

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE DIFERENTES MASAS DE AGUA: II CUENCA DEL DUERO (ESPAÑA)

JOSÉ LUIS VELASCO¹, ÓSCAR SORIANO¹, JOSÉ FERNÁNDEZ¹
Y ÁNGEL RUBIO²

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados físico-químicos del estudio realizado durante los años 2000-2001 en tres masas de agua distintas pertenecientes a la cuenca del Duero y localizadas en las provincias de Valladolid, Segovia y Palencia (España). Los datos obtenidos permiten hacer una valoración de dichas aguas por su composición iónica, grado de salinidad, nivel trófico y contenido en materia orgánica.

Palabras clave: Humedales, físico-química, cuenca del Duero, España.

SUMMARY

Physical and chemical characteristics of three water bodies in the Duero basin (Spain) are studied. This water bodies are valued for ionic composition, salinity, trophic level and organic matter content.

Key words: Wetlands, physical and chemical, Duero basin, Spain.

INTRODUCCIÓN

Entre otoño de 2000 y verano de 2001 se estudiaron tres conjuntos de lagunas localizados en la cuenca del Duero con el objetivo de caracterizarlas limnológicamente, como ya se hizo anteriormente con otras masas de agua ubicadas en la cuenca del Tajo (VELASCO *et al.*, 2002). Dicho objetivo nos parece de interés por cuanto la información existente hasta la fecha de las características físico-químicas de las

lagunas estudiadas es muy escasa o inexistente en la mayoría de los casos, lo que implica que cualquier intento de evaluación ambiental carezca en parte de fundamento por la inexistencia de información básica suficiente, teniendo en cuenta la estrecha relación que hay entre el tipo de agua y la flora y fauna asociadas a ella. Así mismo, dicha información también es necesaria como referencia obligada para poder valorar la evolución de estas lagunas a lo largo del tiempo.

¹ Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid. C/ José Gutiérrez Abascal, 2. 29006 Madrid.
E-mail: velascoj@mcn.csic.es mcnh149@mncn.csic.es mcnp115@mncn.csic.es

² Centro de Ciencias Medioambientales. C/ Serrano, 115-bis. 28006 Madrid.

Los conjuntos lagunares referidos son: 1º) en la provincia de Segovia, en el complejo de Cantalejo-Lastras, las lagunas semipermanentes de Navalayegua, Navalagrulla, Navaelsoto, Navahornos y del Carrizal, esta última permanente-fluctuante; 2º) en las provincias de Valladolid y Segovia, en el complejo de Coca-Olmedo, las lagunas temporales de Las Eras y Bodón Blanco; 3º) en el páramo de Palencia las lagunas permanentes-fluctuantes de Pradales, Enmedio y El Campillo.

Sobre las características físico-químicas de estas lagunas sólo hemos encontrado algunos datos referidos a pH, conductividad, aniones y cationes principales y concentración iónica, debidos a ALONSO (1985), ALONSO *et al.* (1987), MOPT (1991), TEMIÑO *et al.* (1995, 1996).

En 1982, en la línea de protección y conservación de los humedales, España ratificó el Convenio Internacional para la Conservación de Humedales (RAMSAR). Por el decreto 194/1994 de 25 de agosto se crea el Catálogo Regional de Zonas Húmedas de interés Especial de la Comunidad de Castilla y León

en el que se incluyen 118 zonas húmedas entre las que se encuentran todas las lagunas aquí estudiadas, excepto las de Palencia. Posteriormente, dicho catálogo fue modificado por el decreto 125/2001 de 19 de abril ampliándose el número de zonas húmedas hasta un total de 179 entre las que se incluyen también las de Palencia.

ÁREA DE ESTUDIO

Los tres conjuntos lagunares anteriormente referidos se sitúan en la submeseta Norte, en la cuenca sedimentaria del Duero, quedando localizadas al Norte de dicho río las tres lagunas del páramo palentino y al Sur los otros dos grupos de lagunas (figura 1). Las lagunas de Palencia están rodeadas de bosque de pino de repoblación pero conservan aún un anillo de vegetación de ribera que confiere a dichas lagunas una belleza paisajística poco frecuente.

La cuenca del Duero, dentro del conjunto de las cuencas hidrográficas españolas, es la que

