

LAGUNAS DE NEILA (BURGOS, ESPAÑA): UN CASO DE LAGUNAS DE MONTAÑA ALTAMENTE EUTRÓFICAS

JOSÉ LUIS VELASCO¹ Y MIGUEL ÁLVAREZ²

RESUMEN

Se han estudiado las características físico-químicas de cinco lagunas de montaña de la Cordillera Ibérica (Sierra de Neila, Burgos, España). Los resultados obtenidos indican que el nivel de eutrofización encontrado está muy por encima del que cabría esperar en lagunas de este tipo.

Palabras clave: físico-química, eutrofización, lagunas de montaña, Cordillera Ibérica, Sierra de Neila, España.

SUMMARY

Physico-Chemical characteristics of five mountain lakes in the Iberian Mountains (Sierra de Neila, Burgos, Spain) are studied. The eutrophication levels found are very high for this class of lakes.

Key words: physico-chemical, eutrophication, mountain lakes, Iberian Mountains, Sierra de Neila, Spain.

INTRODUCCIÓN

En la sierra de Neila se llevó a cabo el estudio limnológico de cinco lagunas de montaña (Negra, Larga, La Cascada, Brava y Los Patos), muestreadas en octubre de 1996 y junio y octubre de 1997.

El objetivo del trabajo es contribuir al conocimiento de las características físico-químicas de estas lagunas de las que no existe ninguna referencia bibliográfica al respecto. Únicamente hemos encontrado una referencia sobre vegetación macrófita debida a NAVARRO (1987).

También se incluye un estudio del nivel trófico de las lagunas, en las que ha sido práctica habi-

tual la alimentación artificial de truchas (CASADO & MONTES, 1995), con el fin de valorar la alteración de las condiciones naturales que han podido sufrir por ello.

ÁREA DE ESTUDIO

En el borde oriental de la meseta norte peninsular, en la Cordillera Ibérica, existen tres conjuntos de cubetas lagunares originadas en el glaciarismo del cuaternario y localizadas en las Sierras de Neila, Urbión y Cebollera respectivamente. En el conjunto de Neila, el más occidental de los tres, es donde se localizan las cinco lagunas objeto del presente estudio (figura 1). Dichas lagunas

¹ Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid. C/ José Gutiérrez Abascal, 2. e-mail: velascoj@mncn.csic.es. 28006 Madrid.

² Centro de Ciencias Medioambientales. C/ Serrano 115-bis. e-mail: malvarez@ccma.csic.es. 28006 Madrid.

se sitúan entre los 1700 m de la laguna de La Cascada (5 ha), formada artificialmente a partir del desagüe de las lagunas Larga (10,8 ha) y Negra (12,5 ha) y los 1900 m de esas dos lagunas. En un nivel intermedio se encuentran la laguna de Los Patos (3,6 ha) a 1860 m y la laguna Brava (1,6 ha) a 1880 m. Todas las lagunas disponen de muros artificiales de contención y las lagunas Negra y Larga están comunicadas através de un pequeño desagüe.

Las lagunas, excepto la de La Cascada, son de circo glaciario y sus cubetas se asientan sobre depósitos morrénicos cuaternarios del Holoceno formados por bloques heterométricos de materiales «Purbeck-Weald» con escasa matriz. Este conjunto está separado por una zona de contacto por discordancia de los materiales adyacentes, forma-

dos por areniscas conglomeráticas y arcillas del Mesozoico (Cretácico Inferior), resultado de una sedimentación de régimen deltaico. Esta unidad está compuesta por cuarzoarenitas, arenitas limosas, areniscas conglomeráticas, cuarzosas y también algún conglomerado cuarzoso.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las lagunas se muestrearon durante un año en tres ocasiones: octubre de 1996 y junio y octubre de 1997. Las muestras de las lagunas Larga, La Cascada y Los Patos se tomaron siempre desde la orilla, mientras que en las lagunas Negra y Brava se utilizó una barca para realizar perfiles en profundidad en los muestreos llevados a cabo durante 1997.

Excepto en las lagunas más profundas, Negra, Brava y Los Patos, donde el nivel del agua se mantuvo prácticamente constante, en las otras dos lagunas sí se observó una importante variación a lo largo de los muestreos, llegando en el último de ellos a mostrar un aspecto semivaciado. Esta situación fue consecuencia de la remodelación de los diques que en aquellas fechas se estaba llevando a cabo debido al mal estado de conservación en que se encontraban.

Los perfiles de oxígeno y temperatura en las lagunas Negra y Brava se hicieron a intervalos de 1 m utilizando una sonda YSI-57 y el perfil de penetración de luz se determinó con una sonda LI-COR dotada de un sensor escalar. Para las medidas «in situ» de pH y conductividad se utilizaron electrodos CRISON.

Los análisis químicos en laboratorio del resto de parámetros se llevaron a cabo siguiendo las recomendaciones standard APHA (1985).

