan es resultado de involucrar a un buen número de especialistas, desde geógrafos y geólogos a hidrólogos, botánicos, zoólogos, ecólogos y limnólogos, entre otros, y de ir construyendo una buena base de datos que podría estructurarse de manera que fuese fácil disponer de toda la información existente sobre una misma masa de agua y convertirse en una herramienta útil para la gestión (Camacho *et al.*, 2019).

El estudio de las características físico-químicas de las aguas dulces sigue siendo de actualidad porque la vida en esos ecosistemas está condicionada por ellas y son buenos indicadores de impactos sobre los mismos (Pinheiro *et al.*, 2021). El balance de masas de agua y de los componentes químicos que contiene es un aspecto fundamental del funcionamiento de un sistema lenítico, saldo neto de su actividad, y puede ser buen indicador de cómo es afectado el sistema por la variabilidad climática y las actividades humanas. Uno de los ejemplos más conocidos, y sobre el que más información existe, es el lago Mirror, en la región de los lagos de Estados Unidos, seleccionado en los años 70 para realizar estudios a largo término (Winter y Likens, 2009). En este tipo de aproximación, se considera al ecosistema acuático como una especie de caja negra de la que sólo se cuantifican entradas y salidas del sistema (Dodds, 2002). Esta tarea no está exenta de dificultades para medir todos los flujos y compartimentos en un humedal (Bansal *et al.*, 2023), pero es extremadamente útil para revelar deterioros de la calidad del agua y factores hidroclimáticos que más influyen sobre la disponibilidad de agua a escala anual o estacional, particularmente en cuencas del sudeste de España (Pulido-Velázquez *et al.*, 2021). Debido a fluctuaciones locales en el clima de año en año, los balances deberían extenderse a lo largo de varios años, ya que aportan información útil para la planificación de diversos tipos de proyectos, como los de restauración (Hinegk *et al.*, 2023 y referencias incluidas). Como apuntan Sánchez-Carrillo y Angeler (2010), los mejores programas sobre manejo y conservación de los humedales requieren un conocimiento a largo término sobre la ecología de estos sistemas.

El análisis del balance hidrológico y químico cobra especial interés en cualquier sistema que esté sometido a una fuerte influencia de la recarga por acuífero, y puede poner de manifiesto la influencia de éste en el mantenimiento del sistema lacustre en épocas de estrés hidrológico. En estas situaciones, en la línea apuntada más arriba, para obtener una respuesta tendencia es necesario contar con una serie temporal de observaciones más o menos larga. El objetivo del presente trabajo es realizar una aproximación a la medida de balances hidrológicos y químicos, así como arrojar luz sobre la influencia de la recarga hidrológica subterránea durante el verano en el funcionamiento de la laguna de los Ojos de Villaverde, uno de los muchos humedales aún presentes en la provincia de Albacete (Castilla La Mancha, España) (Herreros, 1987; Cirujano *et al.*, 1988; Vicente *et al.*, 1998). Se eligió en especial la estación estival, época de mayor estabilidad climática en la región, y una serie temporal de diez años, al objeto de observar resultados lo menos dependientes posible de la fecha concreta en la que eran obtenidos. Se trataba de recabar información sobre un aspecto no abordado en este humedal y suscitar el interés para el desarrollo de estudios más ambiciosos en este tipo de sistemas tan complejos y valiosos.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

La laguna de los Ojos de Villaverde se localiza (38°48'28"N, 2°22'12"W, a 920 msnm) en el extremo oriental de la comarca del Campo de Montiel, un altiplano entre las provincias de Ciudad Real y Albacete (sureste de Castilla-La Mancha) (figura 1). La delimitación natural de esta comarca, basada en criterios geomorfológicos, ocupa una extensión de 3936 km<sup>2</sup>, de los que el 51,8 % corresponden a la provincia de Albacete (Serrano de la Cruz, 2013).

La superficie íntegra de la cuenca de drenaje de la laguna, de una extensión de unos 55 km<sup>2</sup>, medida realizada con el visor SIGNA (Sistema de Información Geográfica Nacional) del Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (IGN, 2023a), abarca territorio de los municipios de Alcaraz, El Balletero, El Bonillo y Robledo, llegando a rozar el de Lezuza. Esta cuenca está delimitada por cumbres que superan los 1060 m en la Cabeza de Villaverde, por el este, y el Cerro de Don Juan, por el oeste, y forma parte de la cabecera de la Demarcación del Júcar (figura 1).



**Figura 1.** Área de estudio. En el centro se muestra un mapa de la zona con el área sombreada correspondiente a la cuenca hidrográfica de la Laguna de los Ojos de Villaverde. A la derecha, sobre la imagen, se indican las estaciones de muestreo: S y P corresponden a tributarios de la laguna, C, C2, R y R2 a emisarios de la misma. Los números señalan las estaciones dentro de la laguna. Figura confeccionada a partir del visor SIGNA de Instituto Geográfico Nacional.

### 2.1.1. Geología

El substrato geológico de la cuenca hidrográfica de la laguna está dominado por calizas y calizas oolíticas del Jurásico (unidad geológica 44). Adquieren también importancia las margas verdes con intercalaciones de dolomías y calizas y, ocasionalmente, yesos (unidad geológica 41) (tabla 1). Se dan cita, asimismo, las gravas cuarcíticas del Terciario. A lo largo del río Pontezuelas, que da lugar a la laguna, y más recientes (Cuaternario), son importantes los depósitos aluviales de fondo de valle y, en menor medida, otras dolomías, calizas y arcillas (IGN, 2023b). Estos materiales geológicos facilitan la permeabilidad, propiciando el desarrollo de importantes acuíferos en esta zona (González, 2000; González y Vázquez, 2000). Un grupo de manantiales alimentan la laguna a través del río Pontezuelas y del arroyo del Sabinar, así como mediante surgencias en el fondo de la misma. Estas aguas subterráneas formaban parte, hasta muy recientemente, de la masa 080.136 Lezuza-El Jardín, que en la revisión del tercer ciclo de planifica-

ción hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar (2022-2027) se ha dividido en dos: 080.136A Lezuza y 080.136B El Jardín (CHJ, 2024a). La masa de agua subterránea de la cuenca del humedal (080.136B El Jardín) está sujeta al Programa Operativo de Control de la Contaminación de Origen Difuso por Nitratos de este organismo de cuenca.

### 2.1.2. Clima

La zona se caracteriza por un clima mediterráneo continental, con inviernos fríos que contrastan con veranos bastante cálidos. Las lluvias se reparten de modo irregular a lo largo del año, con máximos en primavera y otoño y sequía en verano (Fernández, 2000).

Dada la falta de estación meteorológica en las inmediaciones del humedal, para el presente trabajo, que se ha prolongado en el tiempo 10 años, se ha tratado de localizar estaciones meteorológicas lo más próximas al área de estudio que proporcionasen series completas de datos de precipitaciones y temperaturas, cosa que no ha resultado fácil; en unos casos se trataba de pluviómetros y, en otros, las series de datos estaban incompletas. A efectos de caracterizar el área de estudio durante esos años, la temperatura media anual ha sido de 12,9 °C y las medias mensuales se han movido entre una mínima de 2,5 °C, en Febrero de 2018, y una máxima de 26,9 °C, en Julio de 2015 (datos abiertos en la Agencia Estatal de Meteorología, estación 4096Y-Munera) (AEMET, 2024). Las precipitaciones anuales, proporcionadas por el pluviómetro de la AEMET 8167 El Ballestero, más cercano a la laguna, han oscilado entre los 362 l/m<sup>2</sup> de 2017 y los 827,6 l/m<sup>2</sup> de 2010, con una media para el periodo de estudio de 544,5 l/m<sup>2</sup> (J. C. Romero, com. pers.). Alternativamente, los valores proporcionados por la base de datos WorldClim 2 (Fick y Hijmans, 2017) para las coordenadas de la laguna, con resolución de 1 km<sup>2</sup>, han sido de una temperatura media anual de 13,1 °C y una precipitación anual de 454 l/m<sup>2</sup>.

**Tabla 1. Geología (composición de las litologías, superficie ocupada y edad de los estratos. Información obtenida del Mapa Geológico Continuo de España a escala 1:50.000 a través de SIGNA) y usos del suelo (datos de CORINE 2018 obtenidos a través de SIGNA) de la cuenca de drenaje de la laguna de los Ojos de Villaverde.**

Código unidad geológica	LITOLOGÍA				USO DEL SUELO		
	Materiales	Superficie ha	Edad inferior	Edad Superior	Tipo de uso	Superficie ha	%
33	Dolomías, dolomías tableadas, brechas calcáreas, carniolas y calizas tableadas. Unidad carbonatada inferior de la Cobertera tabular de la Meseta	178	Noriense (Triásico Superior)	Pliensbachiense (Jurásico Inferior)	Agricultura: Tierras de labor en secano, terrenos regados permanentemente, mosaico de cultivos, frutales, cultivos combinados con vegetación natural	2347	42,66
41	Margas verdes con intercalaciones de dolomías y calizas y, ocasionalmente, yesos. Unidad margosa inferior de la Cobertera tabular de la Meseta	959	Pliensbachiense (Jurásico Inferior)	Pliensbachiense (Jurásico Inferior)			
44	Calizas oolíticas y calizas, con esporádicos niveles de dolomías y calizas margosas y brechoides. Unidad carbonatada superior de la Cobertera tabular de la Meseta	3382	Pliensbachiense (Jurásico Inferior)	Toarciense (Jurásico Inferior)	Forestal: Sistemas agroforestales (dehesa), bosques mixtos	2617	47,56
343	Gravas cuarcíticas en matriz arcillosa roja	609	Turolense (Mioceno)	Rusciniense (Plioceno)			
363	Arcillas de descalcificación. Fondos de dolina	69	Villafranquiense (Plioceno-Pleistoceno)	Holoceno (Actual)	Zonas terrestres sin uso económico: Pastizales naturales, matorrales esclerófilos, matorral boscoso de transición	483	8,78
366	Eluvial-coluvial	1	Pleistoceno	Holoceno (Actual)			
371	Travertinos	4	Pleistoceno	Holoceno (Actual)			
397	Depósitos aluviales, fondo de valle	260	Holoceno (Actual)	Holoceno (Actual)	Zonas de agua sin uso económico: Humedales y zonas pantanosas	55	0,99

### 2.1.3. Vegetación y usos del suelo

La ocupación del suelo de esta cuenca está dominada por sistemas forestales y tierras de cultivo, que, en su conjunto, representan el 90 % de la superficie; se suman pastizales y matorrales, con algo menos del 9 %, y los humedales con un 1 % (tabla 1). Estos datos se han obtenido a través de SIG-NA con el servicio añadido de ocupación del suelo de IDEE (Infraestructura de Datos Espaciales de España) (IGN, 2023c). El bosque natural está formado por encinares de *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Dest.) Samp. y sabinars de *Juniperus thurifera* L., con algunos quejigares (*Quercus faginea* L.). En el entorno de la laguna, y conformando el humedal, aparece una espesa orla de helófitos (figura 2) dominada por el carrizo, *Phragmites australis* (Cav.), al que acompaña la masiega, *Cladium mariscus* (L.) Pohl y otras especies de helófitos (JCCM, 2023).

### 2.1.4. La laguna

La lámina de aguas libres de la laguna dibuja una figura alargada serpenteante en la dirección norte-sur (figuras 1 y 2), a una altitud de 920 m, de unas 5,5 ha de superficie, un perímetro de 1810 m, con una longitud de 610 m, anchuras que varían entre los 30 y los 145 m (IGN, 2023a) y una profundidad máxima medida de 9,4 m. Según Vicente *et al.* (1998), se trata de un lago cárstico frágil que representa un afloramiento de agua subterránea de extensión poco frecuente en Europa y muy interesante desde el punto de vista científico. Es alimentado por el río Pontezuelas y el arroyo del Sabinar. Desagua al río Cubillo (o Jardín) por medio de varios canales o regueras artificiales.