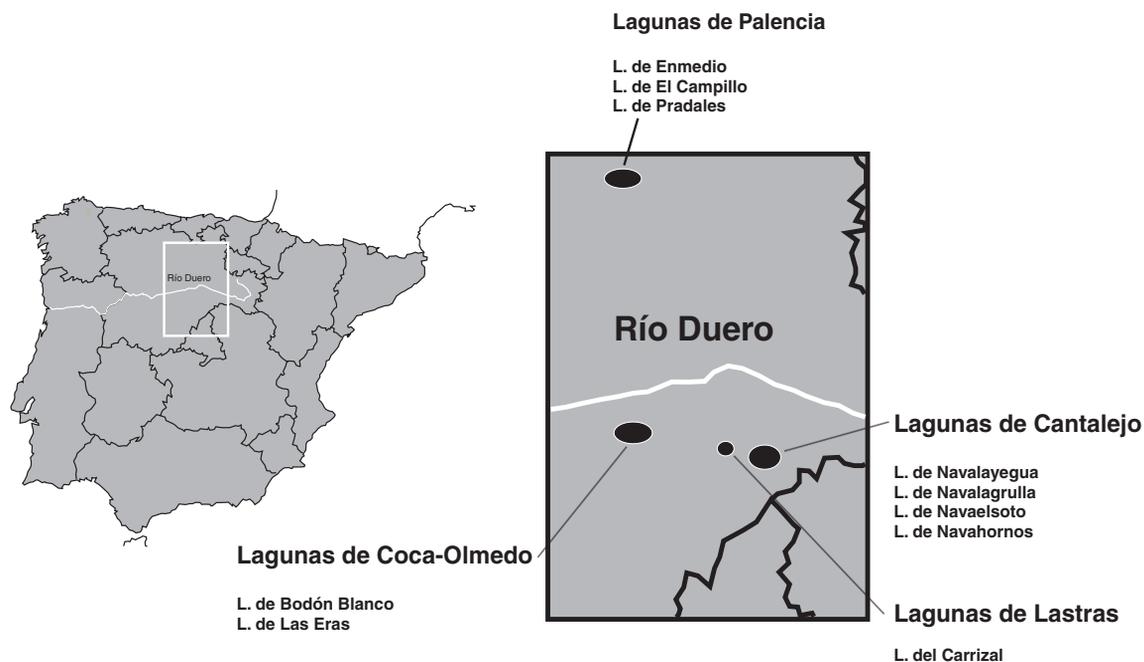


Figura 1 - Localización de las lagunas en el área de estudio.
Figure 1 - Outline map of study area with positions of lake.

presenta una altitud media mayor (936 m) y la segunda en extensión (78.359 km²) después de la del Ebro. Las lagunas estudiadas se ubican en el Sector Centro-Oriental de la cuenca, con un carácter más continental que el Sector Occidental que recibe una mayor influencia atlántica (SÁNCHEZ *et al.* 1999).

Para comprender los diferentes tipos de humedales aquí estudiados es preciso tener en cuenta el funcionamiento hídrico de los mismos, íntimamente relacionados con el importante acuífero de la depresión del Duero y las descargas diferenciales de flujos de agua subterránea locales, intermedios, o regionales –largo recorrido–, como en este último caso ocurre en las lagunas alcalinas de Coca-Olmedo.

Características climáticas

El clima de la submeseta Norte donde se ubica la cuenca del Duero, es de tipo continental mesetario atendiendo a sus características medias de precipitación y temperatura. Por el índice de humedad (cociente entre precipitación y evapotranspiración potencial de Penman) la cuenca del Duero pertenece a la región subhúmeda de España. En términos generales, el tipo de clima común a los tres conjuntos lagunares es Mediterráneo templado. En la tabla 1 se resumen los datos más relevantes de las características climáticas de la zona estudiada y en la tabla 2 se incluyen datos estacionales de precipitación en los años 2000-01 en que se realizaron los muestreos, para poner de manifiesto las intensas lluvias

registradas durante el otoño de 2000 e invierno de 2001 y que quedan resaltados en negrita en dicha tabla.

Observando los datos de la tabla 1 correspondientes a precipitación y temperatura media, podemos establecer una cierta relación entre el grado de temporalidad de las aguas de los tres conjuntos de lagunas y dichos datos. Así, las lagunas del páramo de Palencia, las más septentrionales, con un índice de precipitación superior al doble que el resto de las lagunas y con la temperatura media más baja de todas ellas y consiguientemente menores pérdidas de agua por evaporación, son las únicas que presentan un régimen de aguas permanentes. En posición intermedia, con un régimen de aguas semipermanentes están las lagunas de Cantalejo-Lastras y finalmente las lagunas temporales de Coca-Olmedo con los índices más bajos de precipitación y temperaturas medias más elevadas, unido además a la intensa sobreexplotación de los acuíferos circundantes.

Por otra parte, es preciso resaltar que en el ciclo anual estudiado por nosotros se registraron intensas lluvias en otoño-invierno como lo demuestra el hecho de que en la estación de Cervera del Pisuerga durante el otoño de 2000 y el invierno de 2001 se registraran el 58% y el 64% respectivamente de la lluvia total caída en esos años, mientras que los porcentajes equivalentes a la estación de Segovia fueron el 50 y 42% y en el caso de Medina del Campo en otoño el 47% (tabla 2). Este elevado nivel de precipitaciones permitió que todas las lagunas

	Cantalejo-Lastras	Coca-Olmedo	Páramo de Palencia
Precipitación media (mm)	468	393	967,0
Tº media (°C)	11,4	12,0	9,1
Tº media máxima (°C)	16,8	19,2	15,6
Tº media mínima (°C)	6,0	4,9	2,6
Tº máxima absoluta (°C)	38,6	39,0	39,8
Tº mínima absoluta (°C)	-17,0	-11,6	-17,4
Estación	Segovia	Medina del Campo	Cervera del Pisuerga
Periodo (años)	37	32	34

Tabla 1 - Características climáticas de la zona estudiada.

Table 1 - Meteorological characteristics from studied area.

Año	Estación meteorológica	Invierno		Primavera		Verano		Otoño		Total anual (mm)
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	
2000	Segovia	38	8	157	32	49	10	244	50	489
	Medina del Campo	45	13	105	30	36	10	166	47	352
	Cervera del Pisuerga	90	6	437	28	112	7	900	59	1.525
2001	Segovia	188	41	76	17	82	18	106	24	453
	Medina del Campo	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Cervera del Pisuerga	864	64	140	10	116	9	223	17	1.343

Tabla 2 - Precipitación estacional (mm) y relativa (%) en la zona estudiada

Table 2 - Seasonal precipitation (mm) and relative (%) from studied area

muestreadas alcanzaran su máximo nivel de agua durante dichas estaciones de otoño-invierno, contrastando con la situación al final del periodo de estiaje, en que excepto las lagunas de Palencia y la del Carrizal, el resto sufrieron una drástica disminución de su volumen de agua llegando casi a la sequía total en el caso de Bodón Blanco.

Características geológicas e hidrológicas

La cuenca sedimentaria del Duero geomorfológicamente tiene su origen en la orogenia Alpina del Terciario, que en la submeseta Norte da lugar a una amplia depresión delimitada periféricamente al Norte por la Cordillera Cantábrica, al Oeste por el Macizo Galaicoportugués, al Este por el Sistema Ibérico y finalmente al Sur por el Sistema Central que actúa como divisoria de la submeseta Sur. La depresión así formada, experimenta posteriormente un proceso de relleno a partir de materiales procedentes de la erosión del relieve circundante que dará lugar a las rocas sedimentarias detríticas de la cuenca. La mayoría de los humedales de dicha cuenca están asociados a materiales detríticos de tipo arenoso y arcilloso (CASADO & MONTES, 1995).

