

ESTUDIO FISICO-QUIMICO DE LOS RIOS DE LA CUENCA DEL BERNESGA (LEON)

Margarita FERNANDEZ ALAEZ, Yolanda IBÁÑEZ y Ma del Camino FERNANDEZ ALAEZ

Departamento de Ecología. Facultad de Biología. Universidad de León. Campus de Vegazana, 24071 LEON.

Palabras clave: contaminación, química del agua, río Bernesga (León).

SUMMARY

PHYSICAL AND CHEMICAL STUDY OF THE RIVERS OF THE BERNESGA BASIN (LEON, SPAIN)

Key words: pollution, water chemistry, Bernesga river (León, Spain).

The increase in mineralization from the source to the mouth and the human influence (urban and industrial wastes, miner and agricultural activities) are the essential factors controlling the characteristics of the rivers. This is deduced from a principal components analysis applied to the seasonal information for 24 sampling plots in the Bernesga basin. The influence of the second component is more pronounced in the Bernesga river than its principal tributary, the Torío river, because of the mining exploitation and the population urban impact in the middle-upper stretch. However, the Bernesga river shows a self-purifier power, and both rivers reach to León town with similar chemical characteristics. The urban wastes break the previous chemical stability.

INTRODUCCION

Un ecosistema fluvial presenta una enorme superficie de interacción con los ecosistemas terrestres, que exportan al agua una parte de su producción, y se integran con él en una unidad funcional más equilibrada (MARGALEF, 1983).

Los principales factores que controlan la composición química de las aguas bajo condiciones naturales son: la estructura geológica y litológica de la cuenca, la topografía, el clima, la vegetación y los organismos, y han sido identificados por GIBBS (1970) y GORHAM (1961). En la mayoría de los casos, la influencia del hombre se añade a estos mecanismos, ya sea por el vertido directo de aguas residuales de origen urbano o industrial, o por actividades relacionadas con la agricultura. La importancia relativa de todos estos factores se enmascara por grupos de interacciones que dificultan la interpretación de las contribuciones individuales a la composición del río.

IV CONGRESO ESPAÑOL DE LIMNOLOGIA

Actas : 179-190

No obstante, son varios los autores (CAPBLANCQ y TOURENQ, 1978; SABATER y ARMENGOL, 1985) que consideran que en la zona templada la composición química del agua se relaciona más directamente con la litología de la cuenca y la influencia humana.

Con este trabajo se pretende obtener una caracterización química global de los ríos de la cuenca del Bernesga, evaluando los cambios que derivan de los impactos recibidos; pero haciendo especial hincapié en el análisis comparativo de la estructura y funcionamiento del Bernesga y Torío. Los resultados que de aquí deriven podrán complementar a otros estudios realizados en la cuenca, y que hacen referencia a la distribución de los macrófitos en el Bernesga (FERNANDEZ, 1986) y de los macroinvertebrados en el Bernesga (PRADO, 1985) y el Torío (DE SOTO, 1986).

DESCRIPCION GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

La cuenca del río Bernesga, de 1188 km² de extensión, se localiza en la provincia de León, y vierte sus aguas a la cuenca del Esla (fig. 1). El norte de la cuenca lo constituye un sector de la Cordillera Cantábrica, y como tal se caracteriza por la gran elevación y escabrosidad de las sierras. El Bernesga nace en las inmediaciones del Puerto de Pajares a 1600 m de altitud, y recorre 80 km; por su margen derecha, y en las localidades de Villamanín y La Pola de Gordón recibe respectivamente al Rodiezo y Casares. En el término de La Robla deja el relieve montañoso y se abre paso hacia los terrenos meseteños. Inmediatamente después de atravesar la ciudad de León recibe por la izquierda las aguas de su principal afluente, el Torío, que nace en el Puerto de Piedrafita, a 1640 m, discurrendiendo prácticamente paralelo al Bernesga en su recorrido de 57 km.

El sector montañoso de la cuenca lo forman esencialmente terrenos paleozoicos, de una gran variedad litológica. Los terrenos calizos se concentran con preferencia en este sector, y dispuestos en franjas alternan casi en un 50% con cuarcitas, pizarras y areniscas. A estos materiales paleozoicos se oponen las formaciones terciarias y cuaternarias que rellenan la cuenca del Duero, y que son predominantemente de naturaleza silíceo. Arcillas, areniscas y margas constituyen los materiales