**Figura 2.** Imagen general del humedal sobre la que se ha superpuesto (izquierda y abajo) una imagen desde dentro de la laguna. Fotografías del autor.

Este tipo de lagunas se originaron por la precipitación de carbonato cálcico, que a lo largo del Holoceno fueron formando barreras tobáceas que cerraron el cauce del río donde tuvieron lugar (cierre travertino). Suelen ser propias de cabeceras donde los acuíferos regulan los aportes de agua (García-Rodeja *et al.*, 2009). En las orillas de los sistemas formados por ese proceso se desarrollaron formaciones de *C. mariscus*. La laguna de los Ojos de Villaverde, con un cinturón perilagunar de *P. australis* y *C. mariscus* como especies dominantes, que llega a superar los 350 m de anchura, es un ejemplo.

Según la caracterización de los tipos de masas de aguas superficiales de la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DOCE, 2000) se trata de un lago alto (> 800 m), de profundidad media (3-15 m), de pequeño tamaño (0,5-1 km<sup>2</sup>) y de geología calcárea. Corresponde con el tipo L-T12, lago cárstico, calcáreo, permanente, cierre travertino, definido por las autoridades del agua (CHJ, 2024b).

En 2006 se aprobó el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales y se declaró Reserva Natural de la Laguna de los Ojos de Villaverde y su zona periférica de protección mediante Decreto 44/2006 de 25 de abril de la Consejería de Medio ambiente y Desarrollo Rural del Gobierno de Castilla-La Mancha (DOCM, 2006). No es esa la única figura de protección de este paraje; está integrado en la Red Natura 2000, red europea de espacios basada en la Directiva de Hábitats de 1992 y en la Directiva de Aves de 2009. La componen dos tipos de espacios: ZEPA (zonas de especial protección para las aves) y LIC (lugares de importancia comunitaria). Dentro de esta última categoría, la laguna es un ZEC (zona especial de conservación) de 343,71 ha de superficie cuyo código es ES4210005; dispone de su propio Plan de Gestión (JCCM, 2023).

## 2.2. Metodología

La selección de puntos de muestreo se realizó obedeciendo al criterio de poder calcular balances de masas, por lo que, como tributarios al humedal, al norte del mismo, se estableció una estación en el río Pontezuelas (P) y otra en el arroyo del Sabinar (S) (figura 1). Ambas servían para determinar aportaciones de la escorrentía superficial al humedal. Al sur de la laguna, y como emisarios, existen tres canales, denominados aquí Canal (C), Canal 2 (C2) y Reguera (R). Este último se bifurca en ciertas ocasiones, cuando los caudales son más elevados, generándose Reguera 2 (R2). Las estaciones en estos emisarios servían para cuantificar las salidas superficiales del sistema.

Así mismo, al inicio del periodo de estudio, el 30 de Julio de 2010 y el 12 de Agosto de 2011, y con objeto de tener una idea aproximada de las condiciones de la laguna desde el punto de vista espacial, tanto horizontal como vertical, se seleccionaron y muestrearon 8 estaciones, distribuidas tanto a lo largo del eje central (2, 3, 4 y 5), como próximas al litoral (1, 6, 7 y 8) (fi-

gura 1). Esto nos permitía comparar características morfológicas y físico-químicas con el trabajo de González *et al.* (1991), el de más amplio espectro realizado en este humedal hasta la fecha. La ubicación de todos estos puntos se llevó a cabo a través del visor SIGNA (ej., IGN, 2023a).

De las estaciones centrales de la laguna, la 3 se eligió para el seguimiento de la columna de agua a largo término. La colocación de una boya anclada al lecho en el lugar permitió reiterar los muestreos de la serie temporal en el mismo punto. Tributarios (S, P), emisarios (C, C2, R) y la estación 3 de la laguna se muestrearon en época estival durante diez años (de 2010 a 2019). La estabilidad climatológica de esta época del año en la zona mitiga la potencial variabilidad asociada al día o momento de realizar el muestreo. En ninguna ocasión se superaron los 10 l/m<sup>2</sup> de precipitación en los 30 días previos a cada uno de esos muestreos. Entre 2011 (8 de Diciembre) y 2012 (7 de Abril y 28 de Diciembre) se realizaron muestreos adicionales de caracterización en otras épocas del año (invierno y primavera) tanto en la estación 3 de la laguna como en los tributarios y emisarios.

Por lo que respecta a la toma de datos y muestras en tributarios y emisarios, el caudal se calculó combinando medidas de sección del cauce (anchura x profundidad media) y de velocidad del agua (correntímetro Martin Marten Z30, Barcelona) mediante la expresión: caudal (l/s) - sección transversal (cm<sup>2</sup>) x velocidad media (cm/s)/1000. Las medidas de temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto en el agua se realizaron *in situ* mediante una multiparamétrica (HANNA HI 9828; HANNA Instruments Inc. Woonsocket, USA). Adicionalmente, en cada ocasión se tomaron muestras de agua para la determinación de otros parámetros químicos en laboratorio.

El desplazamiento para la toma de datos o muestras en la laguna se realizaba mediante neumática sin motor. En las primeras fases del estudio (Julio de 2010 y Agosto de 2011), se realizaron 4 transectos batimétricos perpendiculares al eje principal de la laguna (figura 3). Se comenzaba midiendo la profundidad con cinta lastrada a 0, 2 y 5 m de distancia desde la orilla, continuando después cada 5 metros, hasta llegar a la orilla opuesta, donde se repetían las medidas de aproximación del inicio. En todas las estaciones de la laguna (1-8, figura 1), los perfiles verticales de temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto se realizaron mediante multiparamétrica HANNA HI9828, con sonda de 20 m, anotando los datos cada 0,5 m de profundidad. Como indicador de la transparencia del agua, se anotaba la profundidad de visión del disco de Secchi (Wetzel y Likens, 1991). En función del espesor de la columna de agua, en cada estación se tomaban muestras de agua a dos o tres profundidades mediante botella Niskin (Aquatic BioTechnology, El Puerto de Santa María, Cádiz) para análisis posterior.

En la estación 3, que fue la única donde el seguimiento se extendió a lo largo de 10 años, la toma de muestras de agua se llevó a cabo a tres profundidades (superficie, intermedia y profunda) durante los cinco primeros años, y

a cuatro (en superficie, a 3 metros, a 6-7 metros y a 8-8,5 metros), los cinco últimos. La profundidad se midió con cinta lastrada los tres primeros años y mediante sonda Plastimo Echotest II (Plastimo, Lorient, Francia) los siguientes.

En todos los casos, la alcalinidad se medía inmediatamente por titulación con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 0,02 N, utilizando el indicador mixto rojo de metilo-verde de bromocresol (Wetzel y Likens, 1991). La determinación de clorofila *a* se llevó a cabo mediante espectrofotometría después de filtrar (filtros Whatman GF/C) entre 700 y 1000 ml de agua (dependiendo de la saturación del filtro) y posterior extracción de los pigmentos con etanol al 95 % (Sartory y Grobelaar, 1984). Para el análisis de nutrientes el agua era filtrada (filtros Millipore de 0,45  $\mu\text{m}$ ), congelada y, posteriormente, analizada en laboratorio. La concentración de amonio se determinó por el método del salicilato, el nitrito, por el de la sulfanilamida, y el fósforo reactivo soluble (FRS), por el del molibdato (APHA, 2005). El Servicio Central de Análisis de Bizkaia (SCAB), de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), determinó los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{NO}_3^-$ , por electroforesis capilar (EC), y los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$ , mediante espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado por inducción (ICPAES).

La concentración de sólidos en suspensión se determinó sobre filtros Whatman GF/F, tras filtrar un volumen de agua semejante al del análisis de clorofila. Los filtros con la muestra se secaban en estufa a 60 °C (48 h) para determinar el peso seco del material retenido y, posteriormente, se calcinaban a 500 °C para obtener el peso de las cenizas y, por diferencia con el peso seco, el contenido en materia orgánica de la muestra. Los resultados se expresaban en términos de peso seco libre de cenizas (mg PSLC/l).

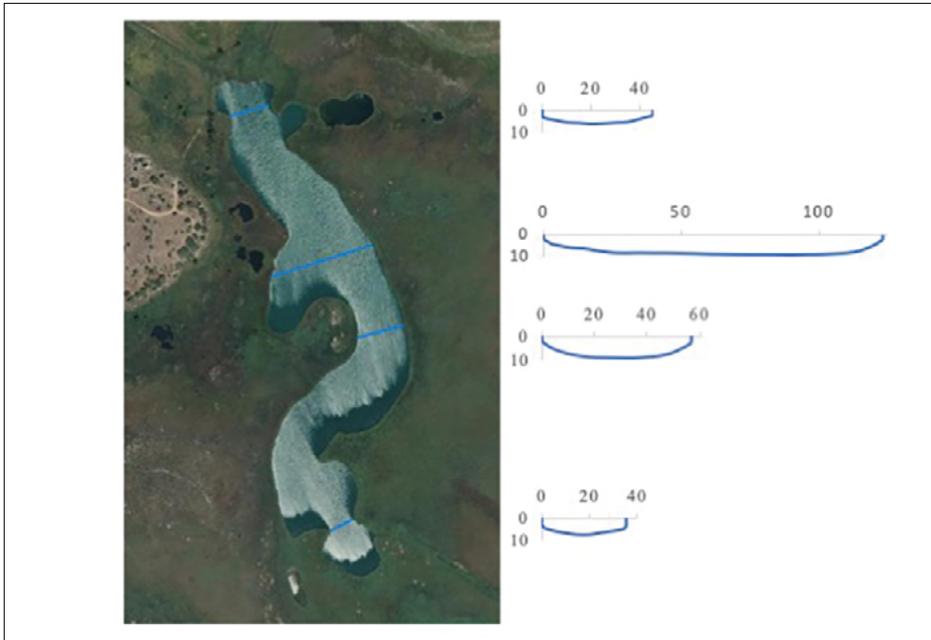
Con los datos de concentración de cada elemento en el agua y de caudal se calcularon las masas transportadas (concentración x caudal) y se determinaron balances como cocientes entre las entradas y las salidas superficiales del humedal para cada uno de ellos.

Para dilucidar relación estadística significativa entre dos variables se empleó el análisis de correlación. La prueba de la *t* de Student se utilizó para comprobar diferencias significativas entre pares. La información sobre la columna de agua para el conjunto de variables examinadas en verano, tanto a nivel espacial en la laguna (todas las estaciones, dos años), como local (estación 3, diez años de seguimiento), se ha resumido mediante análisis de componentes principales (ACP). Este conjunto de análisis se ha llevado a cabo con SPSS (IBM SPSS Statistics, versión 28.0.1.1).

### 3. RESULTADOS

El elemento más llamativo del humedal sobre el que se ha desarrollado la mayor parte de este trabajo es la lámina de agua libre. Los resultados

del estudio batimétrico de la laguna, realizado con el único propósito de comprobar si se había producido alguna modificación con respecto a los resultados de González *et al.* (1991), han puesto de manifiesto un vaso bastante regular, con profundidades en las orillas de entre dos y tres metros, alcanzándose, en la mayoría de los casos, el 70% de la profundidad máxima de cada transecto a sólo 5 m de la orilla (figura 3). Las profundidades máximas fueron de 6,2 m en el transecto I, de 9,3 m en el II, de 8,75 m en el III y de 7 m en el IV.