Las lagunas de Cantalejo-Lastras, situadas en el sector septentrional de la provincia de Segovia, se localizan en los extensos arenales de origen eólico cuaternario existentes en la zona meridional de la cuenca del Duero, donde ha proliferado un abundante bosque de pino de repoblación y que ha dado nombre a esta peculiar zona como «Tierra de

Pinares». Según el estudio de TEMIÑO *et al.* (1995), desde un punto de vista geológico, las lagunas de Cantalejo se asientan en una región cuyos materiales pueden agruparse en cuatro grandes conjuntos litológicos que de mayor a menor antigüedad serían: 1º) El «zócalo ígneo metamórfico», en la base, de edad preordovícica. 2º) La cobertera mesozoica formada por cuatro subconjuntos litológicos del Cretácico superpuestos, desde el «Grupo siliclástico basal» formado por arenas, seguido por dos capas intermedias denominadas el «Grupo dolomítico», un potente paquete de dolomía y caliza y el «Grupo margo-dolomítico», y finalmente el Grupo siliclástico superior muy parecido al basal. 3º) El relleno de edad Paleógeno-Mioceno, formado por sedimentos detríticos compuestos por conglomerados calcáreos, conglomerados polimícticos y más arriba arenas y arcillas y que en conjunto en el área de las lagunas tienen un espesor de 300 m 4º) Recubrimientos cuaternarios que son depósitos detríticos de poco espesor formados principalmente por arenas de origen eólico.

Las lagunas de Cantalejo están ubicadas en el llamado Sistema Acuífero nº 11, que a escala regional consta de dos conjuntos denominados Sistema Acuífero Cretácico y Sistema Acuífero Cenozoico, aislados por la intercalación del grupo margo-dolomítico del Cretácico (TEMIÑO, 1994). La conexión hidrológica del conjunto lagunar de Cantalejo tiene lugar en la intersección del terreno con la superficie freática del Sistema Acuífero Cenozoico, más superficial, descartándose la conexión hidráulica con el Sistema Acuífero Cretácico.

Las cinco lagunas incluidas en el trabajo han sido excavadas con distintos fines: para la cría de tencas las de Navalayegua, Navalagrulla y Navaelsoto y para la extracción de turba las de Navahornos y del Carrizal. Según CALONGE (1989), el dragado de algunas lagunas tuvo lugar entre 1975-80 y además se comunicaron a través de canales para evitar su desecación, dado el interés económico de pastizales para la ganadería, tencas y patos para alimentación, etc. La persistencia de una lámina de agua en estas lagunas está condicionada por la sobreexplotación del acuífero que las alimenta, de tal manera que las lagunas que no han sido excavadas se secan completamente durante el periodo de estiaje y aquellas que sí lo fueron quedan reducidas a una pequeña zona encharcada.

Hacia el sector central de la cuenca, en el límite de las provincias de Segovia y Valladolid, entre Coca y Olmedo, aparecen una serie de lagunas de gran interés por la singularidad de la composición química de sus aguas de marcado carácter alcalino, directamente relacionado con la alimentación de dichas lagunas por flujos de descarga subregional de agua subterránea con elevada concentración de carbonatos y bicarbonatos, además de sodio que va sustituyendo al calcio en este tipo de aguas de largo recorrido subterráneo (BERNÁLDEZ & REY, 1992). A este tipo pertenecen las lagunas de Las Eras y Bodón Blanco, asentadas en cubetas formadas por materiales cuaternarios del Holoceno correspondientes a fondos de arenas semiendorreicas con abundante fracción de limo y arcilla y acumulaciones importantes de materia orgánica. El entorno de las cubetas está constituido por materiales terciarios del

Mioceno formado por margas gris verdosas con ostrácodos (IGME, 1982).

A pesar del gran valor limnológico de estas lagunas, su estado de conservación no es satisfactorio dado que la laguna de Las Eras recibe directamente el vertido de aguas residuales de Villagonzalo de Coca, población situada en sus inmediaciones, y en Bodón Blanco la sobreexplotación del acuífero hace que la laguna se seque rápidamente durante los meses de estiaje.

Entre 1100 y 1200 m se sitúan las tres lagunas del páramo de Palencia, al este del río Carrión, entre Guardo y Saldaña. La laguna de Enmedio se asienta en una cubeta constituida por materiales terciarios del Mioceno Superior que en su mayor parte son conglomerados silíceos, entre los que se intercalan lentejones areniscos y capas irregulares, en general poco continuas de fangos. El entorno de esta laguna, donde se localizan las de Pradales y El Campillo, litológicamente contiene materiales pliocuaternarios tipo «raña» formados por conglomerados con clastos de arenisca-limonita, cuarzo y cuarcita, y algún canto de conglomerado silíceo en proporción menor del 1%, y son los materiales que constituyen las cubetas de ambas lagunas (IGME, 1982). El carácter permanente de estas lagunas se relaciona con el acuífero superficial de las formaciones detríticas tipo raña que las alimenta, así como por su localización en un clima húmedo que disminuye significativamente la pérdida de agua por evaporación.

En la tabla 3 se resumen las características morfométricas de las lagunas y sus coordenadas UTM respectivas.