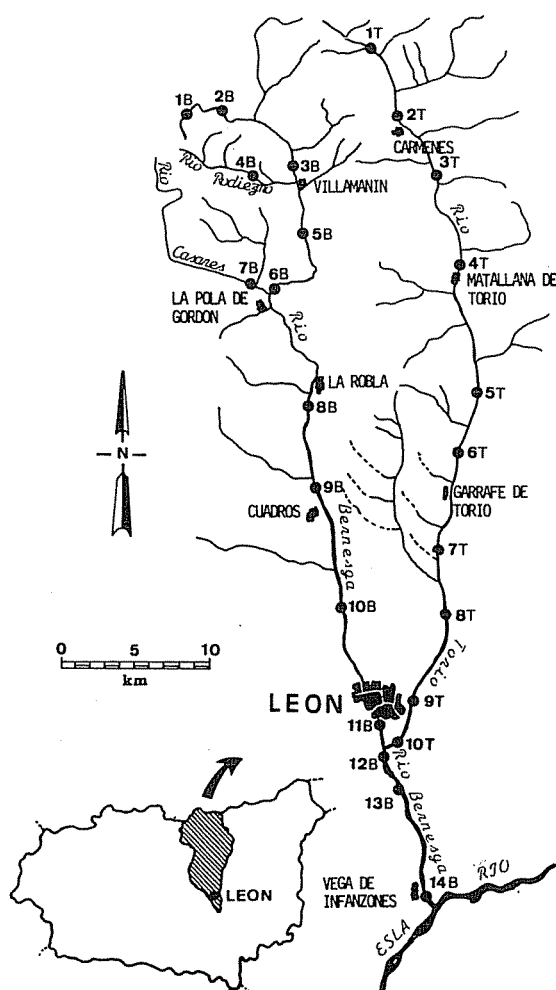


Fig. 1.- Mapa de la cuenca del Bernesga indicando la localización de las estaciones de muestreo.

Map of the Bernesga basin showing the sampling sites.

miocénicos, que se entremezclan con depósitos cuaternarios detríticos formados por gravas sueltas cuarcíticas (rañas).

La mayor parte de la cuenca pertenece según PAPADAKIS (1961) a dos tipos de clima; mediterráneo templado fresco que tiene el límite inferior a nivel de La Robla, y mediterráneo templado seco hasta prácticamente la desembocadura; pues sólo una pequeña zona en la confluencia con el Esla se asocia con un clima mediterráneo semiárido continental semicálido. El régimen hidrológico depende sobre todo de las aportaciones en la parte superior de la cuenca. En el sector montañoso las precipitaciones anuales superan considerablemente los 1000 mm. El periodo de mayores precipitaciones se extiende de Octubre a Mayo, con máximos en Diciembre y Enero. En la mitad inferior de la cuenca la pluviosidad se reduce mucho, existiendo un periodo árido. Las fuertes variaciones del caudal a lo largo del periodo anual y en años sucesivos son reflejo de la irregularidad del clima mediterráneo (FERNANDEZ, 1986).

La población se encuentra desigualmente repartida en la cuenca. Se concentra en la capital de la provincia, que representa un importante foco de contaminación puntual, dado que el Bernesga y el Torío reciben sin depurar los vertidos urbanos e industriales. Los municipios de La Robla y La Pola de Gordón, enclavados en las márgenes del Bernesga en torno a cuencas mineras, poseen una elevada densidad de población, y son, aunque en menor escala, importantes fuentes de polución local.

MATERIAL Y METODOS

Se establecieron a lo largo de la cuenca hidrográfica del Bernesga 24 estaciones de muestreo (fig. 1), que fueron objeto de estudio durante cuatro campañas estacionales, que se corresponden con el otoño de 1985, invierno, primavera y verano de 1986.

La determinación de las características físico-químicas del agua se realizó en el campo y en el laboratorio. En el primer caso, se midieron en cada punto: pH (pHmetro WTW), oxígeno disuelto (medidor de oxígeno WTW), temperatura del agua y conductividad (HACH DR-EL2). En el laboratorio se analizaron los siguientes parámetros: cloruros, amoníaco, sodio, potasio y calcio, usando electrodos selectivos Orion (94-17B, 95-12, 97-11, 93-19 y 93-20 respectivamente); alcalinidad (método volumétrico, GOLTERMAN et al., 1978), magnesio (método compleximétrico, Standard Methods, 1980), sulfatos (método turbidimétrico, Standard Methods, 1980) y sólidos en suspensión totales (método de filtración, RODIER, 1981). Mediante el método colorimétrico se determinó la concentración de fosfatos (MURPHY y RILEY, 1962), silicatos (Standard Methods, 1980), nitritos (SHINN, 1941) y nitratos (Standard Methods, 1975). Además de estas variables se calcularon para cada estación de muestreo los factores geográficos altitud y distancia a la desembocadura.

En el tratamiento estadístico de los datos se ha aplicado el análisis de componentes principales según el programa "Factor analysis BMDP4M" (1982). Previamente, y al objeto de estabilizar la varianza (CASSIE, 1963; IBÁÑEZ, 1971), se ha realizado la transformación $x = \log(x+0,001)$ de todas las variables a excepción del pH.