**Figura 3.** Imagen de la laguna tomada a través del visor SIGNA sobre la que se han señalado los transectos (de arriba abajo, I, II, III y IV) realizados para las medidas batimétricas. A la derecha se muestran los perfiles de anchura (eje horizontal) y profundidad (eje vertical) obtenidos para cada transecto.

Al margen del análisis batimétrico anterior, en la estación 3 la profundidad máxima de la columna de agua se situó entre 9,1 y 9,4 m a lo largo de los diez años. En el resto de las estaciones las profundidades máximas oscilaron entre los 2,2 m, de la estación 1, y los 8,75, de la 4.

Los resultados de las variables medidas *in situ* durante el periodo de estudio, tanto en ríos como en la estación 3 de la laguna, se resumen en la tabla 2. El caudal registrado en los diferentes cursos de agua en verano se situó entre 0 y 239 l/s, para los tributarios, y entre 0 y 307 l/s, para los emisarios. Como se observa en la tabla, los valores encontrados en otras épocas del año (Abril y Diciembre, ver Metodología) amplían esos rangos. Los dos únicos cauces que mantuvieron flujo de agua en todas las ocasiones

fueron el río Pontezuelas, tributario al humedal, y el Canal, emisario del mismo. Por lo que respecta a la temperatura, el rango de valores de verano, entre 13,5 y 18 °C para tributarios, lo estableció el río Pontezuelas, quedando los del arroyo del Sabinar dentro del mismo. Los emisarios presentaron valores más altos, al ser alimentados por las aguas superficiales de la laguna, más calientes (tabla 2). En la laguna, la temperatura de verano para los diez años de estudio se movió entre los 15,3 °C, cerca del fondo, y los 22,8 de la superficie. La mayor diferencia entre fondo y superficie de la laguna se dio en 2010, entre 15,1 y 21,4 °C; la mínima se produjo en 2019, entre 18,1 y 20,9 °C. La termoclina (máximo gradiente de la temperatura con la profundidad, °C/m) varió entre 1,7 °C/m, en el primer metro de profundidad en 2010, y 0,5 °C/m de los 7 a los 8 metros de profundidad en 2018 (figura 4A). El rango de los valores de pH en verano estuvo entre 7,22 y 8,79 para los tributarios, y entre 7,14 y 8,23 para los emisarios; en la estación 3 de la laguna oscilaron entre 7,04, en la zona profunda, y 8,01, en superficie, con la mayor variabilidad vertical (más de 8 décimas) en 2012 (figura 4B). La conductividad osciló entre los 542 µS/cm, medidos en la Reguera, y los 715 µS/cm registrados en el arroyo del Sabinar. En la laguna, aún encontrándose dentro de ese rango, la conductividad tendía a aumentar con la profundidad (tabla 2, figura 4C). La época del año apenas hacía variar ese rango de valores. La comparativa de la conductividad entre el tributario y el emisario permanentes indica que, en general, el agua sale con menos sales de la que entra por escorrentía superficial ( $t = 6,3, p < 0,01$ ).

**Tabla 2. Localización y rangos de valores para las variables medidas in situ a lo largo del periodo de estudio (2010-2019) en tributarios (Pontezuelas y Sabinar), emisarios (Canal, Canal 2, Reguera y Reguera 2) y en la estación 3 de la laguna a varias profundidades. Para ésta se incluyen dos parámetros más analizados en laboratorio: valores de sólidos en suspensión (SS en términos de peso seco libre de cenizas, PSLC) y concentración de clorofila a. Los rangos sin paréntesis se refieren a valores en verano, los indicados entre paréntesis recogen los encontrados también en otras épocas del año (Abril y Diciembre, ver Metodología).**

Estación	Coordenadas	Caudal l/s	Temperatura °C	pH	Conductividad µS/cm	Oxígeno mg/l	Oxígeno %
Pontezuelas	38°49'02" N 2°22'07" W	1,2-239 (1,2-365)	13,5-18,0 (9,0-18,0)	7,73-8,79 (7,54-8,79)	644-703 (644-741)	7,1-10,3 (7,1-10,5)	79,2-115,0 (78,2-115,0)
Sabinar	38°48'43" N 2°22'34" W	0-24,1 (0-25,6)	16,0-17,0 (13,0-17,0)	7,22-7,8 (6,46-7,8)	656-715 (656-715)	6,7-7,9 (6,7-8,9)	75,0-91,4 (69,2-97,2)
Canal	38°48'11" N 2°21'58" W	14,2-307 (14,2-398)	18,1-21,4 (3,1-21,4)	7,14-7,8 (7,1-8,5)	588-666 (588-725)	2,7-7,4 (2,7-9,1)	32,4-77,4 (32,4-92,0)





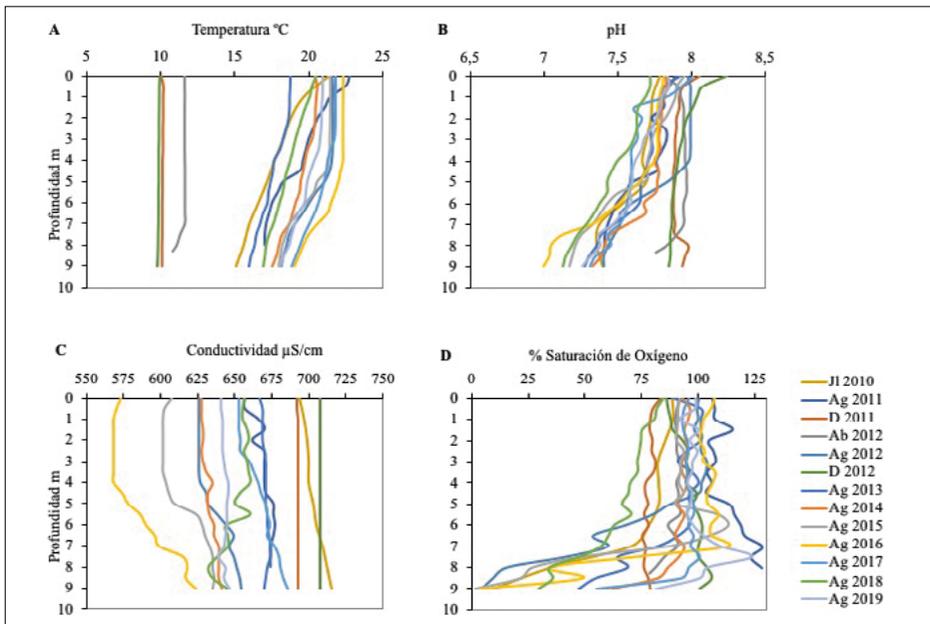
Estación	Coordenadas	Caudal l/s	Temperatura °C	pH	Conductividad µS/cm	Oxígeno mg/l	Oxígeno %
Canal 2	38°48'05" N 2°22'00" W	0-103 (0-217)	20,1-23,7 (7,2-23,7)	7,59-7,84 (7,59-8,13)	641-658 (641-700)	7,4-8,7 (7,4-10,8)	90,8-113,0 (85,5-127,0)
Reguera	38°47'53" N 2°22'10" W	0-100 (0-155)	19,3-22,7 (7,2-22,7)	7,42-8,07 (7,42-8,15)	542-664 (542-701)	6,0-9,2 (6,0-12,9)	76,3-113,0 (76,3-146,0)
Reguera 2	38°47'53" N 2°22'09" W	0-6,7 (0-276)	20,4-23,2 (7-23,2)	7,74-8,23 (7,72-8,23)	596-660 (596-660)	7,7-8,8 (7,7-11,5)	96,1-112,5 (94,5-118,0)
<b>Estación 3 de la laguna 38°48'29" N 2°22'13" W</b>	<b>SS mg/l PSLC</b>	<b>Clorofila a µg/l</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad µS/cm</b>	<b>Oxígeno mg/l</b>	<b>Oxígeno %</b>
0 m	0,21-2,13	0,29-2,29	18,8-22,8 (10,0-22,8)	7,72-8,01 (7,72-8,24)	573-694 (573-708)	6,9-8,4 (6,9-8,9)	84,7-107,2 (83,7-107,2)
3 m	1,06-3,73	0,26-4,59	18,3-22,3 (9,9-22,3)	7,61-7,99 (7,61-7,99)	568-700 (568-708)	6,1-8,8 (6,1-9,7)	73,1-107,6 (73,1-107,6)
6 m	1,24-2,08	0,39-1,60	16,6-21,5 (9,9-21,5)	7,38-7,68 (7,38-7,95)	590-705 (590-708)	5,4-10,2 (5,4-10,4)	63,0-118,9 (63,0-118,9)
8,5 m	1,64-4,67	0,3-3,18	15,3-19,3 (9,8-19,3)	7,04-7,4 (7,04-7,96)	617-713 (617-713)	0,8-8,4 (0,8-10,9)	9,2-128,3 (9,2-128,3)

Las aguas se encontraban bien oxigenadas, si bien en alguna ocasión, tanto en el Canal como en aguas profundas de la laguna llegamos a encontrar valores que marcan los límites inferiores de los rangos, aunque sin llegar a la anoxia (tabla 2). En sentido contrario, algunos veranos, los niveles de oxígeno en profundidad llegaban a estar por encima del valor de saturación (2011, 2015, 2016 y 2019), diferenciándose claramente de los de otras épocas del año (Abril, Diciembre), más homogéneas a lo largo de la columna de agua (figura 4D). Como variables medidas en la estación 3 de la laguna, la profundidad de visión del disco de Secchi arrojó valores entre 2,25 y 4,8 m, dependiendo del muestreo; las medidas obtenidas en 2010 y 2011 en el resto de estaciones se situaron entre los 2,2 m de la estación 2 y los 5,75 m de la 4. La concentración de la fracción orgánica (en términos de peso seco libre de cenizas) de los sólidos en suspensión en la columna de agua varió entre 0,21 y 4,67 mg/l, con los valores más elevados situándose a 3 m de profundidad y cerca del fondo (tabla 2). Este patrón fue semejante para el caso de la concentración de clorofila *a*, que osciló entre 0,26 y 4,59 µg/l. La correlación de Pearson entre ambas variables resultó altamente significativa ( $r = 0,68$ ,  $p < 0,01$ ).