	Navalayaegua	Navalagrulla	Navaelsoto	Navahornos	Carrizal	Las Eras	Bodón Blanco	Enmedio	El Campillo	Pradales
Coordenadas UTM	30TVL170683	30TVL172688	30TVL176699	30TVL165708	30TVL042751	30TUL675625	30TUL601680	30TUN536333	30TUN550314	30TUN559300
Altitud (m)	910	900	910	900	860	790	780	1150	1140	1120
Superficie (Has)	9,93	3,48	3,14	8,90	10,88	7,30	5,57	2,93	2,47	6,00
Perímetro (m)	1.650	844	830	1319	1882	1377	882	680	720	914
Anchura máxima (m)	263	218	170	244	240	187	220	134	126	247
Longitud máxima (m)	588	306	333	510	712	592	299	254	278	354
Profundidad máx. (m)	1,00	0,50	0,50	1,50	1,50	1,00	0,50	1,75	1,50	0,75

Tabla 3 - Características morfométricas y coordenadas UTM

Table 3 - Morphometric characteristics and UTM coordinates

Características genético-funcionales

Desde un punto de vista genético-funcional las lagunas pertenecen a las siguientes categorías:

- El complejo lagunar de Cantalejo-Lastras debe su origen a depresión en depósitos cuaternarios de tipo fluvio-eólico, descartándose la surgencia de flujos regionales de descarga de largo recorrido (TEMIÑO, 1994).
- En el complejo de Coca-Olmedo, la laguna Bodón Blanco es de cubeta plana, somera en ancho fondo de valle fluvial de carácter endorreico y de área de inundación con posible origen por erosión fluvio-eólica. La laguna de Las Eras procede de depresión en depósitos miocénicos de cobertera, en área plana, originada por acción hidroeólica. En ambas lagunas hay descarga de aguas subterráneas de carácter subregional lo que les confiere la singularidad de formar parte de las escasas lagunas alcalinas existentes en España.
- En las lagunas del páramo de Palencia, la laguna de Enmedio procede de erosión diferencial en contacto litológico, siendo fluvial el agente modelador, mientras que las lagunas de El Campillo y Pradales son de área plana interfluvial erosionadas por acción eólica y probable conexión con la tectónica del zócalo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El periodo de muestreo y métodos de medida de parámetros físico-químicos, *in situ* y en laboratorio, son los mismos que los descritos en el trabajo realizado simultáneamente en otras lagunas de la cuenca del Tajo (VELASCO *et al.*, 2002), consistentes en la utilización de electrodos CRISON para medidas de pH, T^a y conductividad, con periodicidad estacional de otoño de 2000 a invierno de 2001, y aplicación de las recomendaciones standard APHA (1985) para la realización del resto de análisis químicos realizados en laboratorio, correspondientes a los muestreos de invierno de 2000 y verano de 2001 característicos de niveles máxi-

mo y mínimo de agua respectivamente. La toma de muestras se efectuó desde la orilla, con botellas de 1 litro, que se conservaron en nevera hasta su transporte al laboratorio.

También hemos utilizado los mismos criterios de EUGSTER & HARDIE (1978) y MONTES & MARTINO (1987) para precisar la importancia relativa de aniones y cationes (expresada en % meq/l figurando entre paréntesis valores menores del 25% y descartando los que quedan por debajo del 5%) y del grado de salinidad respectivamente. Así mismo, el nivel trófico de las lagunas se ha establecido según el criterio de la UNESCO (1992) sobre la base de los niveles de fósforo total existentes. Los datos sobre características climáticas (tabla 1), morfométricas y coordenadas UTM (tabla 3) e hidrología proceden del MOPT (1991). La tabla 3, que muestra los datos de precipitación estacional y relativa (% sobre el total anual) del periodo 2000-2001 en que se realizó el muestreo, fue elaborada a partir de los datos de precipitación mensual procedentes de las estaciones meteorológicas correspondientes. Para describir las características litológicas de las cubetas de las lagunas hemos utilizado las hojas 1:50.000 correspondientes del IGME.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros físicos: T^a, pH y conductividad

Los resultados de estos tres parámetros se resumen en la tabla 4 y corresponden a los muestreos estacionales de otoño de 2000 al verano de 2001.

Las temperaturas medias del agua superficial de las lagunas muestran diferencias entre verano e invierno superiores a 10°C en los tres grupos de lagunas, siendo más acusadas en Palencia (14,4°C) y menos en Coca-Olmedo (10,7°C). Este nivel de variación térmica es propio de lagunas de la submeseta norte peninsular.

Los valores de pH de los tres grupos de lagunas son significativamente diferentes, varian-

	Otoño-00	Invierno-01	Primavera-01	Verano-01
NAVALAYEGUA				
Tº (°C)	8,3	10,1	14,4	22,0
PH	-	7,23	9,40	8,92
Conduct. (µS.cm ⁻¹)	665	511	541	962
NAVALAGRULLA				
Tº (°C)	7,7	10,2	14,5	19,6
PH	-	7,34	8,97	9,10
Conduct. (µS.cm ⁻¹)	-	509	518	1.110
NAVAELSOTO				
Tº (°C)	8,0	11,1	15,1	21,7
PH	7,07	6,72	7,64	9,68
Conduct. (µS.cm ⁻¹)	461	305	382	706
NAVAHORROS				
Tº (°C)	7,8	10,1	15,6	27,0
PH	-	7,61	7,25	6,46
Conduct. (µS.cm ⁻¹)	654	527	456	824
DEL CARRIZAL				
Tº (°C)	-	11,5	16,1	26,1
PH	-	7,40	8,61	8,28
Conduct. (µS.cm ⁻¹)	528	632	529	524
LAS ERAS				
Tº (°C)	-	13,5	24,6	23,1
PH	-	9,52	10,52	9,78
Conduct. (µS.cm ⁻¹)	-	3.360	4.570	7.830
BODÓN BLANCO				
Tº (°C)	9,6	13,5	23,1	25,3
PH	-	8,75	10,88	10,70
Conduct. (µS.cm ⁻¹)	919	1.878	2.420	4.310
ENMEDIO				
Tº (°C)	6,7	6,3	22,5	13,6
PH	-	6,79	7,65	6,56
Conduct. (µS.cm ⁻¹)	29,9	29,7	21,1	57,2
EL CAMPILLO				
Tº (°C)	-	9,4	22,0	14,3
PH	-	5,44	6,36	5,82
Conduct. (µS.cm ⁻¹)	-	15,1	18,8	55,8
PRADALES				
Tº (°C)	-	-	22,3	18,8
PH	-	-	6,99	5,58
Conduct. (µS.cm ⁻¹)	-	-	33,5	41,0

Tabla 4 - Características físicas de las masas de agua estudiadas.