RESULTADOS Y DISCUSION

Evaluación general de los parámetros físico-químicos del agua

Los resultados del análisis de las muestras de agua en las diferentes

estaciones de muestreo aparecen recogidos en las tablas 1 y 2: en la primera los correspondientes al Bernesga y sus pequeños afluentes, Rodiezmo y Casares; y en la segunda, los del Torío. Se expresan en forma de medias anuales, aunque indicando en cada caso los valores mínimo y máximo registrados a lo largo de las cuatro estaciones que componen el ciclo hidrológico.

En el Bernesga, y por lo que hace referencia a los elementos mayoritarios (Ca^{++} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{--} , Mg^{++} , Na^+ y K^+), que tienen su expresión general en la conductividad, se pone de manifiesto la conocida tendencia observada en un río de un aumento progresivo de la mineralización desde la cabecera a la desembocadura (MARGALEF, 1983). Pero además de esto, el impacto de las explotaciones mineras situadas en el tramo superior, algunas muy próximas a la cabecera, unido, en general, al desarrollo de importantes núcleos de población, se deja sentir de forma puntual en Busdongo (2), La Pola de Gordón (6), y sobre todo en La Robla (8); y se manifiesta fundamentalmente en aumentos de sulfatos, cloruros, sodio y sólidos en suspensión (tabla 1). Los vertidos domésticos e industriales de la ciudad de León inciden notoriamente sobre los valores de conductividad, y es por ello que en el tramo final del río se superan los 1000 $\mu\text{mhos/cm}$. Estos aumentos de conductividad, ligados a focos de contaminación puntual, se acusan sobre todo en verano y otoño (fig. 2) por efecto de la disminución de caudal.

Esta contaminación, acentuada en el tramo final, eleva también de for

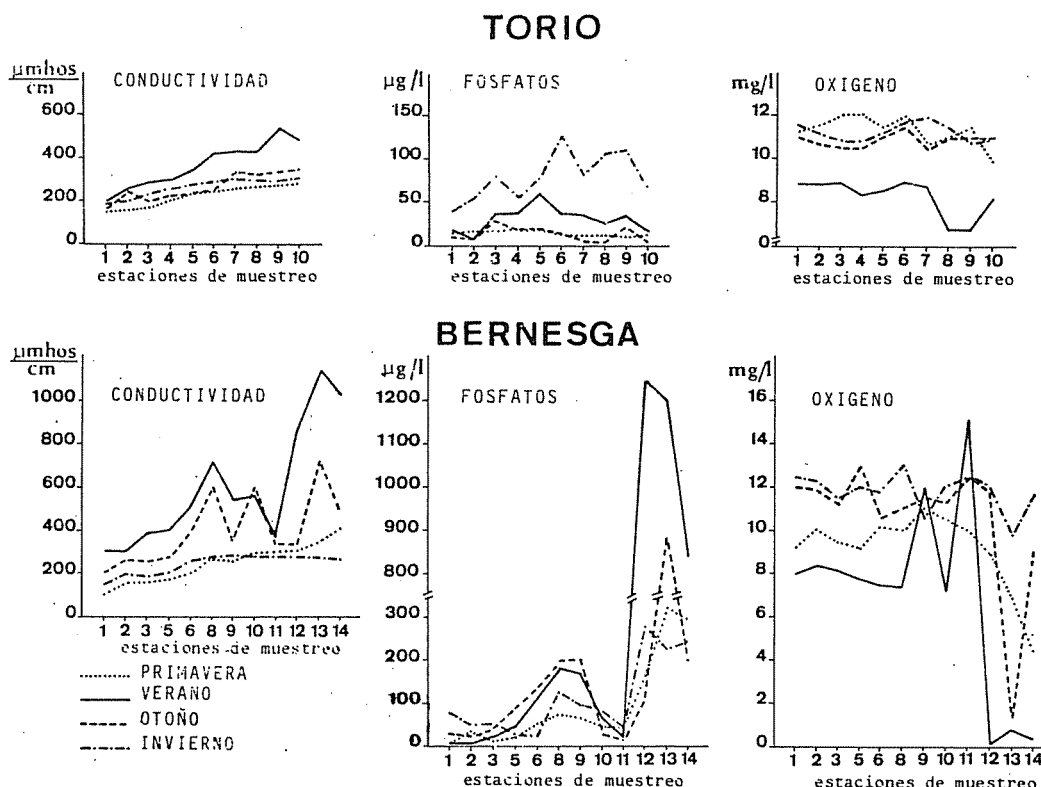


Fig. 2.- Variación espacio-temporal de la conductividad, fosfatos y oxígeno disuelto en el Bernesga y el Torío.