La clorofila «a» se midió con la técnica de extracción con acetona en caliente de MARKER *et al.* (1980). También se midió «in situ» mediante un fluorímetro Turner modelo 10-005 (Figura 4).

No se han encontrado datos morfométricos de las lagunas, excepto los correspondientes a superficie, debidos a VALDIVIELSO (1980). En los perfiles realizados por nosotros se alcanzaron 19 m en la

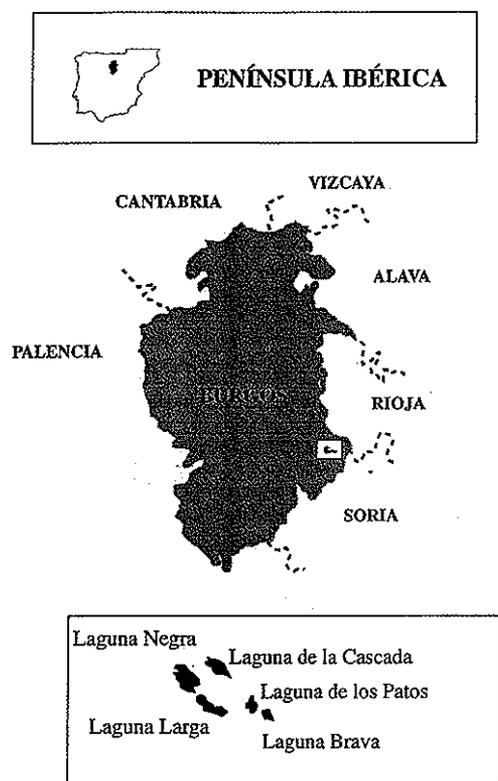


Fig. 1. Localización de las cinco lagunas de la Sierra de Neila (España). [Geographical location of five mountain lakes in the Sierra de Neila (Spain).]

laguna Negra y 8 m en la laguna Brava, aunque no puede asegurarse que sean las profundidades máximas.

La naturaleza geológica de las cubetas y zona adyacente se ha obtenido a partir del Mapa Geológico del Instituto Geológico y Minero de España (1978): hoja N.º 278; E. 1:50.000.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físico-químicas

No disponemos de datos de la evolución de los parámetros químicos a lo largo de todas las estaciones del año debido a que durante el invierno y la mayor parte de la primavera las lagunas permanecen cubiertas de nieve. En la tabla 1 se muestran los resultados de los análisis físico-químicos del agua de superficie de las lagunas La Cascada, Larga y Los Patos en verano (1997) y otoño (1996

y 97). En las lagunas más profundas, Negra y Brava, también se hicieron perfiles de superficie a fondo (tablas 2 y 3) en verano y otoño de 1997.

1) Penetración de luz

A partir de la ecuación $I_z = I_0 \cdot e^{-kz}$ que expresa la extinción de la luz en el agua, y por extrapolación, calculamos la profundidad de la zona eufótica (1% de la luz incidente en la superficie del agua) en las lagunas Negra y Brava, resultando ser del orden de 4,8 m (junio 97) y 4,6 m (octubre 97) en la primera y 7,0 m y 5,4 m en la segunda en las mismas fechas.

La profundidad de visión del disco de Secchi (tabla 4) confirma la escasa amplitud de la penetración de la luz, sobre todo en la laguna Negra donde no pasa de 2,5 m., lo cual tratándose de lagunas de montaña, que son normalmente oligotróficas y donde la profundidad de visión del

TABLA 1
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA SUPERFICIAL DE LAS LAGUNAS LA CASCADA,
LARGA Y LOS PATOS.
[PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS IN SUPERFICIAL WATERS OF LA CASCADA,
LARGA AND LOS PATOS LAKES]