Table 4 - Physical characteristics of the water bodies studied.

do desde el extremo de lagunas ácidas del páramo de Palencia, con valores medios de 5,9 (Campillo) a 7,0 (Enmedio), hasta las lagunas alcalinas de Coca-Olmedo donde las medias se aproximan a 10 en la de Las Eras (9,9) o son superiores como en Bodón Blanco (10,1).

Las lagunas de Cantalejo-Lastras ocupan una posición intermedia con valores de pH básicos, en torno a 8, si bien en este conjunto hay

un rango de variación desde valores medios de 7,6 en Navahornos hasta 8,5 en Navalayegua y Navalagrulla; los valores medios de pH por debajo de 8 se dan en lagunas donde la extracción de turba fue práctica habitual, como en las lagunas de Navaelsoto y Navahornos. La notable subida del pH registrada en todas las lagunas, excepto en Navahornos, durante las estaciones de primavera y verano sobre todo, coincide con la dis-

minución importante del volumen de agua de las lagunas por evaporación y con el aumento simultáneo de biomasa vegetal acuática y el consiguiente incremento de la actividad fotosíntesis/respiración.

Los valores de conductividad ponen de manifiesto también las acusadas diferencias existentes respecto al contenido total de sales en los tres conjuntos de lagunas, ya que existe una marcada variación desde aguas muy dulces en las lagunas palentinas, con valores medios entre 29,9 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (El Campillo) y 37,2 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Pradales), hasta aguas bastante mineralizadas (subsalinadas) en las lagunas de Coca-Olmedo, con valores medios de 2382 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Bodón Blanco) y 5252 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Las Eras). Las lagunas de Cantalejo-Lastra son de agua dulce con valores medios desde 464 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Navaelsoto) hasta 712 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Navalagrulla).

Para una explicación de los diferentes niveles de conductividad, alcalinidad y pH existentes entre las lagunas de Coca-Olmedo y Cantalejo-Lastras, situadas al sur del río Duero y no muy lejanas entre sí, hay que tener en cuenta las diferencias respecto a la naturaleza de las descargas de agua subterránea que se producen en ambos conjuntos, ya que el de Cantalejo está hidrológicamente ligado a un acuífero superficial, mientras que el de Coca-Olmedo está situado en un área de descarga subregional por lo que la concentración de sales y la conductividad asociada a ella -también los carbonatos- es mayor (BERNÁLDEZ & REY, 1992).

En el periodo estival se observa un aumento de la conductividad de aproximadamente el doble en casi todas las lagunas por el aumento de mineralización del agua debido a la evaporación, alcanzando las lagunas de Cantalejo el grado de subsalinadas, excepto Navaelsoto, y pasando a hiposalina la de Las Eras.

Parámetros químicos: Composición iónica y grado de salinidad

En las tablas 5, 6 y 7 se incluyen los datos de iones principales, dureza total, fósforo total,

nitratos y materia orgánica correspondientes a las lagunas muestreadas. En dichas tablas también se valoran niveles tróficos, grado de salinidad y aniones y cationes dominantes.

Por orden creciente del contenido total de sales figuran en primer término las lagunas de agua muy dulce del páramo de Palencia, con concentraciones salinas siempre inferiores a 0,1 g/l. Las lagunas de Cantalejo-Lastras son también de agua dulce, si bien su contenido salino es mayor que en el caso anterior, variando desde 0,219 g/l en Navaelsoto hasta 0,444 g/l en El Carrizal durante el periodo invernal, mientras que durante el periodo de estiaje, debido a la disminución del volumen de agua de las lagunas por evaporación, éstas llegan a alcanzar los primeros niveles correspondientes a aguas subsalinadas, excepto en Navaelsoto y la del Carrizal, alcanzándose valores máximos de hasta 0,847 g/l en la laguna de Navalagrulla. En las lagunas de Coca-Olmedo el contenido de sales es propio de aguas subsalinadas, siendo 1,87 g/l el valor más bajo registrado (Bodón Blanco durante el invierno), mientras que en verano, en la de Las Eras, se alcanzan hasta 5,29 g/l que corresponde ya al nivel de aguas hiposalinas.

Desde el punto de vista de la composición iónica relativa, las lagunas de Palencia presentan una secuencia aniónica del tipo: $\text{CO}_3\text{H} > \text{Cl}^-$ que es la más frecuente en este tipo de aguas tan dulces. Respecto a los cationes la secuencia mayoritaria es $\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > (\text{Mg}^{++})$ que en aguas tan poco mineralizadas como éstas no suele ser la situación más frecuente ya que lo normal es que el segundo lugar en importancia lo ocupe el magnesio.

En las lagunas de Cantalejo-Lastras el perfil más frecuente de los aniones es del tipo $\text{CO}_3\text{H} > (\text{SO}_4^{2-}) > (\text{Cl}^-)$, intercambiándose la posición entre sulfatos y cloruros en algunas lagunas durante el invierno, que en el grupo de lagunas de similar contenido salino suele ser el más frecuente, caso señalado por ALONSO (1998) para las torcas; el orden de los aniones sugiere la marcada continentalidad de sus aguas, aspecto que no se da en las de Palencia.