Space-temporal variation of conductivity, phosphate and oxygen in the Bernesga and the Torío rivers.

VARIABLES	ESTACIONES DE MUESTREO													
	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B	10B	11B	12B	13B	14B
CONDUCTIVIDAD (µmhos/cm, 25°C)	190,62 99-298	229,88 156-298	247,60 156-390	251,80 167-377	260,40 170-394	346,00 206-520	330,00 254-412	62,50 267-710	363,80 273-540	430,70 279-606	317,70 279-355	445,40 279-852	622,20 272-1136	548,00 271-1025
pH (unidades)	7,31 6,50-8,00	7,34 6,80-7,85	7,50 7,10-8,10	7,42 6,70-7,80	7,35 7,15-7,50	7,75 7,40-8,20	7,79 7,60-8,10	7,87 7,45-8,40	8,02 7,50-8,40	7,82 7,30-8,50	8,15 7,50-8,50	7,90 7,50-8,50	7,91 6,80-9,20	7,40 7,00-7,65
ALCALINIDAD (mg/l CO ₃ Ca)	0,52 0,32-0,76	0,92 0,56-1,60	1,15 0,56-1,68	1,16 0,76-1,88	1,34 0,92-2,04	1,62 1,28-2,44	1,93 1,16-2,96	1,96 1,44-3,08	2,01 1,28-3,28	2,21 1,60-3,50	2,02 1,56-2,88	2,76 1,76-5,52	3,75 1,92-6,20	2,58 1,88-3,36
CLORUROS (mg/l)	8,29 5,09-12,7	6,18 3,59-8,42	5,85 2,71-11,0	4,00 3,22-5,40	6,10 3,98-9,82	7,54 4,82-13,2	4,66 4,37-5,00	8,47 5,54-12,5	7,90 5,76-10,2	6,28 4,69-7,59	9,42 5,79-16,4	19,00 6,78-53,7	53,35 9,78-136	42,68 10,8-135
SULFATOS (mg/l)	6,90 1,08-11,7	21,50 11,7-39,6	8,62 5,25-16,1	5,05 2,06-8,25	8,10 6,13-11,5	25,56 10,6-44,2	8,96 3,19-15,4	34,95 8,00-70,5	29,31 12,3-50,7	21,86 11,5-36,5	23,12 14,0-33,5	23,58 16,2-44,5	44,01 14,8-72,5	33,34 20,2-47,5
CALCIO (mg/l)	15,11 4,54-20,8	23,92 14,0-30,4	22,58 15,8-29,9	23,00 19,2-30,2	27,20 21,4-36,0	34,18 27,0-46,0	40,42 27,5-63,9	46,88 34,6-80,9	49,52 39,0-76,6	54,28 42,0-79,3	40,38 34,3-42,6	42,18 21,6-63,9	47,45 41,8-54,0	50,80 44,9-66,1
MAGNESIO (mg/l)	2,19 0,97-3,40	4,33 2,75-7,29	5,47 2,43-8,75	7,27 3,88-10,2	8,38 4,37-13,6	8,81 5,35-12,4	6,92 4,86-8,26	9,69 5,35-19,4	8,26 5,35-10,7	8,46 5,40-13,1	8,02 5,83-11,2	8,20 5,59-14,6	9,05 6,32-12,6	9,98 5,83-14,6
SODIO (mg/l)	8,50 3,13-22,5	10,87 3,52-26,7	3,14 1,31-5,67	1,12 0,60-1,47	2,21 1,12-3,24	5,29 2,05-8,43	1,00 0,09-1,92	8,13 2,46-15,4	6,67 2,70-12,0	4,22 2,57-7,43	5,54 2,75-11,9	18,39 1,57-64,9	33,10 5,16-77,5	20,38 4,49-62,0
POTASIO (mg/l)	0,16 0,03-0,44	0,17 0,0-0,504	0,15 0,0-0,455	0,58 0,1-1,700	0,26 0,0-0,782	0,33 0,0-0,991	0,41 0,1-2,20	0,53 0,1-1,560	0,48 0,1-1,430	0,28 0,0-0,853	0,39 0,1-1,150	1,32 0,3-3,90	3,46 0,10-10,30	2,86 0,02-8,53
N-NH ₃ (µg/l)	52 0-106	33 0-61	52 0-87	158 0-424	50 0-108	54 0-101	119 0-216	107 0-193	68 0-106	48 0-119	179 0-557	270 129-1024	398 405-1245	210 131-768
N-NO ₂ ⁻ (µg/l)	7,8 0,1-28	1,5 0,1-3	12 0,1-38	46 0,1-51	12 0,1-30	31 2-79	39 2,5-110	69 9-184	69 8,5-214	10 4-19	10 5-20	70 26-120	222 15-800	98 19-238
N-NO ₃ ⁻ (µg/l)	681 191-1770	828 211-2316	197 100-336	761 464-945	612 311-854	766 241-1691	615 241-1184	956 543-1198	926 734-1298	562 120-1359	516 201-684	646 120-1107	307 120-504	451 120-754
FOSFATOS (µg/l)	27,75 1-75	27,50 5-48	30,50 12-52	33,00 12-55	44,50 20-85	81,50 26-135	50,00 26-90	145,5 74-199	133,25 68-200	58,00 35-68	29,50 15-45	447,75 116-1240	654,50 225-1200	394,00 200-840
SILICATOS (mg/l Si)	2,38 1,39-3,80	2,62 1,00-4,59	3,15 2,18-4,99	3,29 2,47-5,03	3,39 2,47-5,38	3,01 2,11-4,47	3,47 2,82-5,01	3,93 1,83-6,26	3,37 1,20-5,54	3,41 0,63-5,63	2,68 0,58-5,17	3,72 1,45-5,29	4,10 2,43-5,48	3,71 1,81-5,14
SST (mg/l)	8,75 0-26	30,75 3-66	20,25 3-64	21,50 5-68	9,00 0-26	3,50 0-6	5,25 0-12	33,25 0-120	9,25 2-20	5,00 2-8	4,75 0-10	32,50 1-67	61,62 6-150	44,87 13-80
OXIGENO (mg/l)	10,42 8,0-12,5	10,62 8,4-12,3	10,10 8,2-11,5	10,58 7,3-13,0	10,50 7,8-13,0	10,02 7,5-11,8	10,17 7,9-12,3	10,35 7,4-13,0	11,25 10,5-12,0	10,22 7,1-12,0	12,52 10,0-15,1	8,21 0,14-12,0	4,75 0,8-9,8	6,40 0,4-11,7