	CASCADA			LARGA			LOS PATOS		
	Oct. 96	Jun. 97	Oct. 97	Oct. 96	Jun. 97	Oct. 97	Oct. 96	Jun. 97	Oct. 97
Radiación luminosa ($\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	670	-	-	650	-	-	1180	-	-
Temperatura (°C)	8,6	16,3	12,6	8,0	14,3	13,0	6,7	15,4	12,8
Oxígeno ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	9,0	9,8	9,8	9,5	9,6	9,9	9,2	9,1	9,7
pH	7,6	7,8	7,2	7,4	8,2	7,1	8,2	8,3	7,4
Conductividad ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	22,4	17,7	30,0	17,0	13,2	15,4	15,0	10,9	12,7
Bicarbonatos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1,6	3,1	5,2	1,6	3,1	3,4	0,9	3,1	3,4
Cloruros ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3,5	2,8	4,1	2,8	2,1	2,2	2,8	2,1	2,1
Sulfatos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	2,5	8,0	10,0	6,0	7,0	6,0	6,2	6,5	7,0
Calcio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3,2	2,0	3,0	2,4	1,6	1,8	2,0	2,0	2,4
Magnesio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,5	1,7	2,0	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4
Sodio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1,0	0,5	0,7	2,0	1,0	1,0	2,5	1,0	1,3
Potasio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,3	0,1	0,2	0,8	0,3	0,2	0,8	0,1	0,1
Residuo seco 110 °C ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	18,0	17,2	27,0	13,0	14,9	14,0	60,0	18,7	11,0
Residuo seco 550 °C ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	5,0	5,9	16,0	6,0	9,7	10,4	17,0	2,1	5,3
Materia orgánica MnO_4 ($\text{mg} \text{O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$)	3,2	3,7	4,7	2,96	2,9	6,5	4,16	3,4	3,2
Sílice ($\text{mg} \text{Si} \cdot \text{L}^{-1}$)	3,5	-	-	0,2	-	-	1,9	-	-
Nitritos ($\mu\text{g} \text{N} \cdot \text{L}^{-1}$)	1,8	4,8	3,9	0,9	6,1	5,2	1,8	4,5	1,8
Nitratos ($\mu\text{g} \text{N} \cdot \text{L}^{-1}$)	99,4	< 0,04	0,00	106,2	< 0,04	7,2	85,9	< 0,04	0,00
Amonio ($\mu\text{g} \text{N} \cdot \text{L}^{-1}$)	93,3	62,2	10,9	85,6	23,3	10,9	108,9	54,4	10,1
Ortofosfatos ($\mu\text{g} \text{P} \cdot \text{L}^{-1}$)	-	3,3	22,5	-	< 3,3	9,1	-	< 3,3	3,3
Fósforo total ($\mu\text{g} \text{P} \cdot \text{L}^{-1}$)	11	130	231	26	40	265	38	110	131
Clorofila «a» ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	8,9	4,7	30,0	37,9	7,6	56,2	36,6	7,7	24,7

TABLA 2
PERFILES VERTICALES DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA LAGUNA NEGRA.
[VERTICAL PROFILES OF PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF NEGRA LAKE]

	LAGUNA			NEGRA						
	Oct. 96 Jun. 97		Oct. 97							
	superficie	superficie	1 m.	4 m.	10 m.	15 m.	superficie	1 m.	9 m.	15 m.
Radiación luminosa ($\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	665	156	48	4	0	0	463	104	0	0
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	7,0	14,5	14,5	11,8	9,4	7,2	13,0	13,2	12,0	8,5
Oxígeno ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	9,3	9,4	9,1	9,3	6,9	3,2	9,7	9,3	1,0	0,4
pH	7,8	-	7,7	7,0	7,1	7,2	8,2	-	7,3	6,9
Conductividad ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	18,0	-	16,9	10,9	11,5	13,3	61,0	-	38,0	44,0
Bicarbonatos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1,6	-	3,1	3,1	3,1	3,1	-	9,0	7,0	8,0
Cloruros ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1,4	-	2,1	2,8	2,1	2,1	-	6,4	4,5	6,0
Sulfatos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	5,4	-	7,5	7,0	7,0	7,0	-	22,0	13,5	20,0
Calcio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	2,4	-	1,6	1,6	2,0	1,6	-	5,8	4,7	5,2
Magnesio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,5	-	0,2	0,2	0,2	1,0	-	0,8	0,5	0,6
Sodio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,5	-	0,5	0,5	0,5	0,5	-	2,0	1,0	2,0
Potasio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,8	-	0,1	0,1	0,1	0,1	-	0,3	0,2	0,3
Residuo seco 110 $^{\circ}\text{C}$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	24,0	-	23,3	18,0	14,9	15,7	-	13,0	14,0	45,0
Residuo seco 550 $^{\circ}\text{C}$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	2,0	-	14,3	11,8	9,6	6,4	-	4,0	5,2	12,1
Materia orgánica MnO_4 ($\text{mg} \text{O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$)	1,8	-	3,3	2,2	3,2	2,5	-	2,3	2,4	3,7
Sílice ($\text{mg} \text{Si} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitritos ($\mu\text{g} \text{N} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\leq 0,3$	-	25,9	13,7	5,2	5,5	-	0,0	2,4	7,3
Nitratos ($\mu\text{g} \text{N} \cdot \text{L}^{-1}$)	99,4	-	1,4	< 0,04	< 0,07	< 0,04	-	0,0	0,0	0,0
Amonio ($\mu\text{g} \text{N} \cdot \text{L}^{-1}$)	116,7	-	63,0	32,7	91,8	110,4	-	7,8	171,1	614,5
Ortofosfatos ($\mu\text{g} \text{P} \cdot \text{L}^{-1}$)	-	-	< 3,3	< 3,3	< 3,3	< 3,3	-	8,8	23,4	131,0
Fósforo total ($\mu\text{g} \text{P} \cdot \text{L}^{-1}$)	16	-	40	50	20	20	-	64	182	626
Clorofila «a» ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	7,1	-	4,2	6,2	9,7	3,5	-	21,9	2,7	3,2

TABLA 3
PERFILES VERTICALES DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LA LAGUNA BRAVA.
[VERTICAL PROFILES OF PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF BRAVA LAKE]