LAGUNAS DE CANTALEJO - LASTRAS												
	Navalayegua		Navalagrulla		Navaelsofo		Navahornos		Carrizal			
	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V		
Carbonatos (mg.l ⁻¹)	0	9,0	0	15,0	0	54,1	0	30,0	0	0	0	
Bicarbonatos (mg.l ⁻¹)	170,8	286,6	158,6	436,0	85,4	109,8	201,3	356,7	219,6	219,6	216,5	
Cloruros (mg.l ⁻¹)	31,2	10,5	36,9	12,0	32,6	4,0	34,0	8,0	39,7	39,7	2,0	
Sulfatos (mg.l ⁻¹)	46,0	183,6	45,0	157,0	34,0	15,2	48,0	177,7	61,0	61,0	54,8	
Calcio (mg.l ⁻¹)	54,4	48,5	54,0	75,1	30,4	26,7	60,8	43,2	72,0	72,0	40,9	
Magnesio (mg.l ⁻¹)	15,5	32,6	19,0	35,7	15,5	18,0	19,4	27,4	34,9	34,9	20,2	
Sodio (mg.l ⁻¹)	21,0	76,7	38,0	89	9,0	23,1	22,0	42,9	11,0	11,0	22,6	
Potasio (mg.l ⁻¹)	16,6	26,5	16,6	27,3	12,2	8,3	15,3	20,4	5,3	5,3	2,3	
Silice (mg.l ⁻¹)	13,4	18,1	11,8	24,0	20,2	0	17,2	17,0	16,6	16,6	7,0	
Fósforo total (mg. l ⁻¹ P)	1,9	2,5	2,0	5,0	1,2	0,5	1,7	1,4	0,15	0,15	0,5	
Nitratos (mg.l ⁻¹ NO ₃)	29,0	22,2	27,6	43,4	13,1	10,6	26,8	19,9	53,0	53,0	7,9	
Mat. Orgánica (MnO ₄ ,mgO ₂ .l ⁻¹)	15,5	76,8	15,6	155,2	20,2	54,4	20,6	84,8	11,6	11,6	52,8	
Dureza total (°f)	20,0	25,5	21,6	33,4	14,0	14,1	23,2	22,1	32,4	32,4	18,5	
AN+CAT (g. l ⁻¹)	0,356	0,674	0,368	0,847	0,219	0,259	0,401	0,707	0,444	0,444	0,359	
Aniones dominantes (% meq.l ⁻¹)	CO ₃ H-(SO ₄ -Cl)	CO ₃ H-SO ₄	CO ₃ H-(Cl-SO ₄)	CO ₃ H-SO ₄	CO ₃ H-Cl(SO ₄)	CO ₃ -CO ₃ H-(SO ₄)	CO ₃ H-(SO ₄ -Cl)	CO ₃ H-SO ₄ -(CO ₃)	CO ₃ H-(SO ₄ -Cl)	CO ₃ H-(SO ₄)	CO ₃ H-(SO ₄)	
Cationes dominantes (% meq.l ⁻¹)	Ca ⁺⁺ -Mg ⁺⁺ -Na ⁺ -K ⁺	Na ⁺ -Mg ⁺⁺ -Ca ⁺⁺ -K ⁺	Ca ⁺⁺ -Na ⁺ -(Mg ⁺⁺ -K ⁺)	Na ⁺ -Ca ⁺⁺ -Mg ⁺⁺ -K ⁺	Ca ⁺⁺ -Mg ⁺⁺ -(Na ⁺ -K ⁺)	Mg ⁺⁺ -Ca ⁺⁺ -(Na ⁺ -K ⁺)	Ca ⁺⁺ -Mg ⁺⁺ -(Na ⁺ -K ⁺)	Mg ⁺⁺ -Ca ⁺⁺ -Na ⁺ -K ⁺	Ca ⁺⁺ -Mg ⁺⁺ -(Na ⁺)	Ca ⁺⁺ -Mg ⁺⁺ -(Na ⁺)	Ca ⁺⁺ -Mg ⁺⁺ -(Na ⁺)	
Grado de salinidad	Dulce	Subsalina	Dulce	Subsalina	Dulce	Dulce	Dulce	Subsalina	Dulce	Dulce	Dulce	
Nivel trófico (P. Total)	Hipertrofica	Hipertrofica	Hipertrofica	Hipertrofica	Hipertrofica	Hipertrofica	Hipertrofica	Hipertrofica	Eutróf-hipert.	Dulce	Hipertrofica	

Tabla 5 - Características químicas de las lagunas de Cantalejo-Lastras: I= Invierno de 2001; V= Verano de 2001

Table 5 - Chemical characteristics from Cantalejo-Lastras lakes: I= Winter 2001; V= Summer 2001.

LAGUNAS DE COCA - OLMEDO				
	Las Eras		Bodón Blanco	
	I	V	I	V
Carbonatos (mg.l ⁻¹)	180	216	96	199
Bicarbonatos (mg.l ⁻¹)	115,9	214	237,9	0
Cloruros (mg.l ⁻¹)	958,5	1.949	710	1.322
Sulfatos (mg.l ⁻¹)	388	980	114	100
Calcio (mg.l ⁻¹)	43,2	14,4	20,8	8
Magnesio (mg.l ⁻¹)	128,3	167	77,7	42
Sodio (mg.l ⁻¹)	630	1400	410	950
Potasio (mg.l ⁻¹)	133	350	200	26
Sílice (mg.l ⁻¹)	18,3	2,4	5,6	0,7
Fósforo total (mg. l ⁻¹ P)	0,35	0,39	0,14	0,04
Nitratos (mg.l ⁻¹ NO ₃)	20,2	1,6	1,5	0,6
Mat. Orgánica (MnO ₄ ,mgO ₂ .l ⁻¹)	21,7	62,4	16,6	51,2
Dureza total (°f)	63,6	72,4	37,2	19,2
AN+CAT (g. l ⁻¹)	2,58	5,29	1,87	2,65
Aniones dominantes (% meq.l ⁻¹)	Cl ⁻ -(SO ₄ ⁼)-(CO ₃ ⁼)	Cl ⁻ -(SO ₄ ⁼)-(CO ₃ ⁼)	Cl ⁻ -(CO ₃ H)-(CO ₃ ⁼)-(SO ₄ ⁼)	Cl ⁻ -(CO ₃ ⁼)
Cationes dominantes (% meq.l ⁻¹)	Na ⁺ -(Mg ⁺⁺)-(K ⁺)	Na ⁺ -(Mg ⁺⁺)-(K ⁺)	Na ⁺ -(Mg ⁺⁺)-(K ⁺)	Na ⁺ -(Mg ⁺⁺)
Grado de salinidad	Subsalina	Hiposalina	Subsalina	Subsalina
Nivel trófico (P. Total)	Hipertrófica	Hipertrófica	Eutrófica-Hipertrófica	Eutrófica-Hipertrófica

Tabla 6 - Características químicas de las lagunas de Coca-Olmedo: I= Invierno de 2001; V= Verano de 2001.