Tabla 1.- Resultados del análisis físico-químico del agua en las estaciones del Bernesga, Rodiezmo y Casares. Se dan en forma de medias anuales, indicando los valores mínimo y máximo medidos en el periodo de estudio.

Resultats of the physical and chemical analysis in the samples of the Bernesga, Rodiezmo and Casares rivers. The average values are indicated, showing for each sampling plots the minimum and maximum values measured in the period studied.

ma considerable los contenidos en N-NH_3 , N-NO_2^- y fosfatos, que llegan a alcanzar en esta última zona del río valores alarmantemente altos. Al mismo tiempo, los niveles de oxígeno disuelto se reducen, hasta el punto de establecerse en verano condiciones de práctica anoxia (0,4 mg/l).

En la figura 2 se indica la variación espacio-temporal del fosfato y el oxígeno disuelto, por tratarse de algunos de los parámetros más significativos. En el caso del fosfato se produce un primer aumento relacionado con la influencia de los núcleos urbano-industriales de Santa Lucía de Gordón, Cifera, La Pola de Gordón y La Robla, que se acusa en verano y otoño. Probablemente por efecto del proceso de autodepuración, el contenido en fosfato se reduce en las estaciones 10 y 11, aunque más tarde el impacto de la capital hace que los valores lleguen a situarse en torno a 1200 $\mu\text{g/l}$ en el verano, coincidiendo con un fuerte descenso de oxígeno disuelto. Conviene mencionar el incremento de N-NH_3 y N-NO_2^- en las estaciones situadas en el Rodiezmo (4) y Casares (7), que se puede atribuir a las actividades del ganado que utiliza los prados circundantes.

Tabla 2.- Resultados del análisis físico-químico del agua en las estaciones del Torío. Se dan en forma de medias anuales, indicando en cada punto los valores mínimo y máximo medidos en el periodo de estudio.

Resultats of the physical and chemical analysis in the samples of the Torío river. The average values are indicated, showing for each sampling plot the minimum and maximum values measured in the period studied.