	LAGUNA			BRAVA					
	Oct. 96	Jun	1997	Octubre			1997		
	superficie	superficie	1 m.	4 m.	6 m.	superficie	1 m.	6 m.	
Radiación luminosa ($\text{mE} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	800	1238	875	169	44	168	51	1	
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	7,1	15,1	14,9	11,6	8,8	13,8	13,9	12,5	
Oxígeno ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	9,1	8,9	8,7	10,2	2,3	8,7	7,9	1,1	
pH	8,5	-	8,3	8,2	7,9	7,8	7,8	7,2	
Conductividad ($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)	21,0	-	9,1	7,1	7,8	45,0	45,0	10,0	
Bicarbonatos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1,6	-	3,1	3,1	3,1	-	11,0	4,0	
Cloruros ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	7,7	-	2,8	2,1	2,1	-	10,2	3,0	
Sulfatos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	4,5	-	7,8	7,8	7,0	-	28,0	8,0	
Calcio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1,6	-	0,8	1,2	0,8	-	3,0	1,0	
Magnesio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1,4	-	0,7	0,7	0,2	-	2,6	0,2	
Sodio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,5	-	0,5	0,5	0,5	-	2,4	0,8	
Potasio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,5	-	0,1	0,1	0,1	-	0,5	0,1	
Residuo seco 110 $^{\circ}\text{C}$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	15,0	-	20,3	14,0	16,2	-	26,0	10,0	
Residuo seco 550 $^{\circ}\text{C}$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	9,0	-	11,7	10,1	4,1	-	10,0	3,0	
Materia orgánica MnO_4 ($\text{mg} \text{O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$)	4,4	-	2,6	2,2	2,4	-	2,2	2,4	
Sílice ($\text{mg} \text{Si} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,6	-	-	-	-	-	-	-	
Nitritos ($\text{mg} \text{N} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\leq 0,3$	-	7,9	5,2	5,2	-	1,5	2,7	
Nitratos ($\text{mg} \text{N} \cdot \text{L}^{-1}$)	79,1	-	0,3	< 0,04	< 0,04	-	0,0	0,0	
Amonio ($\text{mg} \text{N} \cdot \text{L}^{-1}$)	74,7	-	48,2	26,4	32,7	-	10,1	9,3	
Ortofosfatos ($\text{mg} \text{P} \cdot \text{L}^{-1}$)	-	-	< 3,3	3,3	4,9	-	8,5	6,5	
Fósforo total ($\text{mg} \text{P} \cdot \text{L}^{-1}$)	35	-	22	20	66	-	84	139	
Clorofila «a» ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	16,4	-	5,6	8,3	6,2	-	16,5	9,3	

TABLA 4
LAGUNAS DE NEILA: FÓSFORO TOTAL ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), CLOROFILA «A» ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) Y LÍMITE DE VISIÓN DEL DISCO DE SECCHI (M).
[NEILA LAKES: TOTAL PHOSPHORUS ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), CHOROPHYLL «A» ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) AND WATER TRANSPARENCY AS SECCHI DISC DEPTH (M)]

	ZONA			EUFÓTICA			ZONA PROFUNDA						
	P.T. (μgPL^{-1})			Clorofila «a» ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)			Profundidad de Secchi (m)						
	Oct. 96	Jun. 97	Oct. 97	Oct. 96	Jun. 97	Oct. 97	Oct. 96	Jun. 97	Oct. 97	Jun. 97	Oct. 97	Jun. 97	Oct. 97
Laguna Negra	16	45	64	7,1	5,2	21,9	-	2	2,5	20	404	6,6	3
Laguna Brava	35	36	84	16,4	6,7	16,5	-	4,5	2,5	-	139	-	9,3
La Cascada	11	130	231	8,9	4,7	30,0	-	-	-	-	-	-	-
Laguna Larga	26	40	265	37,9	7,6	56,2	-	-	-	-	-	-	-
Los Patos	38	110	131	36,6	7,7	24,7	-	-	-	-	-	-	-

disco de Secchi suele alcanza por lo menos 8 m, resulta un valor muy bajo.

2) Perfiles de oxígeno y temperatura

En las Tablas 1 a 3 se dan los datos de las variaciones de oxígeno y temperatura en las diferentes lagunas.

En los perfiles de temperatura de las lagunas Brava y Negra (figura 2) se apreció estratificación térmica en ambas en junio y octubre de 1997, con una termoclina que en la primera laguna se desplaza de entre 3 y 6 m en junio a 6-7 m en octubre y en la segunda de entre 2 y 6 m a 8-10 m en las mismas fechas. En la laguna Negra hay que señalar la presencia de una termoclina secundaria en junio entre 12 y 13 m. Las diferencias de temperatura entre epilimnion e hipolimnion son máximas en junio: 7,3 °C en la laguna Negra y 6,5 °C en la Brava. En el resto de las lagunas las temperaturas del agua de superficie variaron entre 6,7 °C en Los Patos (octubre 1996) y 16,3 °C en La Cascada (junio 1997).