**Tabla 3. Rangos de valores para las variables químicas medidas en laboratorio a lo largo del periodo de estudio, tanto en tributarios como en emisarios, así como en la estación 3 de la laguna (a varias profundidades). Los rangos sin paréntesis se refieren a valores en verano, los indicados entre paréntesis recogen valores encontrados también en otras épocas del año.**

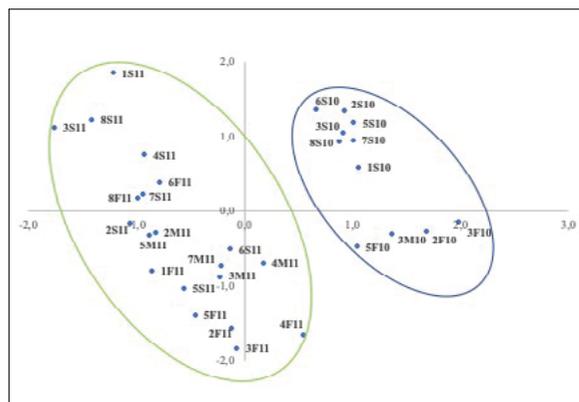
Estación	Alcalinidad meq/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	NH <sub>4</sub> -N µg/l	NO <sub>3</sub> -N µg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> -P µg/l
Pontezuelas	6,0-6,6 (6,0-6,8)	39,0-65,6 (39,0-71,8)	0,7-1,5 (0,4-1,9)	16,2-23,8 (16,2-26,6)	4,0-5,1 (4-5,3)	7,5-16,8 (7,5-16,8)	14,3-29,6 (14,3-30,7)	11,6-72,0 (11,6-72,0)	7,2-16,9 (2,7-16,9)	24,7-44,5 (18,9-44,5)	1,4-22,0 (1,4-22,0)
Sabinar	5,5-5,8 (5,4-5,8)	51,4-90,0 (51,4-90,0)	0,6-1,8 (0,6-1,8)	14-23,3 (14-23,3)	3,8-4,7 (3,8-5,0)	5,3-9,7 (5,3-11,2)	17,5-31,5 (17,5-36,7)	10,8-58,3 (9,0-58,3)	7,4-15,3 (3,0-15,3)	29,0-55,0 (29,0-55,0)	7,8-18,5 (2,4-24,0)
Canal 1	5,2-6,0 (5,2-6,3)	37,8-72,9 (37,8-81,8)	0,8-1,7 (0,8-2,2)	16,4-21,7 (16,4-24)	4,1-6,2 (4,1-6,2)	4,6-15,0 (4,6-31,0)	11,4-34,1 (11,4-37,2)	10,8-51,2 (10,8-51,2)	7,5-24,6 (1,5-24,6)	15,7-33,3 (15,7-33,9)	4,9-24,5 (2,8-24,5)
Canal 2	5,4-5,9 (5,4-6,0)	39,1-47,4 (34,3-78,0)	1,0-1,2 (1,0-1,9)	18,7-21,4 (13,3-24,3)	4,1-4,9 (3,7-5,2)	9,7-10,5 (7,2-16,5)	23,8-26,1 (22,5-35,1)	18,2-44,2 (10,8-44,2)	2,0-17,9 (2,0-17,9)	31,4-38,7 (17,6-40,2)	11,1-33,4 (0,7-33,4)
Reguera 1	4,4-6,1 (4,4-6,1)	35,9-62,7 (35,9-81,4)	0,6-1,6 (0,6-2,5)	16,4-22,2 (16,4-23,4)	3,9-6,2 (3,9-6,2)	6,6-13,4 (6,6-15,4)	13,8-29,5 (13,8-34,4)	15,9-76,0 (7,3-76,0)	1,3-20,5 (1,3-20,5)	16,0-31,4 (16,0-38,6)	1,8-25,1 (1,8-25,1)
Reguera 2	5,1-6,1 (5,1-6,1)	33,6-50,4 (33,6-77,6)	1,0-1,2 (1,0-2,3)	19,0-20,4 (16,3-23,9)	4,8-5,4 (4,1-5,4)	9,5-10,1 (8,0-13,4)	23,1-27,0 (18,9-33,6)	15,9-70,1 (5,6-70,1)	10,9-20,5 (0,2-20,5)	20,0-38,9 (20,0-38,9)	2,8-13,5 (2,8-28,8)
Estación 3 (0 m)	5,1-6,1 (5,1-6,2)	39,2-65,5 (39,2-82,3)	0,7-1,6 (0,7-2,1)	13,0-20,7 (13,0-23,1)	3,1-5,2 (3,1-5,2)	7,1-13,1 (7,1-14,1)	16,4-29,6 (16,4-29,6)	12,4-57,2 (12,4-103,2)	15,8-39,5 (2,7-39,5)	24,3-41,7 (24,3-41,7)	4,9-33,1 (4,2-33,1)
Estación 3 (3-4 m)	5,2-6,1 (5,2-6,2)	41,8-77,5 (41,8-77,5)	0,7-1,5 (0,7-2,2)	17,8-21,1 (17,8-23,9)	4,4-5,3 (4,4-5,3)	7,4-11,5 (7,4-11,5)	20,4-29,7 (20,4-29,7)	24,2-72,3 (24,2-72,3)	14,6-42,6 (3,4-42,6)	22,0-37,2 (22,0-37,2)	1,4-12,2 (1,4-12,2)
Estación 3 (7,5-8,5 m)	5,6-6,4 (5,6-6,4)	41,2-127,0 (41,2-127,0)	0,9-1,9 (0,9-2,2)	14,8-21,2 (14,8-24,1)	3,8-5,4 (3,8-6,5)	5,9-10,5 (5,9-14,5)	15,2-30,7 (15,2-32,6)	29,1-111,5 (29,1-134,5)	21,2-105,7 (4,1-105,7)	15,4-39,2 (15,4-39,2)	1,8-17,9 (1,8-17,9)

Los resultados del resto de componentes del agua analizados se presentan en la tabla 3. Los análisis de las muestras de verano durante los diez años del estudio indican que la alcalinidad osciló entre 4,4 y 6,6 meq/l, en aguas corrientes, y entre 5,1 y 6,4, en la laguna; el  $\text{Ca}^{2+}$ , entre 33,6 y 90 mg/l en ríos y de 39 a 127 en la laguna; los rangos de valores para  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  difirieron poco entre los cursos de agua y la laguna. Los rangos más dispares entre uno y otro tipo de masa de agua se dieron en el caso del  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  (10,8-76 para ríos y 12,4-111,5 para la laguna) y del  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  (1,3-24,6 y 14,6-105,7, respectivamente).



**Figura 4.** Perfiles verticales de Temperatura (A), pH (B), Conductividad (C) y % de Saturación de oxígeno (D) en la estación 3 de la laguna en cada fecha de muestreo.

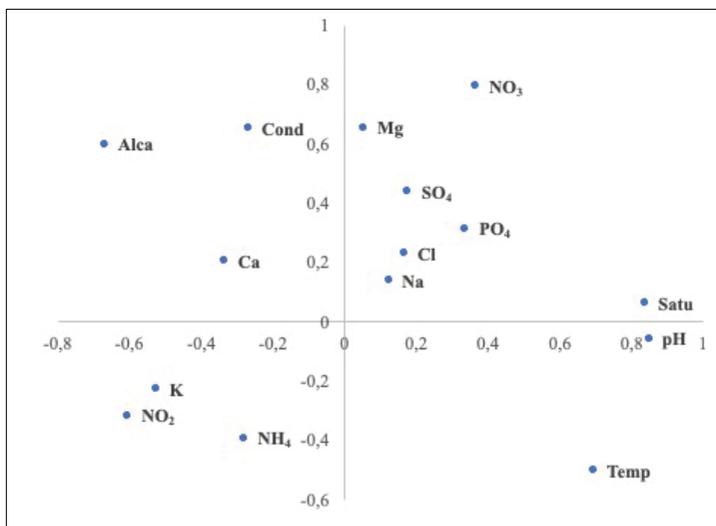
**Figura 5.** Distribución de muestras en el plano definido por los dos primeros ejes (1, horizontal; 2, vertical) de un Análisis de Componentes Principales (ACP) llevado a cabo sobre los datos de las variables físico-químicas de las ocho estaciones (estudio espacial, años 2010 y 2011) de la laguna. El primer número de cada código indica la estación de muestreo, la letra indica superficie (S), profundidad media (M) o fondo (F), las dos últimas cifras se refieren al año (2010 ó 2011).



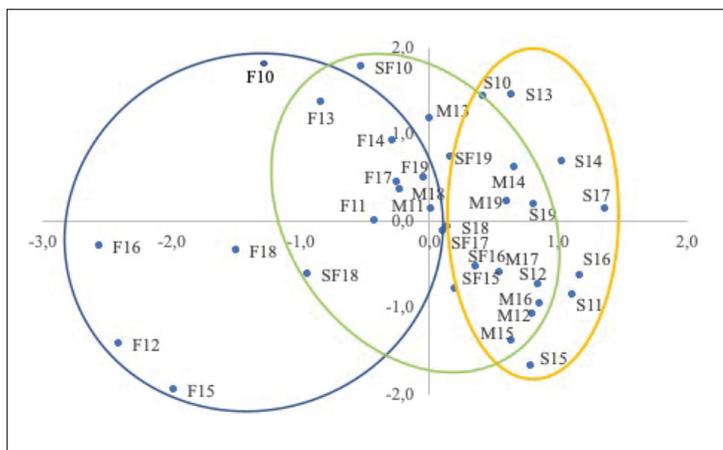
Dada la diferencia de profundidades entre estaciones litorales y centrales de la laguna, muestreadas en 2010 y 2011 con objeto de obtener información de la misma a nivel espacial, únicamente se presenta un resumen de los resultados de la físico-química del agua mediante un análisis de componentes principales (figura 5). La varianza explicada por los dos primeros ejes es del 58,9 %. Se pone de manifiesto la diferencia temporal ligada a ligeros cambios de mineralización del agua (conductividad y alcalinidad son las variables que más explican el eje 1); el eje 2, relacionado con la variación de temperatura, así como con pequeñas diferencias en cationes y aniones, provoca una mayor dispersión de los datos del verano de 2011. Por lo que al seguimiento largo se refiere (datos sólo de la estación 3 durante diez años), la información queda resumida en las figuras 6 (plano de las variables) y 7 (plano de las muestras). Los dos primeros componentes explican el 42,6 % de la varianza total de los datos; el primero, con el 23,9 %, está relacionado fundamentalmente con el pH y el porcentaje de saturación de oxígeno, en la parte positiva, y con la alcalinidad y el  $\text{NO}_2^-$ , en la negativa; el eje 2 (18,7 %) viene marcado por el  $\text{NO}_3^-$  y por la conductividad, en la parte positiva y, en menor medida, por la temperatura, en la negativa (figura 6). Sin representar, el tercer eje (17,2 %) informa, esencialmente, de los aniones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ ; ninguno de los demás componentes alcanza el 10 % de la varianza. Esa combinación de variables produce que, en el plano de las muestras (figura 7), localicemos las de la superficie de la laguna en el extremo positivo del eje 1, mientras que en el lado opuesto se sitúan las de zona profunda. Entre ambas quedan las de profundidades intermedias. Así pues, este eje informa de la variabilidad vertical de la columna de agua, relacionada con procesos fotosintéticos, pero afectada por variables que informan del eje 2 ( $\text{NO}_3^-$ , Conductividad), lo cual produce una dispersión importante de las muestras de cada profundidad de la columna de agua a lo largo de este segundo eje, y representa una variabilidad en el tiempo de las condiciones de cada una de ellas.

La tabla 4 resume los resultados más relevantes en cuanto a los balances de masas. En ella se recogen las entradas al humedal, tanto de agua por escorrentía superficial, como de los cationes y aniones contenidos en la misma, así como los cocientes (balances) entre las entradas del conjunto de tributarios y las respectivas salidas por el conjunto de emisarios en cada muestreo. Se han añadido estadísticos descriptivos (media y desviación típica en cada caso), así como significación estadística de las relaciones entre entradas y salidas (correlación de Pearson) y de las diferencias entre las mismas (prueba de la t). Por simplificar, se obvia incluir las salidas de cada elemento en la tabla, habida cuenta que son fácilmente calculables a partir de cada entrada y su respectivo cociente E/S. De los datos expuestos se desprende que, salvo en el caso del  $\text{NO}_2^-$ , se daba una estrecha relación entre las entradas de cada elemento y sus respectivas salidas, aunque la cantidad de masa de cualquier

elemento que entraba al humedal no llegaba a alcanzar, por término medio, el 45 % de las salidas del mismo. La significación de las diferencias entre entradas y salidas para todas las substancias abunda en ello.



**Figura 6.** Distribución de variables en el plano definido por los dos primeros ejes (1, horizontal; 2, vertical) del Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado con los datos de las variables físico-químicas de la estación 3 a lo largo de los diez años.



**Figura 7.** Distribución de muestras en el plano definido por los dos primeros ejes (1, horizontal; 2, vertical) del Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado con los datos de las variables físico-químicas de la estación 3 a lo largo de los diez años. En cada código, las letras indican superficie (S), profundidad media (M), profundidad sobre fondo (SF) y fondo (F), el número de dos cifras hace referencia al año (de 2010 a 2019).