VARIABLES	ESTACIONES DE MUESTREO									
	1T	2T	3T	4T	5T	6T	7T	8T	9T	10T
CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{mhos/cm}$, 25°C)	172,50 149-199	210,50 156-249	221,40 170-284	244,00 206-291	267,50 227-341	295,00 234-412	326,80 256-426	323,00 263-426	353,80 270-525	346,00 277-469
pH (unidades)	7,26 7,05-7,50	7,24 6,95-7,50	7,51 7,15-7,80	7,65 7,35-7,85	7,24 7,10-7,40	7,69 7,40-8,20	7,74 7,20-8,20	7,50 7,40-7,62	7,59 7,30-7,85	7,54 7,20-7,80
ALCALINIDAD (mg/l CO_3Ca)	1,07 0,84-1,44	1,33 1,02-1,96	1,52 1,26-2,12	1,74 1,48-2,24	1,86 1,58-2,48	1,94 1,56-2,84	2,15 1,66-3,12	2,24 1,70-3,20	2,12 1,72-3,04	2,09 1,60-2,88
CLORUROS (mg/l)	3,72 2,69-5,02	3,74 2,30-5,20	3,71 2,36-4,87	3,53 2,65-4,39	3,68 2,42-5,36	4,10 2,76-5,73	8,98 2,76-25,3	4,44 2,46-7,37	5,42 2,72-11,2	6,02 2,96-12,4
SULFATOS (mg/l)	3,00 1,00-3,85	2,18 1,00-5,00	2,40 0,30-5,00	3,80 0,30-5,25	5,55 0,63-9,63	7,64 6,95-9,63	7,64 6,38-10,0	6,62 3,50-10,0	13,10 6,63-27,5	13,47 7,25-19,7
CALCIO (mg/l)	21,54 11,5-32,0	23,56 13,7-38,5	25,91 15,8-41,6	27,94 17,0-44,5	33,49 18,0-57,3	33,91 14,5-63,5	36,84 17,3-66,1	37,39 18,8-67,2	37,25 15,4-69,5	36,18 18,0-57,8
MAGNESIO (mg/l)	1,32 0,92-2,30	3,77 2,43-7,78	3,76 1,45-5,83	4,25 0,97-7,78	5,41 6,13-7,78	5,83 4,86-7,78	5,10 3,88-7,29	6,44 4,86-9,72	6,68 4,86-11,7	5,59 3,89-8,26
SODIO (mg/l)	1,40 0-1,52	1,49 0-1,79	1,25 0-1,37	1,26 0-1,60	1,52 0-2,25	1,62 0-2,54	1,67 0-2,56	1,66 0-2,50	2,65 0-5,20	2,70 0,08-5,49
POTASIO (mg/l)	0,20 0-0,617	0,25 0-0,755	0,32 0-0,953	0,28 0-0,835	0,30 0-0,892	0,27 0-0,821	0,29 0-0,861	0,30 0-0,908	0,57 0-1,720	0,48 0-1,450
N-NH_3 ($\mu\text{g/l}$)	30 0-74	34 0-88	28 0-82	26 0-72	30 0-79	35 0-102	34 0-97	54 0-134	43 0-134	35 0-98
N-NO_2^- ($\mu\text{g/l}$)	1,3 0,1-2	2,5 0,1-6	5,8 0,1-14	5,0 0,1-14	8,1 0,1-22	8,4 0,1-20	6,0 0,1-18	6,9 0,2-18	10,0 0,1-32	17,0 2,0-56
N-NO_3^- ($\mu\text{g/l}$)	310 63-629	371 101-664	308 91-816	352 132-659	617 145-895	379 214-714	424 209-966	332 73-804	38 54-836	682 125-2254
FOSFATOS ($\mu\text{g/l}$)	20,00 10-40	22,00 8-55	40,00 16-80	31,75 18-55	43,50 18-78	48,25 16-125	32,75 4-80	36,00 2-105	43,75 10-110	24,25 2-65
SILICATOS (mg/l Si)	2,97 1,76-5,17	3,05 1,67-5,32	3,05 1,82-5,48	3,11 1,69-5,73	3,23 1,59-5,71	3,24 1,21-5,76	3,43 1,95-5,85	3,40 2,03-5,55	3,43 1,93-5,55	3,15 2,0-5,46
SST (mg/l)	4,75 1-10	7,25 2-20	1,00 0-2	12,00 2-30	9,00 1-40	12,25 2-40	13,25 3-40	11,12 0-30	2,50 0-7	14,00 0-40
OXIGENO (mg/l)	10,62 8,8-11,0	10,55 8,8-11,5	10,55 8,9-12,0	10,42 8,4-12,0	10,58 8,6-11,5	11,02 8,9-12,0	10,50 8,8-12,0	10,08 6,8-11,5	10,02 6,8-11,5	10,05 8,2-11,0

El aumento paulatino del contenido iónico desde la cabecera a la desembocadura se produce en el Torío, al igual que sucedía en el Bernesga (tabla 2), y tal como se observa en la figura 2 se acentúa en el verano a consecuencia del estiaje. Si se exceptúan los aumentos bruscos que se producen en el Bernesga por efecto de la contaminación, detectados en verano y otoño, los valores de conductividad son muy similares en ambos ríos. Las dos últimas estaciones del Torío se caracterizan por aumentos más acusados de sulfatos, sodio y potasio, que se deben probablemente a la influencia humana y se acentúan en verano, coincidiendo con un descenso de los niveles de oxígeno disuelto.