Los perfiles de oxígeno mostraron situación de anoxia en las lagunas Brava y Negra en junio y octubre de 1997 (figura 3), con marcadas oxiclina en la primera laguna a partir de 4 y 5 m en junio y octubre respectivamente y de 11 y 8 m en la segunda laguna en las mismas fechas. En la laguna Brava, en junio, se observó un aumento en el contenido de oxígeno entre 2 y 4 m de 8,7 a 10,2 mg.L⁻¹, coincidente con el aumento de las medias de fluorescencia efec-

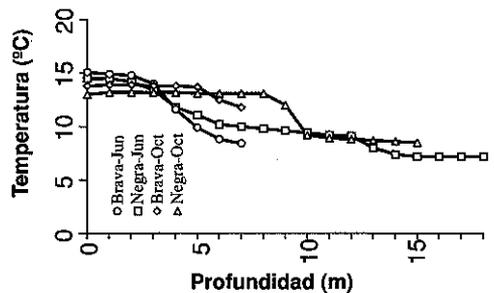


Fig. 2. Perfiles verticales de temperatura (°C) en las lagunas Negra y Brava. [Vertical profiles of temperature (°C) in Negra and Brava Lakes.]

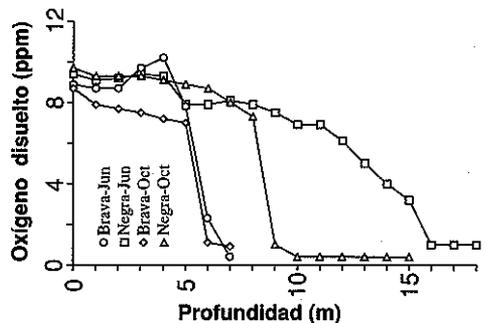


Fig. 3. Perfiles verticales de oxígeno ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en las lagunas Negra y Brava. [Vertical profiles of oxygen ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) in Negra and Brava Lakes.]

tuadas en la mismas profundidades (figura 4). Fenómenos similares a este también han sido observados en otros lagos de alta montaña (PECHLANER *et al.* 1972). En el resto de las

lagunas, el oxígeno de superficie nunca fue inferior a 9,0 mg.L⁻¹.

3) Composición iónica

El agua de las lagunas de Neila presentó una baja mineralización, menor de 0,1 g.L⁻¹ (como suma de aniones y cationes), variando en la zona eufótica entre 12,6 mg.L⁻¹ (laguna Negra, octubre 1996) y 57,7 mg.L⁻¹ (laguna Brava, octubre 1997). En el periodo de tiempo estudiado se produjo en las lagunas Negra, Brava y La Casca un apreciable aumento del contenido de sales, de 2 a 3 veces, entre Octubre de 1996 y 1997. La conductividad, que también se ajusta al esquema anterior, varió en un rango entre 7,1 μ S.cm⁻¹ (laguna Brava) y 61 μ S.cm⁻¹ (laguna Negra), próximos a los valores registrados en las lagunas de Sierra Nevada (8-77,1 μ S.cm⁻¹) por MORALES-BAQUERO *et al.* (1992) y también, en menor medida, a los valores medios de lagos pirenaicos (4,7-44,2 μ S.cm⁻¹) (CATALÁN *et al.*, 1992).

Los aniones y cationes principales, expresados en % de meq.L⁻¹ (EUGSTER & HARDIE, 1978), siguen el modelo SO₄⁻² > Cl⁻ y Ca⁺² > Mg⁺², excepto para éstos últimos en las lagunas de Los Patos y Larga en que la secuencia varía a Ca⁺² > Na⁺.

4) Calidad del agua

4.1. Alcalinidad

El valor de éste parámetro, debido exclusivamente al bicarbonato, varió en un rango de 0,02 a

0,18 meq.L⁻¹ que puede considerarse bajo si lo comparamos con los registrados en otros lagos de montaña: Pirineos (0,03-0,33 meq.L⁻¹; CATALÁN *et al.*, 1992), Sierra Nevada (0,05-0,40 meq.L⁻¹; MORALES *et al.*, 1992), Cordillera Cantábrica (0,05-2,13 meq.L⁻¹; VELASCO *et al.*, 1999) y Alpes (hasta 3,5 meq.L⁻¹; RUGGIU & MOSELLO, 1984).

4.2. pH

Todos los valores registrados en la zona eufótica estuvieron siempre por encima de 7,0 variando entre 7,1 (laguna Larga, octubre 1997) y 8,5 (laguna Brava, octubre 1996). En las aguas más profundas de las lagunas Negra y Brava hay una tendencia a la disminución del valor de éste parámetro con el aumento de la profundidad, alcanzándose un valor mínimo de 6,9 a 15m en la laguna Negra en el muestreo de octubre de 1997.