**Tabla 4. Entradas (E) por los tributarios (Pontezuelas y Sabinar) de los distintos elementos al humedal, así como balances expresados mediante el cociente E/S (entrada por tributarios y salida por emisarios) en los distintos muestreos. Se muestra la media y la desviación estándar (DE) para el conjunto de datos de cada variable. Se indica el nivel de significación (\*\*, p<0,01; \*, p<0,05) del coeficiente de correlación entre entradas y salidas y de la prueba t de las diferencias entre entradas y salidas de cada elemento.**

Variable	Fecha												Media	DE	Correlación de Pearson entre E y S	Prueba t de E-S
	12/8/10	11/8/11	15/8/12	16/8/13	14/8/14	14/8/15	18/8/16	17/8/17	18/8/18	16/8/19						
E hídrica, l/s	264	102	1	234	93	31	3	13	128	79	94,8	92,6	0,92**	-4,83**		
E/S hídrica	0,55	0,55	0,08	0,77	0,58	0,29	0,02	0,11	0,39	0,63	0,40	0,26				
E Ca, mg/s	11 597	6028	59	10 576	6209	1206	113	774	7135	4721	4841,7	4243,5	0,86**	-4,84**		
E/S Ca	0,57	0,68	0,06	0,72	0,58	0,22	0,02	0,09	0,37	0,74	0,41	0,29				
E K, mg/s	295	102	1	183	86	30	2	5	114	112	92,9	93,1	0,79**	-3,22*		
E/S K	0,49	0,52	0,06	0,69	0,54	0,24	0,02	0,05	0,21	0,87	0,37	0,30				
E Mg, mg/s	6108	2233	25	5385	1784	68	58	307	2621	1230	1981,9	2203,0	0,90**	-3,64**		
E/S Mg	0,61	0,72	0,09	0,87	0,65	0,35	0,03	0,12	0,37	0,47	0,43	0,29				
E Na, mg/s	1053	477	5	1131	416	150	14	61	620	349	427,6	407,3	0,83**	-4,03**		
E/S Na	0,50	0,62	0,07	0,78	0,58	0,30	0,02	0,09	0,30	0,52	0,38	0,26				
E Cl, mg/s	2889	1030	20	1712	708	306	30	105	1069	776	864,5	895,5	0,91**	-3,79**		
E/S Cl	0,52	0,65	0,09	0,64	0,49	0,31	0,02	0,20	0,29	0,61	0,38	0,23				
E SO4, mg/s	5140	1938	19	3562	1605	487	58	188	1917	2238	1715,1	1665,9	0,88**	-4,43**		
E/S SO4	0,43	0,47	0,04	0,47	0,31	0,19	0,02	0,14	0,22	0,65	0,29	0,21				
ENH4-N, mg/s		5185	87	5778	1073	899	95	304	3378		2100,0	2344,5	0,79*	-2,67*		
E/S NH4-N		0,53	0,12	1,23	0,62	0,40	0,04	0,14	0,40		0,44	0,38				
ENO2-N, µg/s		1689	9		1147	294	32	113	967		607,0	661,2	0,58	-4,13**		
E/S NO2-N		0,70	0,03		0,60	0,17	0,01	0,13	0,32		0,28	0,28				
ENO3, mg/s	9434	3545	33	5926	2579	923	90	349	3226	3367	2947,2	2966,6	0,93**	-4,01**		
E/S NO3	0,60	0,70	0,09	0,64	0,52	0,34	0,03	0,19	0,32	0,81	0,43	0,27				
E PO4-P, µg/s	5721	225	2	4498	836	110	44	66	1124		1402,9	2158,7	0,98**	-2,83*		
E/S PO4-P	0,73	3,07	0,01	0,59	1,08	0,11	0,08	0,05	0,46		0,69	0,97				

Al buscar relaciones de entradas o salidas de agua, o de sus componentes químicos, con el régimen de precipitaciones, y usando varios periodos previos a cada muestreo, se ha visto que, de los examinados, sólo el equivalente a lo que podríamos considerar prácticamente un año hidrológico, en este caso desde septiembre a julio previo al muestreo, ha mostrado que todas las entradas, excepto la de  $\text{NO}_2^-$ , presentan relación altamente significativa ( $p < 0,01$ ) (tabla 5); periodos de precipitaciones más cortos sólo muestran significación estadística con algunas entradas pero no con nutrientes nitrogenados y fosfato. En el caso de las salidas, se da el mismo tipo de significación para todas, excepto las de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_2^-$ ; adicionalmente, aunque en menos casos, se han encontrado relaciones altamente significativas ( $p < 0,01$ ) con el periodo febrero-julio previo. La menor o nula significación se ha dado con los compuestos nitrogenados y fosfato (tabla 5).

**Tabla 5. Precipitaciones (P) correspondientes a cada año hidrológico (Octubre-Septiembre) y a cada uno de los periodos con los que se han tratado de relacionar (correlación de Pearson) las entradas y salidas de agua y de sus componentes químicos en el humedal. Datos de la estación 8167 El Ballestero de la AEMET. N.S.: no significativo.**

Año hidrológico	P anual mm	P Sept-Jl mm	P Feb-Jl mm	P Abr-Jl mm	P May-Jl mm	P Jn-Jl mm
2009/10	914,2	862,9	385,1	171,0	62,2	62,2
2010/11	569,0	605,4	237,4	127,1	75,5	18,4
2011/12	377,3	285,5	151,8	84,3	35,0	11,7
2012/13	864,2	842,1	379,3	124,7	71,8	11,3
2013/14	400,7	437,9	219,3	61,8	29,8	20,5
2014/15	435,2	363,2	160,2	47,8	26,8	9,6
2015/16	428,7	464,5	305,7	179,3	104,4	36,2
2016/17	440,1	426,8	208,8	80,4	47,3	33,7
2017/18	643,0	612,3	458,2	214,8	158,1	61,6
2018/19	561,6	422,9	244,1	216,8	21,2	3,0
Relación de las Entradas por escorrentía superficial con las precipitaciones		p < 0,01 N.S.: $\text{NO}_2^-$	p < 0,05 N.S.: $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4$	N.S.	N.S.	N.S.
Relación de las Salidas por escorrentía superficial con las precipitaciones		p < 0,01 N.S.: $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_2^-$	p < 0,01 p < 0,05: $\text{NO}_2^-$ N.S.: $\text{NH}_4^+$ , $\text{PO}_4$	N.S.	N.S.	p < 0,01: K p < 0,05: Caudal, Ca, Na, Cl, $\text{SO}_4$ , $\text{NO}_3^-$ N.S.: Mg, $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{PO}_4$

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aunque en este trabajo se estudia un aspecto en particular, la físico-química del agua de un humedal, la información adicional que se puede obtener por diversos medios es de gran ayuda a la hora de interpretar los resultados

obtenidos. Por ejemplo, los visores geográficos proporcionan información relativa al relieve, la geología o los usos del suelo, muy útiles para explicar la físico-química de las aguas. En España, las Confederaciones Hidrográficas, por su parte, también disponen de grandes bases de datos sobre las masas de agua del territorio de su competencia. No menos importante es la información climatológica de acceso libre de diversas agencias de meteorología. Así, aprovechando el visor SIGNA (IGN, 2023a,b,c), la información disponible en la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ, 2024a,b), y las bases de datos de la AEMET (2024), hemos realizado una presentación del área de estudio en su contexto geográfico, geológico, climático, hidrográfico, de usos del suelo y del estado de las aguas con suficiente nivel de detalle para un trabajo como el que nos ocupa. Todo ello permite situar el humedal de los Ojos de Villaverde en el contexto de los humedales manchegos (Florín, 1999; Florín y Montes, 1999), en clima mediterráneo, con una geología que confiere la naturaleza alcalina de sus aguas y unos usos del suelo que también imprimen su firma en los nutrientes disponibles, dado que, como hemos visto, las tierras de cultivo llegan a representar más del 40 % de la superficie de su cuenca hidrográfica.

Los estudios precedentes relativos a un sistema en particular representan la base sobre la que continuar conociendo. Por lo que a la laguna de los Ojos de Villaverde respecta, el trabajo más completo realizado hasta la fecha es el de González *et al.* (1991), y sirve de base para, tres décadas más tarde, comprobar la constancia o el cambio en la condición química de la laguna, añadiendo información adicional sobre el funcionamiento hidroológico y químico.

La mayor parte de los estudios sobre humedales manchegos han puesto el foco en la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda (ej., Florín *et al.*, 1993; Florín y Montes, 1999; Sánchez-Carrillo y Angeler, 2010; Miguel-Ruano y Sánchez-Carrillo, 2020; García-Ayllón y Radke, 2021). La laguna de los Ojos de Villaverde marca diferencias con muchos de los humedales sometidos al estrés hídrico y que se secan en verano en esa zona de La Mancha. De hecho, aunque tributarios y emisarios secundarios llegan a secarse, esta laguna mantiene una lámina de agua permanente que supone disponer de un acuífero con la suficiente importancia como para ir reponiendo las enormes cantidades de agua que se pierden por evaporación, transpiración y escorrentía durante el verano. A modo de ejemplo, las pérdidas por transpiración de *Phragmites australis*, uno de los macrófitos dominantes en este humedal, pueden alcanzar los 7 mm/d, como ocurre en Las Tablas de Daimiel (Sánchez-Carrillo *et al.*, 2004). Traducidos esos valores para la extensa orla de macrófitos de la laguna de los Ojos de Villaverde, la pérdida de agua por transpiración podría representar más de 20 l/s en pleno verano, un valor mayor que el caudal de salida por escorrentía superficial medido en el verano de 2012. Con la evaporación ocurre otro tanto. Vystavna *et al.*

(2021), en un estudio de 1257 lagos, mostraron que las pérdidas por evaporación son por lo general superiores al 20 % de las entradas (incluidos los aportes subterráneos) y que, en ambientes áridos, esas pérdidas llegan a representar más del 40 % de las entradas totales. Por lo expuesto, integrar ecología e hidrogeología en el estudio de humedales dependientes del agua subterránea parece justificado (González Bernáldez, 1992; Cantonati *et al.*, 2020). Esos resultados implican que los balances de agua basados exclusivamente en entradas y pérdidas por escorrentía superficial están muy lejos de evaluar las aportaciones de agua subterránea y, por ende, de componentes químicos al humedal, las cuales serán mucho más elevadas que los balances sugieren (ver más adelante).

Si la permanencia de una lámina de aguas libres en verano es destacable, no lo es menos la constatada poca oscilación del espesor de la columna de agua, aún cuando la variabilidad en el régimen de precipitaciones ha sido notable de unos años a otros. La respuesta a las precipitaciones sí ha sido clara en los tributarios y emisarios, de los que los de menor entidad han llegado a secarse. La escasa fluctuación en el nivel de agua de la laguna, observado también en estudios previos (Cirujano *et al.*, 1988; González *et al.*, 1991) vuelve a resaltar la importancia del acuífero que la alimenta. Con los datos que hemos registrado, el nivel de agua libre de la laguna ha variado unos 30 cm a lo largo de estos diez años, lo cual reitera que el nivel de agua de la laguna se mantiene bastante constante, con cierta independencia de las precipitaciones a corto término y como consecuencia de la alimentación subterránea que, incluso en época de estiaje, permite un flujo suficiente para mantener el nivel de las aguas sin apenas variación. A diferencia de otros lagos, que muestran memoria hidrológica corta, es decir, respuesta a precipitaciones precedentes inmediatas (ej., Rosenberry y Winter, 2009), en la laguna de los Ojos de Villaverde, por las relaciones entre régimen de precipitaciones y entradas superficiales, esa respuesta parece más ligada al año hidrológico y menos a precipitaciones recientes, que tienden a ser menos importantes a medida que se acerca el verano.