Table 6 - Chemical characteristics from Coca-Olmedo lakes: I= Winter 2001; V= Summer 2001.

El perfil dominante de cationes es del tipo: Ca⁺⁺>Mg⁺⁺>(Na⁺), el más frecuente en aguas con niveles parecidos de mineralización, aunque durante el estiaje se observan cambios en este orden, pasando a ser dominante el sodio en Navalayegua y Navalagrulla, o el magnesio en Navahornos y Navaelsoto, caso este último menos frecuente en este tipo de aguas.

En las lagunas de Coca-Olmedo, la de Las Eras presenta un perfil Cl⁻>(SO₄²⁻), que puede encontrarse en aguas con todo tipo de salinidad aunque son más frecuentes en zonas endorreicas y de costa. En Bodón Blanco la secuencia

cambia a Cl⁻>(CO₃H⁻ +CO₃²⁻), situación menos frecuente que la anterior, sobre todo en cuencas endorreicas, donde sólo lagunas de Doñana presentan esta secuencia. El perfil catiónico de estas dos lagunas: Na⁺>(Mg⁺⁺), donde el sodio domina claramente, también es característico en lagunas de Doñana.

Nivel trófico y contenido en materia orgánica

Las lagunas de Cantalejo tienen elevados niveles de fósforo total que explican su estado de

LAGUNAS DEL PÁRAMO DE PALENCIA						
	Enmedio		Campillo		Pradales	
	I	V	I	V	I	V
Carbonatos (mg.l ⁻¹)	0	0	0	0	-	0
Bicarbonatos (mg.l ⁻¹)	30,0	45,7	7,0	15,3	18,0	30,5
Cloruros (mg.l ⁻¹)	1,1	0,5	1,1	0,5	3,6	0,5
Sulfatos (mg.l ⁻¹)	0,5	0,5	0,0	0,4	0,4	0,5
Calcio (mg.l ⁻¹)	7,5	4,0	1,3	1,9	3,6	2,1
Magnesio (mg.l ⁻¹)	0,9	0,9	0,3	0,5	1,0	0,8
Sodio (mg.l ⁻¹)	1,6	2,0	1,2	2,1	2,9	2,4
Potasio (mg.l ⁻¹)	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1
Sílice (mg.l ⁻¹)	3,5	0	3	0	-	0
Fósforo total (mg. l ⁻¹ P)	≤0,01	0,13	≤0,01	0,20	-	0,21
Nitratos (mg. l ⁻¹ NO ₃)	1,1	4,4	0,6	8,4	-	6,2
Mat. Orgánica (MnO ₄ ,mgO ₂ .l ⁻¹)	6	30,4	5	36,8	-	33,6
Dureza total (°f)	1,2	1,4	0,8	0,7	-	0,8
AN+CAT (g. l ⁻¹)	0,04	0,05	0,01	0,02	0,03	0,04
Aniones dominantes (% meq.l ⁻¹)	CO ₃ H ⁻	CO ₃ H ⁻	CO ₃ H ⁻ -(Cl ⁻)	CO ₃ H ⁻	CO ₃ H ⁻ -Cl ⁻	CO ₃ H ⁻
Cationes dominantes (% meq.l ⁻¹)	Ca ⁺⁺ -(Mg ⁺⁺ -Na ⁺)	Ca ⁺⁺ -(Na ⁺ -Mg ⁺⁺)	Ca ⁺⁺ -Na ⁺ -(Mg ⁺⁺)			
Grado de salinidad	Dulce	Dulce	Dulce	Dulce	Dulce	Dulce
Nivel trófico (P. Total)	Oligotrófica	Eutróf.-hipertróf.	Oligotrófica	Hipertróf.-eutróf.	-	Hipertr.-eutróf.

Tabla 7 - Características químicas de las lagunas de Palencia: I= Invierno de 2001; V= Verano de 2001.

Table 7 - Chemical characteristics from Palencia lakes: I= Winter 2001; V= Summer 2001.

hipertrofia permanente, destacando los valores de 5000 µg/l de Navalagrulla y 2500 µg/l de Navalayegua. La existencia de tan elevadas concentraciones de fósforo se debe principalmente a la presencia de ganado en el entorno de todas ellas, y a la contaminación del acuífero por actividades agropecuarias de granjas tales como utilización de abonos en cultivos intensivos y vertido de residuos en los arenales próximos a las lagunas (TEMIÑO & REBOLLO, 1994).

La laguna del Carrizal en Lastras presenta un nivel más bajo de eutrofia en el muestreo de

invierno donde su estado es eutrófico-hipertrófico.

En las lagunas de Coca-Olmedo, la de Las Eras es permanentemente hipertrófica ya que recibe el vertido directo de las aguas residuales urbanas de Villagonzalo de Coca. En Bodón Blanco, la situación es de eutrofia-hipertrofia.

En las lagunas de Palencia, ubicadas en una zona con poca intervención humana desde el punto de vista de posibles acciones contaminantes, la situación es diferente ya que en

invierno, con el máximo nivel de agua, las lagunas presentan un carácter oligotrófico, aunque al final del estiaje la disminución muy apreciable del volumen de agua unida al aumento considerable de biomasa de vegetación acuática, hace que la situación varíe hacia un estado de hipertrofia-eutrofia, excepto en la laguna de Enmedio que alcanza un nivel menor de eutrofia-hipertrofia.