En cuanto al fosfato, se observa que la mayor parte del transporte anual de este nutriente coincide con el invierno (fig. 2), cuando el drenaje de la cuenca es más intenso y la actividad biológica más reducida. Este aumento se supone relacionado con aportes por lavado de fertilizantes procedentes de los terrenos próximos y resulta significativo en estaciones del tramo superior o medio (3, 5, 6), donde predominan las praderas con laboreo intensivo.

Las explotaciones de la cuenca minera de Matallana del Torío, al contrario de lo que sucedía en el Bernesga, no se traducen en aumentos de sulfatos en el agua, apreciándose sólo ligeros incrementos en el contenido de sólidos en suspensión (estación 4).

Análisis de componentes principales aplicado a los valores medios de los parámetros físico-químicos de la cuenca

Pretendiendo reducir la heterogeneidad temporal, se consideran los valores medios anuales obtenidos en las 24 estaciones de muestreo. A partir de estos datos, y con el fin de obtener una imagen global de las características de la cuenca se realizó un análisis de componentes principales.

VARIABLES	COMPONENTES	
	I	II
Temperatura	0,589	0,574
Conductividad	0,789	0,536
pH	0,669	0,047
Alcalinidad total	0,941	0,233
Cloruros	0,315	0,893
Sulfatos	0,446	0,545
Calcio	0,917	0,192
Magnesio	0,733	0,253
Sodio	0,094	0,826
Potasio	0,573	0,744
N-NH ₃	0,352	0,865
N-NO ₂	0,515	0,631
N-NO ₃	-0,037	0,008
Fosfatos	0,514	0,765
Silicatos	0,740	0,370
SST	0,008	0,737
Oxígeno disuelto	-0,272	-0,876
Distancia	-0,596	-0,563
Altitud	-0,909	-0,216

Tabla 3

Coefficientes de dependencia de las variables con los dos primeros componentes principales obtenidos del análisis realizado con todas las muestras de la cuenca.

Factor loadings of the variables for the I and II components obtained from the analysis applied to all samples of the basin.

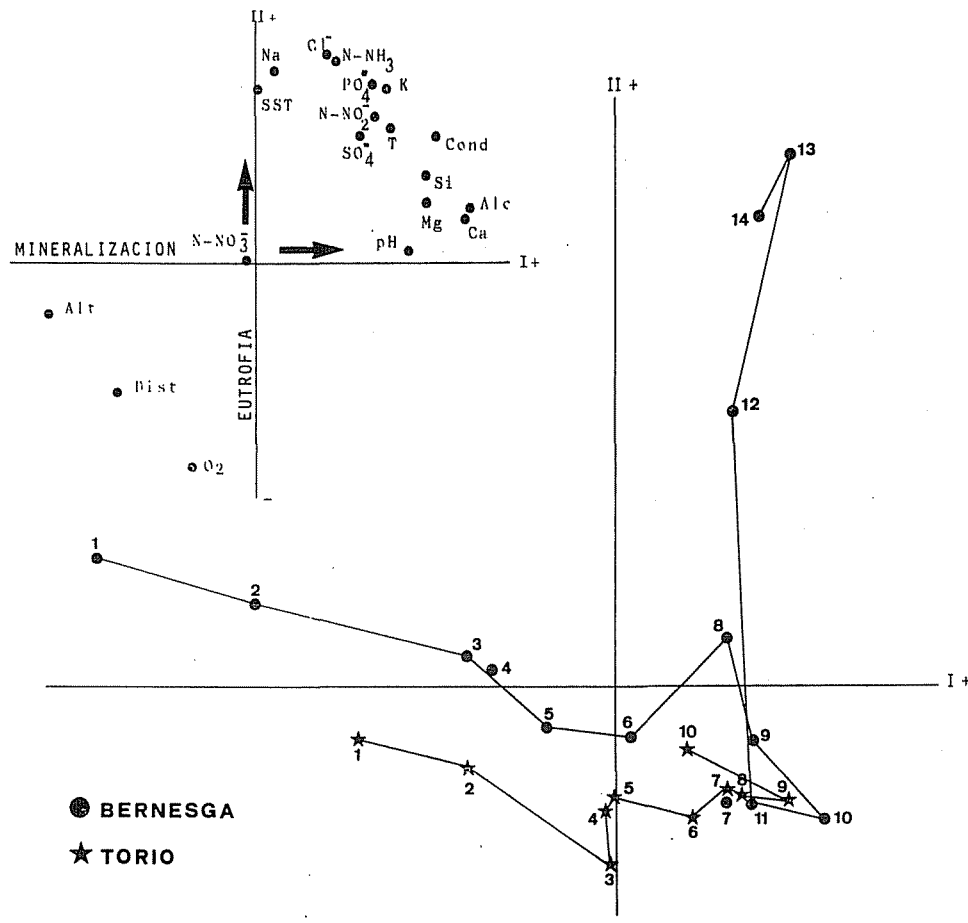


Fig. 3.- Análisis de componentes principales aplicado a los valores medios de la cuenca del Bernesga. Distribución de las variables y de las muestras en el plano definido por los componentes I y II.