La escasa variación en el nivel de agua permite mantener el ancho cinturón de macrófitos, algunos de los cuales, como *Cladium mariscus* es muy vulnerable a la sequía (Miguel-Ruano y Sánchez-Carrillo, 2020). Las variaciones en el nivel del agua, por pequeñas que sean, pueden hacer que parte de los sedimentos ocupados por los helófitos queden expuestos al aire en las épocas de sequía, con la consecuente influencia en la biogeoquímica del sistema una vez que son restituidas las aguas. De Vicente (2021) apunta un aumento de la disponibilidad de fósforo en la columna de agua de los humedales mediterráneos después de que las aguas vuelven a cubrir los sedimentos secos. La descomposición de los macrófitos acuáticos es fundamental para el reciclaje de nutrientes y el flujo de energía y es un tema que precisa de más investigación en estos ecosistemas (Wang *et al.*, 2024),

máxime si están sometidos a factores de estrés que puedan condicionar este proceso y los organismos implicados (Bao *et al.*, 2023).

Los cursos fluviales que alimentan el humedal presentan una buena oxigenación de las aguas y los resultados sobre su química se ajustan a lo esperado en la tipología de ríos de cabeceras calcáreas, por lo que los valores de conductividad, alcalinidad y pH responden, en general, a esa característica de la cuenca (Moreno *et al.*, 2006), y los del río Pontezuelas son semejantes a los publicados recientemente (Pozo, 2021). El humedal matiza las características de las aguas, de manera que los emisarios presentan una temperatura más elevada (reflejo de la temperatura en superficie de la laguna) y una conductividad ligeramente más baja que la de los tributarios, es decir el agua que sale del humedal lo hace con menos concentración salina que la que recibe por escorrentía superficial. Los valores de alcalinidad y nutrientes están ligeramente por encima de los señalados por Navarro (2006) para los ríos manchegos de esta tipología. En particular, los valores de nitrato son mucho más elevados, semejantes a los de Pozo (2021), lo que debe interpretarse como fruto de la actividad agrícola en la cuenca, al encontrarse gran parte de la misma dentro de una de las zonas vulnerables de contaminación por nitratos de Castilla-La Mancha (Gobierno de Castilla-La Mancha, 2021).

Por localización geográfica y altitud la laguna de los Ojos de Villaverde debería corresponder a un lago monomíctico cálido, pero la alimentación subterránea altera esa tipología, haciéndolo un polimíctico cálido discontinuo (Wetzel, 2001). En una época en la que para clima mediterráneo sería esperable una columna de agua estratificada con clara termoclina, de al menos 1 °C/m, según Margalef (1974), la alimentación subterránea, que favorece la mezcla, evita ese fuerte gradiente y proporciona una imagen de la columna de agua fruto de la interacción entre factores. Si a ello se suma una transparencia elevada, indicada por los valores del disco de Secchi, la producción de la flora acuática sería posible prácticamente a lo largo de toda la columna de agua, como apuntaban González *et al.* (1991). La oxigenación es buena y, salvo en alguna ocasión, los valores bajos de oxígeno cerca del fondo son raros. Debemos tener en cuenta que las aguas subterráneas pueden aportar poco oxígeno o ninguno, por lo que niveles de oxígeno en profundidad alejados de la anoxia durante el verano serían resultado de la producción fotosintética y de la mezcla con las aguas subterráneas. La elevada oxigenación observada entre los 7 y 8 m de profundidad en algunas ocasiones sería un indicio de ello. El informe de la Confederación Hidrográfica del Júcar correspondiente al verano de 2007 (CHJ, 2024c) señalaba sobresaturación de oxígeno entre los 5 y los 7 metros de profundidad, con valores de clorofila *a* más altos a profundidades medias y hacia el fondo, algo común a nuestros resultados.

Si las aportaciones subterráneas son tan importantes como sugiere la discusión precedente, es evidente que las aguas subterráneas que alimentan este humedal determinan la química del agua de la laguna. Adicionalmente, nos encontramos en cabecera de cuenca, por lo que los ríos, de muy escaso recorrido, reflejan la composición del agua subterránea que los alimenta (ej., Drever, 1997). El río Pontezuelas, principal tributario de superficie, llega a secarse sólo tres kilómetros aguas arriba de la estación de muestreo (observación personal), por lo que la composición de sus aguas sería un ejemplo de ello. La conductividad, como medida de la concentración salina y reflejo de la química del agua subterránea, se ha situado por encima de los valores señalados por González *et al.* (1991) a lo largo de todo nuestro estudio, mientras que los de pH han sido semejantes. La variación temporal de la química del agua subterránea no es algo extraño. Una surgencia localizada aguas arriba del humedal, el Ojo de la Estaca, mostró valores de conductividad comprendidos entre 565  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en octubre de 2003, y 743, en abril de 2004 (datos no publicados).

Contrastan los valores más altos que hemos hallado en lo concerniente a nutrientes nitrogenados, particularmente en el caso del nitrato, en línea con los registrados por la CHJ (2024c) en el seguimiento de estas aguas entre 2010 y 2019, pero que han supuesto más del doble de los señalados por González *et al.* (1991), lo que podría ser debido a un aumento en el uso de fertilizantes en periodos posteriores a ese trabajo o a un tiempo de residencia elevado del nutriente en el acuífero. Como se ha señalado más arriba, la laguna se encuentra en una zona vulnerable a la contaminación por nitratos, y datos del Banco Mundial (2024) indican un crecimiento del consumo de fertilizantes agrícolas en España entre 1988 (134,4 kg/ha) y 2003 (175,3 kg/ha). Aunque posteriormente hubo una reducción hasta los 96,9 kg/ha en 2009, más tarde han vuelto a crecer hasta alcanzar los 161,1 kg/ha en 2021. Para Castilla-La Mancha, durante el periodo de estudio, y para el caso de los nutrientes nitrogenados, se ha pasado de un consumo de 101 300 t en 2010 a 83 800 en 2019, con un máximo de 104 600 t en 2014 (MAPA, 2024).

La masa de agua subterránea de la cuenca (080.136B El Jardín) está sujeta a los programas de control de la contaminación de origen difuso sobre el estado químico (CHJ, 2024c). Nuestros resultados confirman el riesgo de incumplimiento de la Norma de Calidad Ambiental (MMAMRM, 2009) en base al nitrato. De hecho, el arroyo del Sabinar, que reflejaría más fielmente la condición química del acuífero, por tener su nacimiento escasos metros aguas arriba del punto de muestreo, llegó a presentar valores de nitrato de hasta 55 mg/L en el verano de 2010.

Otras variables, como la alcalinidad, y el nitrito, sin aparente modelo en el trabajo citado arriba, han mostrado valores más altos en aguas profundas, al igual que ha sucedido con el amonio y el % de saturación de oxígeno.

Aunque no se aprecia una clara estratificación, el resumen de los resultados de la físico-química del agua en el análisis de componentes principales ha puesto de manifiesto la variabilidad vertical como factor explicativo de la situación de la laguna durante el verano. Es común que la conductividad tienda a aumentar con la profundidad, al venir determinada por el acuífero, mientras que la temperatura y el pH descienden hacia el fondo.

Aparentemente, la variabilidad mostrada por entradas y salidas superficiales de agua de un año a otro es compatible con la estabilidad en las entradas subterráneas, la evaporación o el nivel de la laguna, como se ha visto en otros estudios (Rosenberry y Winter, 2009), lo cual es consecuencia de la escasa importancia de las aportaciones por la escorrentía superficial en comparación con la entrada de agua subterránea.

Aunque la dinámica del agua determina substancialmente la de los nutrientes, la actividad biológica condiciona el carácter de fuente o sumidero del humedal para algunos de ellos, como el amonio o el fosfato (Winter y Likens, 2009). En el presente estudio, que sólo aporta datos de verano, hay indicios de que el humedal actúa como sumidero para algunos nutrientes, ya que los cocientes E/S para amonio (2013) y para  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  (2011 y 2014) son superiores a la unidad cuando los del caudal son inferiores. Dada la importancia de los aportes de agua subterránea, como muestran los balances y lo discutido más arriba, un saldo a favor de las entradas superficiales supone asimilación en el humedal, no sólo de lo que entra por superficie, sino de lo que entra por el acuífero. Cook *et al.* (2010) en un estudio a lo largo de 17 años en lagos semiáridos de Australia encuentran retenciones muy importantes de nitrato y fosfato.

Los balances de masas han puesto de manifiesto que la mayoría de las variables están influidas por los aportes de agua subterránea. Los tributarios, por su escaso recorrido, reflejan las características de las aguas subterráneas, por lo que, la mayor parte de los cocientes son semejantes a los del caudal. Se apartan en parte de ese patrón los nutrientes nitrogenados más reducidos ( $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_2^-$ ) y el fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), más ligados a la actividad biológica y, por lo tanto, más cambiantes.

Si se exceptúa el caso del nitrato, los parámetros físico-químicos medidos en las aguas corrientes de este trabajo han proporcionado valores que corresponden a aguas de buena calidad, según los criterios establecidos en la legislación (MAAMA, 2015), y era lo esperable en esta comarca (Pozo, 2021). En el caso de la laguna, nuestros resultados no difieren mucho de los proporcionados por la CHJ en sus informes anuales para el mismo periodo y muestran un estado en base a indicadores físico-químicos entre moderado y bueno, dependiendo de los años (CHJ, 2024c).

En un sistema como el presente, al margen de las afecciones de la agricultura, con cierta frecuencia, durante el pasado siglo, se producía la quema de la vegetación del humedal para favorecer los pastos. En un área

protegida, como lo es hoy en día, esos fenómenos pueden ser ocasionales, como el ocurrido en marzo de 2020 (observación personal, figura 8), pero, como consecuencia, el evento puede provocar la desaparición de especies y la aparición de otras. Parece ser que *P. australis* puede aumentar sus poblaciones en detrimento de otras porque tiene una capacidad de rebrote mayor que la de otras especies tras la quema (Del-Val *et al.*, 2012).



**Figura 8.** Imagen del humedal tras el incendio sufrido en marzo de 2020. Fotografía del autor.

Una de las amenazas a los humedales, al margen del exceso de nutrientes impuesto por las actividades agrícolas en este caso, es el cambio climático. Aunque no es evidente un aumento de la temperatura de la laguna a lo largo de esos diez años, no podemos descartar que no sea vulnerable a ello. O'Reilly *et al.* (2015), en una síntesis de datos de lagos de todo el mundo, pusieron de manifiesto que la temperatura de la superficie del agua creció rápidamente entre 1985 y 2009 (una media global de 0,34 °C por década), en su mayor parte debido al cambio climático, lo cual urge a la necesidad de incorporar los impactos del clima en los planes de seguimiento de los lagos.

El cambio climático no sólo puede producir un aumento de la temperatura de las aguas, sino que también puede modificar los patrones de escorrentía y alterar la dinámica de la estratificación y mezcla de las aguas y la biogeoquímica de los lagos (Jiménez-Navarro *et al.*, 2023). La laguna de los Ojos de Villaverde no es una excepción. El Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar para el periodo 2022-2027 contempla reducciones en los recursos renovables de la misma por el cambio climático (CHJ, 2024a). Aunque no hayamos detectado grandes cambios, cosa que informa de que la laguna no se ha deteriorado apreciablemente, sí se han puesto de manifiesto los factores esenciales del funcionamiento del humedal a nivel hidrológico y químico, por lo que la acumulación de datos en series temporales largas son una herramienta muy útil en el análisis de la respuesta del

ecosistema ante los cambios ambientales, redundando en una mejor gestión del ecosistema.