A partir de la concentración de materia orgánica detectada en las lagunas podemos hacer una estimación del grado de contaminación de las mismas. En tal sentido, una característica común a todas ellas es que durante el invierno las cantidades de materia orgánica detectadas son sensiblemente más bajas que en verano, pudiendo calificar como moderada la contaminación en aquella estación para todo el conjunto de lagunas, excepto las de Palencia y El Carrizal que presentan una situación que podemos considerar de escasa o nula contaminación. Dicha situación en verano empeora ostensiblemente pasando a alcanzar niveles de materia orgánica altos en todas las lagunas, excepto las de Palencia donde lo hace moderadamente y donde también hay que considerar que la abundante vegetación acuática desarrollada en ellas ha podido interferir de alguna manera en los resultados, puesto que aparentemente dichas lagunas no parecen estar expuestas a la agresión de actividades humanas.

CONCLUSIONES

Las lagunas estudiadas representan ambientes acuáticos manifiestamente diversos, desde las de Palencia, ácidas y muy dulces, hasta las de Coca-Olmedo, en el extremo opuesto, alcalinas y con elevadas concentraciones de sales. Esta variabilidad físico-química también se produce en las comunidades biológicas del plancton, bentos y plantas acuáticas como quedará reflejado en un próximo trabajo.

El peligro principal que acecha estos humedales, excepto las lagunas de Palencia, es la contaminación derivada de la presencia de ganado, actividades agropecuarias y en el caso de la laguna de La Era el vertido directo de aguas residuales urbanas. Estos hechos explican el estado eutrófico-hipertrofico de estas lagunas, así como la elevada carga de materia orgánica presente en ellas.

Finalmente, este estudio pone de manifiesto que excepto las lagunas de Palencia, en el resto, la ratificación por parte de España en 1982 del RAMSAR y la creación posterior en 1994 del Catálogo Regional de Zonas Húmedas de interés Especial de la Comunidad de Castilla y León, no ha evitado la presión antrópica que se ha seguido ejerciendo sobre ellas y que se refleja en su actual estado de deterioro. TEMIÑO *et al.* (1995) expresaban su preocupación acerca de la posible eutrofización de las lagunas de Cantalejo que en la actualidad ya es un hecho confirmado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, M. 1985. Las lagunas de la España Peninsular. Taxonomía, Ecología y Distribución de los Cladóceros. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 795 pp.
- APHA. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington DC. 1268 pp.
- ALONSO, M. 1998. Las lagunas de la España peninsular. *Limnética* 15: 1-176.
- ALONSO, M. y COMELLES, M. 1987. Catálogo limnológico de las zonas húmedas esteparias de la cuenca del Duero. Dirección General de Medio Ambiente. Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio. Junta de Castilla y León. Valladolid. 425 pp.
- BERNÁLDEZ, F.J. y REY, J.M. 1992. Geochemical relationships groundwater and wetland soils and their effects on vegetation in central Spain. *Geoderma* 55: 273-288.
- CALONGE, G. 1989. Significación ecológica y geográfica de las lagunas entre Cuéllar y Cantalejo (Segovia). XI Congreso Nacional Geografía. Madrid. Vol. II: 355-363.

- CASADO, S. y MONTES, C. 1995. Guía de los lagos y Humedales de España. Editor J.M. Reyero. Madrid. 255 pp.
- EUGSTER, H.P. y HARDIE, L.A. 1978. Saline lakes. En: A. Lerman (ed.). Lakes: Chemistry, Geology. Physics. Springer-Verlag. New York. 237-293 pp.
- IGME.1982. Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria y Energía. E. 1:50000. Hoja N° 428. Olmedo.
- IGME.1982. Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria y Energía. E. 1:50000. Hoja N° 132. Guardo.
- MONTES, C. y MARTINO, P. 1987. Las lagunas salinas españolas. En: Seminario sobre bases científicas para la protección de humedales en España. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid. 95-145 pp.
- MOPT, DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS HIDRÁULICAS. 1991. Estudio de las zonas húmedas de la España peninsular: inventario y tipificación. Madrid.
- SÁNCHEZ, O.; SÁNCHEZ, F. y CARRETERO, M^a. P. 1999. Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termoplumiométricas para la España Peninsular. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 192 pp.
- TEMIÑO, J. 1994. Características hidrogeológicas del entorno del vertedero de residuos sólidos urbanos de Cantalejo (Segovia) y su enclave de contaminación. Universidad de Alcalá de Henares. Madrid. (inéd.).
- TEMIÑO, J. y REBOLLO, L.F. 1994. Delimitación del enclave de contaminación del vertedero de residuos sólidos urbanos de Cantalejo (Segovia). Análisis y evolución de la contaminación de aguas subterráneas. Madrid. Tomo II: 51-62.
- TEMIÑO, J.; REBOLLO, L.F. y GALÁN, J.I. 1995. Análisis del origen y la dinámica de las lagunas de Cantalejo (Segovia) y caracterización de los riesgos ambientales derivados de su relación con las aguas subterráneas. VI Simposio de Hidrogeología. Sevilla. Tomo XX: 339-352.
- TEMIÑO, J. y REBOLLO, L.F. 1996. La contaminación del agua subterránea y de las lagunas de Cantalejo (Segovia) por actividades agrarias. VI Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Granada. 553 pp.
- UNESCO, 1992. Clasificación de masas de agua en relación con sus pretendidos usos. En: El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Ediciones Pirámide, S.A., Madrid. 315-355.
- VELASCO, J.L.; SORIANO, O.; FERNÁNDEZ, J. y RUBIO, A. 2002. Características físico-químicas de diferentes masas de agua: I Cuenca del Tajo. *Ecología* 16: 27-35.