4.3. Materia orgánica

El nivel de materia orgánica medido por el consumo de permanganato varió en un rango de 1,8 a 6,5 mg O₂.L⁻¹ por debajo del intervalo 5-12 mg O₂.L⁻¹ considerado característico de aguas oligosaprobias (MARGALEF, 1983).

Características tróficas

Para evaluar las características tróficas de las lagunas de Neila seguiremos los modelos de clasificación de la UNESCO (1992) basados en valores límites abiertos de fósforo total (PT), clorofila «a» (concentraciones media y máxima) y profundidad media de Secchi para establecer la probabilidad trófica principal de las masas de agua estudiadas.

En las lagunas en que se realizaron perfiles, Negra y Brava, los valores de PT y clorofila «a» de la tabla 4 son medias calculadas a partir de los datos de las tablas 2 y 3 correspondientes a las profundidades incluidas en la zona eufótica de cada laguna y en cada época de muestreo y cuya amplitud fue deducida a partir de la ecuación de

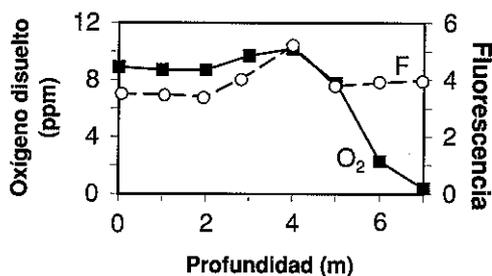


Fig. 4. Perfil vertical de oxígeno (mg.L⁻¹) y fluorescencia en la laguna Brava (junio 1997). [Vertical profile of oxygen (mg.L⁻¹) and fluorescence in Brava Lake (1997 June).]

extinción de la luz como se dijo anteriormente. También se incluyen en la tabla 4 los datos correspondientes a la zona profunda, situada por debajo de la zona eufótica.

Las concentraciones de PT en la zona eufótica de las lagunas Negra y Brava indican una evolución de condiciones oligo-mesotróficas y mesotróficas respectivamente en octubre de 1996 a condiciones de eutrofia en octubre de 1997. En las otras lagunas también se da en el mismo periodo una tendencia similar hacia el aumento del nivel trófico, agudizada en los casos de La Cascada y laguna Larga donde se pasa de condiciones de oligotrofia y mesotrofia respectivamente a otra de hipertrofia. El elevado nivel trófico alcanzado en estas dos lagunas está indudablemente relacionado con el vaciado al que se vieron sometidas, ya que la disminución de la altura de la columna de agua confirió a estas lagunas un carácter más somero que favorecería el aumento de su nivel trófico. En la laguna de Los Patos la transición es de mesotrofia a eutrofia.

En la zona profunda, los niveles de PT de la laguna Brava en octubre de 1997 corresponden a aguas eutróficas, mientras que en la laguna Negra hay una variación más drástica desde condiciones mesotróficas a hipertróficas de junio a octubre.

Por el contenido de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), obtenido como suma de amonio, nitrito y nitrato, en la zona eufótica durante el periodo de estancamiento, todas las lagunas presentaban una situación politrófica en el primer muestreo de octubre de 1996 que evolucionó a eutrófica y mesotrófica en los muestreos siguientes de junio y octubre de 1997.

Por las concentraciones medias de clorofila «a» en la zona eufótica, todas las lagunas son eutróficas excepto la laguna Larga que es hipertrófica. Si consideramos en vez de valores medios, los máximos (picos) de clorofila, la condición trófica de las lagunas se atenúa ligeramente pasando a condiciones mesotróficas las lagunas Negra y Brava y sólo de eutrofia la laguna Larga.

Por los valores medios de la profundidad de visión del disco de Secchi entre octubre de 1996

y 1997, la laguna Negra tendría un carácter eutrófico y la laguna Brava meso-eutrófico.

Estudio comparado con otros lagos y lagunas de montaña europeos

En el estudio comparado con otras lagunas y lagos de montaña dentro y fuera de España apreciamos que tomando los valores máximos de los rangos de variación, tanto de PT (figura 5), como de clorofila «a» (tabla 5), la mayoría de las masas de agua consideradas son oligotróficas, caso de los lagos suizos (ultraoligotróficos), noruegos (antes de la fertilización) y los españoles de Covadonga, Saliencia y Sierra Nevada, o como máximo mesotróficos, como ocurre en los lagos italianos (Scuro Parmense, Garda, Maiore e Iseo) y españoles (Sanabria y Pirineos).

Contrastando con lo anterior, el carácter eutrófico detectado en las lagunas de Neila sólo es comparable a los lagos noruegos después de haber sido fertilizados con compuestos químicos de nitrógeno y fósforo para aumentar la producción de truchas, o con los lagos italianos de Como y Lugano que alcanzan elevados niveles de eutrofia debido al impacto antrópico derivado de su emplazamiento en zonas altamente pobladas e industrializadas. Dentro de España, la situación de las lagunas de Neila sólo es comparable a la de las lagunas del Páramo, en la Cordillera Cantábrica, altamente contaminadas por la presencia en ellas de abundante ganado vacuno.