En definitiva, la complejidad del humedal está condicionada por aportes continuos de agua con independencia de la sequía estival y pone de manifiesto la necesidad de preservar la continuidad tanto de la cantidad como de la calidad de los aportes hídricos. Además, el mantenimiento de la importante orla de helófitos es esencial para el reciclaje de nutrientes, favoreciendo la purificación de las aguas (Billen *et al.*, 2018; Thomaz, 2023), lo que abunda en la necesidad de su conservación. Y ello no exime de tratar de reducir la intensidad del uso del suelo dentro de la cuenca hidrográfica, como se sugiere en otros casos (Novikmec *et al.*, 2016) y, en un área protegida como la que aquí se trata, parece interesante aplicar el concepto de área de influencia de antropización difusa (García-Ayllon y Radke, 2021), es decir, incorporar el análisis espacial de la cuenca hidrográfica en la evaluación de los procesos que puedan deteriorar este tipo de sistemas.

Este trabajo, sin ser pretencioso, representa un esbozo del balance de masas, una herramienta no siempre abordada en el estudio de los sistemas acuáticos, pero que puede aportar información relevante sobre su funcionamiento (Winter y Likens, 2009). Es cierto que en la actualidad se emplean técnicas basadas en isótopos estables para estudiar balances químicos porque arrojan resultados más precisos, pero tampoco son la panacea (Sánchez-Carrillo y Álvarez-Cobelas, 2018) y dependerá de la información que se pretenda obtener. Hemos tratado de extenderlo en el tiempo, sabiendo que tampoco abundan las series temporales y, por modesto que sea, es una aportación que entendemos que contribuye al avance del conocimiento. Sería deseable que los estudios científicos sobre este interesante humedal aumentaran, en particular sobre la columna de agua y sobre el cinturón de helófitos, en la seguridad de que sus resultados serían muy útiles para los gestores de este paraje.

## AGRADECIMIENTOS

La financiación de este estudio proviene del grupo de investigación de Ecología de Ríos de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), que proporcionó los equipamientos empleados, y de las ayudas del Gobierno Vasco/EJ IT302-10 e IT951-16, de las que el autor fue investigador principal. Se agradece el apoyo técnico y humano de los Servicios Generales de Investigación, SGIker (UPV/EHU, MICINN, GV/EJ, FSE) por las medidas de cationes y aniones.

Gracias a la Confederación Hidrográfica del Júcar, por el permiso de navegación, y a la Consejería de Agricultura de Castilla-La Mancha, por el permiso para la toma de datos en la laguna de los Ojos de Villaverde.

Gracias a Juan Carlos Romero, que ha proporcionado los datos de precipitación de la estación meteorológica de la AEMET 8167; a Javier Pérez, por su ayuda en las tareas de laboratorio, y a José Luis Moreno, por su apoyo en las tareas de campo al inicio de este estudio; y a todas las personas que, en algún momento, de uno u otro modo, a lo largo de 10 años prestaron su ayuda.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adrian, R., O'Reilly, C. M., Zagarese, H., Baines, S. B., Hessen, D. O., Keller, W., Livingstone, D. M., Sommaruga, R., Straile, D. Van Donk, E. Weyhenmeyer G. A. y Winder, M. (2009). Lakes as sentinels of climate change. *Limnol. Oceanogr.* 54: 2283-2297. DOI: 10.4319/lo.2009.54.6\_part\_2.2283.
- AEMET (2024). AEMET Open Data. Valores climatológicos. Agencia Estatal de Meteorología. Disponible en: <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/productosAEMET?> (Acceso 17/6/24).
- APHA (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21<sup>st</sup>. Ed. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. Washington, USA. 1288 pp.
- Babinger, F. (2002). La creciente importancia medioambiental de los humedales a modo de recesión bibliográfica. *Observatorio Medioambiental*, 5: 333-347.
- Banco Mundial (2024). Consumo de fertilizantes. Grupo Banco Mundial. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.CON.FERT.ZS> (Acceso 21/5/2024).
- Bansal, S., Creed, I. F., Tangen, B. A., Bridgham, S. D., Desal, A. R., Krauss, K. W., Neubauer, S. C., Noe, G. B., Rosenberry, D. O., Trettin, C., Wickland, K. P., Allen, S. T., Arias-Ortiz, A., Armitage, A. R., Baldocchi, D., Banerjee, K., Bastviken, D., Berg, P., Bogard, M. J., Chow, A. T., Conner, W. H., Craft, C., Creamer, C., DelSontro, T., Duberstein, J. A., Eagle, Me., Fennessy, M. S., Finkelstein, S. A., Göckede, M., Grunwald, S., Halabisky, M., Herbert, E., Jahangir, M. M. R., Johnson, O. F., Jones, M. C., Kelleway, J. J., Knox, S., Kroeger, K. D., Kuehn, K. A., Lobb, D., Loder, A. L., Ma, S., Maher, D. T., McNicol, G., Meler, J., Middleton, B. A., Mills, C., Mistry, P., Mitra, A., Mobilian, C., Nahlik, A. M., Newman, S., O'Connell, J. L., Oikawa, P., Post van der Burg, M., Schutte, C. A., Song, C., Stagg, C. L., Turner, J., Vargas, R., Waldrop, M. P., Wallin, M. B., Wang, Z. A., Ward, E. J., Willard, D. A., Yarwood, S. y Zhu, X. (2023). Practical guide to measuring wetland carbon pools and fluxes. *Wetlands*, 43:105. DOI: 10.1007/s13157-023-01722-2.
- Bao, S., Jin, L., Wu, Q., Xie, S., Xu, J., Peng, S., Liu, C. y Pan, Y. (2023). Effects of interspecific interactions on aquatic macrophyte litter

- decomposition and its influencing factors. *ACS ES&T Water*, 3: 3755-3766. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.3c00256>.
- Billen, G., Ramarson, A., Thieu, V., Théry, S., Silvestre, M., Pasquier, C., Hénault, C. y Garnier, J. (2018). Nitrate retention and the river-watershed interface: a new conceptual modeling approach. *Biogeochemistry*, 139: 31-51. DOI: 10.1007/s10533-018-0455-9.
- Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes (2023). *Ley de Aguas. La norma al día*. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. Madrid. 150 pp.
- Camacho, A., Santamans, A. C., Morant, D., Ferriol, C., Camacho-Santamans, A. y Picazo, A. (2019). *Recopilación de información sobre tipos de hábitat y ecosistemas leníticos de interior en España*. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 50 pp.
- Cantonati, M., Stevens, L. E., Segadelli, S., Springer, A. E., Goldscheider, N., Celico, F., Filippini, M., Ogata, K. y Gargani, A. (2020). Ecohydrology: The interdisciplinary convergence needed to improve the study and stewardship of springs and other groundwater-dependent habitats, biota, and ecosystems. *Ecological Indicators*, 110: 105803. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105803.
- Cirujano, S., Montes, C. y García, L. (1988). Los humedales de la provincia de Albacete. Una panorámica general. *Al-Basit*, 24: 77-95.
- Cirujano, S., Álvarez-Cobelas, M. y Ruiz de la Hermosa, C. (2010). Analysis of applied environmental management strategies for wetland conservation during the last 30 years: a local history. En Sánchez-Carrillo, S. y Angeler, D.G. (eds.), *Ecology of threatened semi-arid wetlands: long-term research in Las Tablas de Daimiel. Wetlands: Ecology, Conservation and Management*, 2:229-237. Springer. Dordrecht.
- Comín, F. A. (2014). *Manual de restauración de humedales en cuencas agrícolas*. Comarca de Los Monegros. Huesca. 84 pp.
- CHJ (2024a). Plan hidrológico de cuenca. Ciclo 2022-2027. Confederación Hidrográfica del Júcar. Disponible en: <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Paginas/PHC-2022-2027-Plan-Hidrologico-cuenca.aspx> (Acceso 20/6/2024).
- CHJ (2024b). Hidrología. Masas de agua superficial. Confederación Hidrográfica del Júcar. Disponible en: <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/cuencahidrografica/Paginas/Hidrolog%C3%ADa.aspx#uno> (Acceso 20/6/2024).
- CHJ (2024c). Redes de control. Confederación Hidrográfica del Júcar. Disponible en: <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/redescontrol/Paginas/RedesdeControl.aspx> (Acceso 14/1/23-6/2/24).
- Cook, P. L. M., Aldridge, K. T., Lamontagne, S. y Brookes, J. D. (2010). Retention of nitrogen, phosphorus and silicon in a large semi-arid riverine lake system. *Biogeochemistry*, 99: 49-63. DOI: 10.1007/s10533-009-9389-6.

- De Vicente, I. (2021). Biogeochemistry of Mediterranean wetlands: a review about the effects of water-level fluctuations on phosphorus cycling and greenhouse gas emissions. *Water*, 13: 1510. <https://doi.org/10.3390/w13111510>.
- Del-Val, E., Pacheco, A. L. y Lindig-Cisneros, R. (2012). Mecanismos de persistencia de *Phragmites australis* en el manantial de La Mintzita. *Biológicas*, 14: 18-22.
- DOCE, 2000. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, ES: L327/1-72.
- DOCM (2006). Decreto 44/2006, de 25-04-2006 por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Laguna de los Ojos de Villaverde, en los términos Municipales de Robledo, Alcaraz, El Ballestero y El Bonillo de la provincia de Albacete, y se declara Reserva Natural de la Laguna de los Ojos de Villaverde y su zona periférica de protección. *Diario Oficial de Castilla-La Mancha*, 89: 9955-9969.
- Dodds, W.K. (2002). *Freshwater ecology. Concepts and environmental applications*. Academic Press. San Diego, Ca, USA. 569 pp.
- Drever, J.I., 1997. *The geochemistry of natural waters. Surface and groundwater environments*. 3rd. Ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, USA. 436 pp.
- Fernández, F. (2000). Los condicionantes climáticos del paisaje. En Consejería de Cultura: *Guía de los espacios naturales de Castilla-La Mancha*: 41-54. Servicio de Publicaciones. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. 5ª Ed. Toledo.
- Fick, S. E. y Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.*, 37: 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.
- Florín, M., Montes, C. y Rueda, F. (1993). Origin, hydrologic functioning, and morphometric characteristics of small, shallow, semiarid lakes (*lagunas*) in La Mancha, Central Spain. *Wetlands*, 13: 247-259.
- Florín, M. (1999). Funciones y valores de los humedales manchegos. *Quercus*, 163: 10-18.
- Florín, M. (2011). Investigación aplicada a la gestión y conservación de los humedales de La Mancha Húmeda. En Pérez, M., Aramburu, M. J. y González, J. L. (eds.), *Reserva de la Biosfera de La Mancha Húmeda: retos y oportunidades de futuro*: 147-155. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.
- Florín, M. y Montes, C. (1999). Functional analysis and restoration of Mediterranean lagunas in the Mancha Húmeda Biosphere Reserve (Central Spain). *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 9: 97-109. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0755\(199901/02\)9:1<97::AID-AQC329>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0755(199901/02)9:1<97::AID-AQC329>3.0.CO;2-F).
- Gao, J., Zhu, S., Li, D., Jiang, H., Deng, G., Wen, Y., He, C. y Cao, Y. (2023). Bibliometric analysis of climate change and water quality.