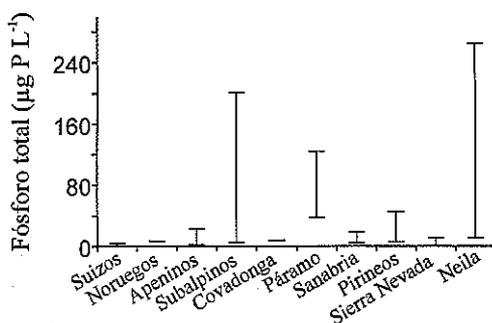


Fig. 5. Rango de variación de fósforo total ($\mu\text{gP L}^{-1}$) en las lagunas de Neila y en otros lagos y lagunas de montaña europeos. [Variation range total phosphorus ($\mu\text{gP L}^{-1}$) in Neila and others european mountain lakes.]

TABLA 5

RANGO DE VARIACIÓN DE DIFERENTES PARÁMETROS EN LAGOS Y LAGUNAS DE MONTAÑA EUROPEOS.

*=($\mu\text{gP-PO}_4\text{-L}^{-1}$); (1) = 5 LAGOS; (2) = 6 LAGOS. A = ANTES DE FERTILIZAR LOS LAGOS. D = DESPUÉS DE FERTILIZAR; (3) = 6 LAGOS; (4) = 2 LAGOS; (5) = DATOS DE CONDUCTIVIDAD, PH Y

PT (104 LAGOS) DE CATALÁN ET AL. 1992. EL RESTO DE LOS PARÁMETROS (153 LAGOS) DE MIRACLE, 1978; (6) = 9 LAGOS.

[VARIATION RANGE OF DIFFERENT PARAMETERS IN EUROPEAN MOUNTAIN LAKES.

*=($\mu\text{gP-PO}_4\text{-L}^{-1}$); (1) = 5 LAKES; (2) = 6 LAKES. A = BEFORE FERTILIZATION LAKES. D = AFTER FERTILIZATION LAKES; (3) = 6 LAKES; (4) = 2 LAKES; (5) = CONDUCTIVITY, PH AND PT DATES (104 LAKES)

OF CATALÁN ET AL. 1992. REST OF PARAMETERS (153 LAKES) OF MIRACLE, 1978; (6) = 9 LAKES]

Lagos y lagunas de montaña	Altitud (m)	Superficie (ha)	Prof. máx. (m)	Conductiv. ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	pH	PT ($\mu\text{gP.L}^{-1}$)	Clorofila «a» ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Pro. Secchi (m)	Referencias
Lagos suizos (1)	2616-2631	0,9-1,5	5,7-11	4,1-8,5	5,2-6,0	1-4	0,8-1,9	-	Schanz, 1984
Lagos noruegos (2)	496-1175	0,2-4,1	-	8-27	5,6-7,2	A(1,2-8,6) D(9,6-65)	A(0,3-2,6) D(1,9-14,5)	A(4,5-12,5) D(3-7,3)	Johannessen <i>et al.</i> , 1984
Lagos italianos									
Apeninos									
Lago Scuro Parmense	1527	1,2	10,4	19-25	6,2-8,4	<2-23	0,2-5,6	>3	Antonietti <i>et al.</i> , 1988
Subalpinos:									
Lago Garda	-	37000	346	-	-	5-30	1,7	15,9	Ruggiu & Mosello, 1984
Lagos Maggiore e Iseo	-	21250-6180	370-251	-	-	25-50	5,1-6,4	10,0-5,7	" "
Lagos Como y Lugano	-	14590-2730	410-288	-	-	65-201	9,4-24	5,7-3,0	" "
Lagos españoles									
Cordillera Cantábrica									
Lagos de Covadonga y									
Saliencia (3)	1070-1700	0,7-24,6	<3-63	108-170	7,6-8,2	7,8	1-8,2	-	Velasco <i>et al.</i> , 1999
Lagunas del Páramo (4)	1720	0,7-0,9	-	14-22	7,7-8,0	38-124	88-252	-	" "
Macizo Galaico									
Lago de Sanabria	1000	317,8	51	13-18	5,8-8,1	4-18	2-4	5-9	Vega <i>et al.</i> , 1992
Pirineos (5)	1200-2960	0,5-61,2	1-107	4,7-44,2	5,8-7,2	4,6-45,6	0,2-3,5	4-20	Miracle, 1978; Catalán <i>et al.</i> , 1992
Sierra Nevada (6)	2800-3050	<2	<12	9-68	5,7-8,3	0,7-11,4*	0,2-6,4	-	Morales-Baquero, 1988; Morales-Baquero <i>et al.</i> , 1992

CONCLUSIONES

A partir de los datos de nutrientes (PT y NID) podemos decir que el nivel trófico de las lagunas evolucionó desde una situación de mesotrofia en general, en octubre de 1996, a otra de eutrofia o incluso de hipereutrofia en dos lagunas (Larga y La Cascada) un año más tarde. Los datos medios de clorofila «a» y la escasa profundidad de visión del disco de Secchi confirman, en general, el estado eutrófico de las lagunas.

La anoxia en el hipolimnion de las lagunas Negra y Brava, es típica también de lagos y lagunas altamente productivos y elevados niveles tróficos.

El carácter anormalmente eutrófico para unas lagunas de montaña como estas de Neila, única-

mente es comparable al de algunos lagos italianos localizados en áreas de fuerte influencia antrópica (Como y Lugano), o bien al de algunos lagos noruegos después de haber sido fertilizados para el uso de pesca intensiva de trucha.

En definitiva, el deseo de «conjuguar el arte de lo útil con la armonía del entorno» (VALDIVIELSO, 1980) no ha sido posible y es evidente la necesidad de no utilizar las lagunas como «criaderos intensivos» de truchas si se quiere detener el actual proceso de eutrofización forzada, para en un segundo paso y a medio plazo recuperarlas.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Óscar Soriano por su contribución en la realización de la parte gráfica del trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTONIETTI, R., FERRARI, I., ROSSETTI, G., TAROZZI, L. & VIAROLI, P. 1988. Zooplankton structure in an oligotrophic mountain lake in Northern Italy. *Verh. Internat. Verein Limnol.* 23: 545-552.
- APHA. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington DC. 1268 pp.
- CASADO, S. & MONTES, C. 1995. Guía de los lagos y humedales de España. J. M. Reyero Editor. Madrid. 255 pp.
- CATALÁN, J., BALLESTEROS, E., CAMARERO, L., FELIP, M. & GACIA E. 1992. Limnology in the Pyrenean lakes. *Limnética* 8: 27-38.
- EUGSTER, H. P. & HARDIE, L.A. 1978. Saline lakes. En: A. Lerman (ed.). *Lakes. Chemistry, Geology. Physics.* Springer-Verlag. New York. 237-293 pp.
- JOHANNESSEN, M., LANDE, A. & ROGNERUD, S. 1984. Fertilization of 6 small mountain lakes in Telemark, Southern Norway. *Verh. Internat. Verein Limnol.* 22: 673-678.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología.* Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 1010 pp.
- MARKER, A.F.H., NUSCH, E.A., RAY, H. & RIEMANN, B. 1980. The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standardizations of methods: conclusions and recommendations. *Arch. Hydrobiol. Beih., Ergebn. Limnol.* 14: 91-106.
- MIRACLE, M.R. 1978. Composición específica de las comunidades zooplanctónicas de 153 lagos de los Pirineos y de su interés biogeográfico. *Oecologia aquatica* 3: 167-191.
- MORALES-BAQUERO, R. 1988. Body size variability of *Eucblanis dilatata* EHRENBERG in high mountain lakes of Sierra Nevada (Spain). *Arch. Hydrobio.* 112(4): 597-609.
- MORALES-BAQUERO, R., CARRILLO, P., CRUZ-PIZARRO, L. & SÁNCHEZ-CASTILLO, P. 1992: Southernmost high mountain lakes in Europe (Sierra Nevada) as reference sites for pollution and climate change monitoring. *Limnética* 8: 39-47.
- NAVARRO, G. 1987. Datos sobre la vegetación acuática de las lagunas glaciares de Urbión y Neila (Soria-Burgos). *Lazaroa* 7:487-495.
- PECHLANER, R., BRETSCCHKO, G., GOLLMANN, P., PFEIFER, H., TILZER, M. & WEISSENBACH, H. 1972. The production processes in two high-mountain lakes (Vorderer and Hinterer Finstertaler See, Kühntai. Austria). En: Z. Kajak, A. Hillbricht-Ilkowska (eds.). *Proceeding of the IBP.UNESCO Symposium on Productivity Problems of Freshwaters.* Kazimierz Dolny, Poland. pp: 239-269.
- RUGGIU, D. & MOSELLO, R. 1984. Nutrient levels and phytoplankton characteristics in the deep southern alpine lakes. *Verh. Internat. Verein Limnol.* 22: 1106-1112.
- SCHANZ, F. 1984. Chemical and algological characteristics of five high mountain lakes near the Swiss National Park. *Verh. Internat. Verein Limnol.* 22: 1066-1070.
- VALDIVIELSO, B. 1980. Neila una llamada al turismo. Ed. Ayuntamiento de Neila. Burgos. 278 pp.
- VEGA, J.C., DE HOYOS, C. & ALDASORO, J.J. 1992. The Sanabria lake. The largest natural freshwater lake in Spain. *Limnética* 8: 49-57.

VELASCO, J.L., ARAUJO, R., ÁLVAREZ, M., COLOMER, M. & BALTANÁS, A. 1999. Aportación al conocimiento limnológico de ocho lagos y lagunas de montaña de Asturias (España). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Biol.)* 95(1-2): 183-193.

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. 315-335 pp.