- Hydrobiologia*, 850: 3441-3459. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05270-y>.
- García-Rodeja, E., Fraga, M. I., Fidalgo, C. y González, J. A. (2009). 7210 Áreas pantanosas calcáreas con *Cladium mariscus* y especies de *Caricion davalliance*. En VV.AA, *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. 62 pp. Ministerio de Medio ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid.
- García-Ayllón, S. y Radke, J. (2021). Diffuse anthropization impacts in vulnerable protected areas: comparative analysis of the spatial correlation between land transformation and ecological deterioration of three wetlands in Spain. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 10, 630. <https://doi.org/10.3390/ijgi10090630>.
- Gobierno de Castilla-La Mancha, 2021. Estudio Ambiental Estratégico del Programa de Actuación aplicable a las Zonas Vulnerables a la Contaminación por Nitratos de origen agrario, designadas en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. PLA-SC-19-0433. Disponible en: [https://www.castillalamancha.es/sites/default/files/documentos/pdf/20211125/5\\_informe\\_evaluacion\\_ambiental.pdf](https://www.castillalamancha.es/sites/default/files/documentos/pdf/20211125/5_informe_evaluacion_ambiental.pdf) (Acceso 22/5/24).
- González, M. A. (2000). El agua. Ríos, lagunas y acuíferos. En Consejería de Cultura, *Guía de los espacios naturales de Castilla-La Mancha*: 55-67. Servicio de Publicaciones. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. 5ª Ed. Toledo.
- González, J.L., González, L.J. & Mujeriego, F.L. (1991). *Introducción a la ecología de la laguna Ojos de Villaverde*. Instituto de Estudios Albacetenses de la Excm. Diputación de Albacete. Serie I – Ensayos Históricos y Científicos, 57. Albacete. 234 pp.
- González, J. A. y Vázquez, A. (2000). Las formas del relieve: llanuras, páramos y montañas. En Consejería de Cultura, *Guía de los espacios naturales de Castilla-La Mancha*: 17-40. Servicio de Publicaciones. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. 5ª Ed. Toledo.
- González Bernáldez, F. (1996). Paisajes freatófiticos. En Martín Duque, J. F. y Montalvo, J. (eds.), *Agua y paisaje. Naturaleza, cultura y desarrollo*: 45-56. Multimedia Ambiental, Madrid.
- Herreros, J. A. (1987). *Introducción al estudio de las zonas húmedas de la provincia de Albacete y su avifauna acuática*. Instituto de Estudios Albacetenses-CSIC, Serie I – Ensayos Históricos y Científicos, 29. Albacete. 132 pp.
- Hinegk, L., Adami, L., Piccolroaz, S., Amadori, M., Moretti, M., Tubino, M. y Toffoln, M. (2023). Multidecadal analysis of Lake Garda water balance. *J. Limnol.*, 82: 2144. DOI: 10.4081/jlimnol.2023.2144.
- IGN (2023a). Sistema de Información Geográfica Nacional (SIGNA). Instituto Geográfico Nacional. Disponible en: <https://signa.ign.es/signa/> (Acceso 15/5/-27/6/ 2023).
- IGN (2023b). Sistema de Información Geográfica Nacional (SIGNA). Instituto Geográfico Nacional. Disponible en: <https://signa.ign>.

- es/signa/, servicio añadido [http://mapas.igme.es/gis/services/Cartografia\\_Geologica/IGME\\_Geode\\_50/MapServer/WMSServer](http://mapas.igme.es/gis/services/Cartografia_Geologica/IGME_Geode_50/MapServer/WMSServer) (Acceso 15/5-27/6/2023).
- IGN (2023c). Sistema de Información Geográfica Nacional (SIGNA). Instituto Geográfico Nacional. Disponible en: <https://signa.ign.es/signa/>, servicio añadido <https://servicios.idee.es/wms-inspire/ocupacion-suelo> (Acceso 15/5/-27/6/ 2023).
- JCCM (2023). Plan de Gestión de Laguna de Los Ojos de Villaverde, ES4210005 (Albacete). Dirección General de Montes y Espacios Naturales, Consejería de Agricultura, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Disponible en: <https://www.castillalamancha.es/gobierno/agrimedambydesrur/estructura/dgapfyen/rednatura2000/zecES4210005> (Acceso 10/10/23).
- Jiménez-Navarro, I. C., Mesman, J. P., Pierson, D., Trolle, D., Nielsen, A. y Senent-Aparicio, J. (2023). Application of an integrated catchment-lake model approach for simulating effects of climate change on lake inputs and biogeochemistry. *Science of the Total Environment*, 885: 163946. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163946>.
- La Calle, A. (2003). El régimen jurídico comunitario e internacional de los humedales. En Paracuellos, M. (ed.), *Ecología, manejo y conservación de los humedales*: 13-23. Instituto de Estudios Almerienses. Almería.
- MAAMA (2015). Real Decreto 817/215, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Boletín Oficial del Estado*, 219: 80582-80677. Madrid.
- MMAMRM (2009). Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. *Boletín Oficial del Estado*, 255: 88201-88215.
- MAPA (2024). Estadística de consumo de fertilizantes en la agricultura. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/estadisticas-medios-produccion/fertilizantes.aspx> (Acceso 21/5/2024).
- Margalef, R. (1974). *Ecología*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona. 951 pp.
- Matamala, J. J. y Aguilar, F. J. (2003). Humedales almerienses. En Paracuellos, M. (ed.), *Ecología, manejo y conservación de los humedales*: 221-244. Instituto de Estudios Almerienses, Almería.
- Miguel-Ruano, M. y Sánchez-Carrillo, S. (2020). El declive de la vegetación acuática en los humedales como respuesta a la degradación ambiental: el caso de la masiega (*Cladium mariscus*) en Las Tablas de Daimiel y su restauración potencial. *Ecosistemas*, 29: 1963. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1963>.
- Morales, J. J., Paes, N. D. S., Silva, A. C. M. y Teixido, A. J. (2023). Fire and water: fire impacts on physicochemical properties of freshwater

- ecosystems. *Fundam. Appl. Limnol.*, 196/2: 137-153. DOI: 10.1127/fal/2023/1488.
- Moreno, J. L., Navarro, C. y De Las Heras, J. (2006). Abiotic ecotypes in south-central Spanish rivers: Reference conditions and pollution. *Environmental Pollution*, 143: 388-396. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.12.012>.
- Navarro, C. (2006). *El estado ecológico de los ríos de Castilla-La Mancha*. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha, CREA. Albacete. 247 pp.
- Novikmec, M., Hamerlík, L., Kocicky, D., Hrivnák, R., Kochjarová, J., Ot'ahel'ová, H., Pal'ove-Balang, P. y Svitok, M. (2016). Ponds and their catchments: size relationships and influence of land use across multiple spatial scales. *Hydrobiologia*, 774: 155-166. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2514-8>.
- O'Reilly, C. M., Sharma, S., Gray, D. K., Hampton, S. E., Read, J. S., Rowley, R. J., Schneider, P., Lenters, J. D., McIntyre, P. B., Kraemer, B. M., Weyhenmeyer, G. A. Straile, D., Dong, B., Adrian, R., Allan, M. G., Anneville, O., Arvola, L., Austin, J., Bailey, J. L., Baron, J. S., Brookes, J. D., de Eyto, E., Dokulil, M. T., Hamilton, D. P., Havens, K., Hetherington, E. L., Higgins, S. N., Hook, S., Izmest'eva, L. R., Joehnk, K. D., Kangur, K., Kasprzak, P., Kumagai, M., Kuusisto, E., Leshkevich, G., Livingstone D. M., MacIntyre, S., May, L., Melack, J. M., Mueller-Navarra, D. C., Naumenko, M., Noges, P., Noges, T., North, R. P., Plisnier, P. D., Rigosi, A., Rimmer, A., Rogora, M., Rudstam, L. G., Rusak, J. A., Salmaso, N., Samal, R., Schindler, D. E., Schladow, S. G., Schmid, M., Schmidt, S. R., Silow, E., Soyly, M. E., Teubner, K., Verburg, P., Voutilainen, A., Watkinson, A., Williamson C. E. Y Zhang, G. (2015). Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe. *Geophys. Res. Lett.*, 42: 10773-10781. <https://doi.org/10.1002/2015GL066235>.
- Paracuellos, M. (ed.) (2003). *Ecología, manejo y conservación de los humedales*. Instituto de Estudios Almerienses, Almería. 257 pp.
- Pinheiro, J. P. S., Windsor, F. M., Wilson, R. W. y Tyler, C. R. (2021). Global variation in freshwater physicochemistry and its influence on chemical toxicity in aquatic wildlife. *Biol. Rev.*, 96: 1528-1546. <https://doi.org/10.1111/brv.12711>.
- Pozo, J. (2021). Campo de Montiel y Sierra de Alcaraz: ríos de cabecera de cuatro cuencas hidrográficas ibéricas. *Rev. estud. Campo Montiel*, 7: 17-44. <https://doi.org/10.30823/recm.72021132>.
- Pulido-Velázquez, D., Collados-Lara, A. J., Pérez-Sánchez, J., Segura-Méndez, F. J. y Senent-Aparicio, J. (2021). Climate change impacts on the streamflow in Spanish basins monitored under near-natural conditions. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 38: 100937. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100937>.
- Rosenberry, D. O. y Winter, T. C. (2009). Hydrologic processes and the water budget. En Winter, T. C. y Likens, G. E. (eds.), *Mirror Lake:*

- interactions among air, land, and water*: 23-68. Freshwater Ecology Series. University of California Press, Berkeley, Ca, USA.
- Sánchez-Carrillo, S., Angeler, D. G., Sánchez-Andrés, R., Álvarez-Cobelas, M. y Garatuza-Payán, J. (2004). Evapotranspiration in semi-arid wetlands: relationships between inundation and the macrophyte-cover: open-ratio. *Advances in Water Resources*, 27: 643-655. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.02.018>.
- Sánchez-Carrillo, S. y Álvarez-Cobelas, M. (2018). Stable isotopes as tracers in aquatic ecosystems. *Environ. Rev.*, 26: 69-81. <https://doi.org/10.1139/er-2017-0040>.
- Sánchez-Carrillo, S. y Angeler, D.G. (eds.) (2010). Ecology of threatened semi-arid wetlands: long-term research in Las Tablas de Daimiel. *Wetlands: ecology, conservation and management*, 2. Springer. Dordrecht. 292 pp. DOI 10.1007/978-90-481-9181-9.
- Serrano de la Cruz, M. A. (2013). La delimitación del Campo de Montiel: principales enfoques y problemáticas. *Rev. estud. Campo Montiel*, 3: 51-84.
- Sartory, D. P. y Grobelaar, J. E. (1984). Extraction of chlorophyll *a* from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia*, 14: 177-187.
- Scheffer, M. (1998). *Ecology of shallow lakes*. Population and Community Biology Series 22. Chapman & Hall, London. 357 pp.
- Thomaz, S. M. (2023). Ecosystem services provided by freshwater macrophytes. *Hydrobiologia*, 850: 2757-2777. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04739-y>.
- Vicente, E., Miracle, R. M., Armengol, J., Camacho, A. y Roca, J. R. (1998). *Estudio limnológico de 28 humedales de Castilla-La Mancha como base para la elaboración del Plan de Ordenación de Recursos Naturales*. Universitat de València. Unidad de Investigación de Limnología. Informe. 405 pp.
- Vystavna, Y., Harjung, A., Monteiro, L. R., Matiatos, I. y Wassenaar, L. I. (2021). Stable isotopes in global lakes integrate catchment and climatic controls on evaporation. *Nature Communications*, 12: 7224. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27569-x>.
- Wang, Q., Zhang, H., Yan, Z., Wang, J., Yu, H., Yu, D. y Liu, C. (2024). Decomposition of exotic versus native aquatic plant litter in a lake littoral zone: stoichiometry and life form analyses. *Science of the Total Environment*, 927: 172271. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172271>.
- Wetzel, R.G. (2001). *Limnology. Lake and river ecosystems*. 3<sup>rd</sup> ed. Academic Press, San Diego, Ca, USA. 1006 pp.
- Wetzel, R.G. y Likens, G.E. (1991). *Limnological Analyses*. 2<sup>nd</sup> Ed. Springer-Verlag, New York. 391 pp.
- Winter, T. C. y Likens, G. E. (eds.) (2009). *Mirror Lake: interactions among air, land, and water*. Freshwater Ecology Series. University of California Press, Berkeley, Ca, USA. 361 pp.