Principal components analysis applied to the average values for the Bernesga basin. Distribution of the variables and samples in the plane defined by the I and II components.

En la tabla 3 se indican los coeficientes de dependencia de las 19 variables con los dos primeros ejes rotados, que absorben el 70,62% de la varianza total. A través del componente I (35,64%) se establece un gradiente de mineralización asociado a los parámetros geográficos, puesto que alcalinidad total, calcio, conductividad, silicatos y magnesio son por este orden los parámetros mejor correlacionados positivamente con el componente I, y se contraponen a la altitud y distancia a la desembocadura (fig. 3).

El eje II (34,98%), con una clara polaridad entre el oxígeno (extremo negativo) y cloruros, sodio, N-NH₃, fosfatos, sólidos en suspensión y potasio (extremo positivo), es consecuencia de la acción humana sobre el río: desechos urbanos, actividades industriales, mineras y agrícolas.

La representación de las estaciones de muestreo en el plano definido por los componentes I y II (fig. 3) refleja cómo la secuencia longitudinal del Torío tiende a ocupar una posición más negativa respecto al componente II que la correspondiente al Bernesga, descartando incluso las tres últimas estaciones de este río, que reciben los aportes altamente contaminantes de

la ciudad de León. Conviene mencionar que la incorporación de tales vertidos se realiza también a través del Torío, ya que inmediatamente antes de su desembocadura, y aguas abajo de la estación 10, vierten al río dos colectores procedentes de la ciudad.

La imagen que desde un punto de vista químico ofrecen en principio el Bernesga y el Torío de un discurrir paralelamente, pero a cierta distancia, marcada en gran parte por el componente II, se pierde más tarde debido básicamente a la mencionada recuperación del Bernesga a partir de Cabanillas y hasta recibir el impacto de la ciudad, y determina que algunas estaciones de los dos ríos se sitúen muy próximas en el plano definido por los componentes I y II.

Si la comparación se lleva a cabo en relación con el componente de mineralización, se observa que las muestras de cabecera del Bernesga ocupan una posición más extrema en sentido negativo que las del Torío. Este distanciamiento obedece fundamentalmente a contenidos más bajos de alcalinidad total y calcio en el Bernesga, puesto que conductividad y magnesio son superiores. Esta diferencia parece tener su origen en la litología de los terrenos drenados, y más concretamente en la existencia de una franja de calizas carboníferas próxima al nacimiento del Torío y de dolomías en el Bernesga. Las muestras del Rodiezmo y Casares aparecen distanciadas respecto al componente I, ya que el primero de estos afluentes aporta menos mineralización.

A la vista de la importancia que las tres últimas estaciones del Bernesga tienen en la definición del componente de eutrofia, y persiguiendo una diferenciación más clara entre el Bernesga y el Torío, se ha repetido el análisis eliminando estas estaciones de muestreo (fig. 4). Los coeficientes de dependencia de las variables con los tres primeros componentes rotados, que absorben el 71,88% de la varianza total, se dan en la tabla 4. El componente I (31,60%) continúa ligado al proceso de mineralización, pero es más evidente su asociación con la distancia. El concepto de eutrofia se desdobra entre los componentes II (20,31%) y III (19,97%), y pierde la relación opuesta que mantenía con la distancia y el oxígeno. El componente II da importancia a las formas de nitrógeno, especialmente al N-NO_2^- , así como a fosfatos y pota-

VARIABLES	COMPONENTES		
	I	II	III
Temperatura	0,551	0,310	0,571
Conductividad	0,801	0,426	0,362
pH	0,646	0,366	0,346
Alcalinidad total	0,946	0,171	-0,175
Cloruros	0,192	0,128	0,848
Sulfatos	0,403	0,318	0,826
Calcio	0,884	0,321	0,185
Magnesio	0,587	0,596	0,263
Sodio	-0,063	0,002	0,953
Potasio	0,554	0,660	-0,161
N-NH_3	0,028	0,754	0,212
N-NO_2^-	0,239	0,885	0,206
N-NO_3^-	-0,056	0,580	0,549
Fosfatos	0,382	0,641	0,344
Silicatos	0,572	0,491	-0,242
SST	-0,229	0,197	0,387
Oxígeno disuelto	0,039	0,050	0,116
Distancia	-0,777	0,127	-0,136
Altitud	-0,959	-0,096	-0,038

Tabla 4

Coefficientes de dependencia de las variables con los tres primeros componentes principales obtenidos del análisis realizado con todas las muestras a excepción de las tres últimas.

Factor loadings of the variables for the I, II and III components obtained from the analysis applied to all samples with exception of the three last.

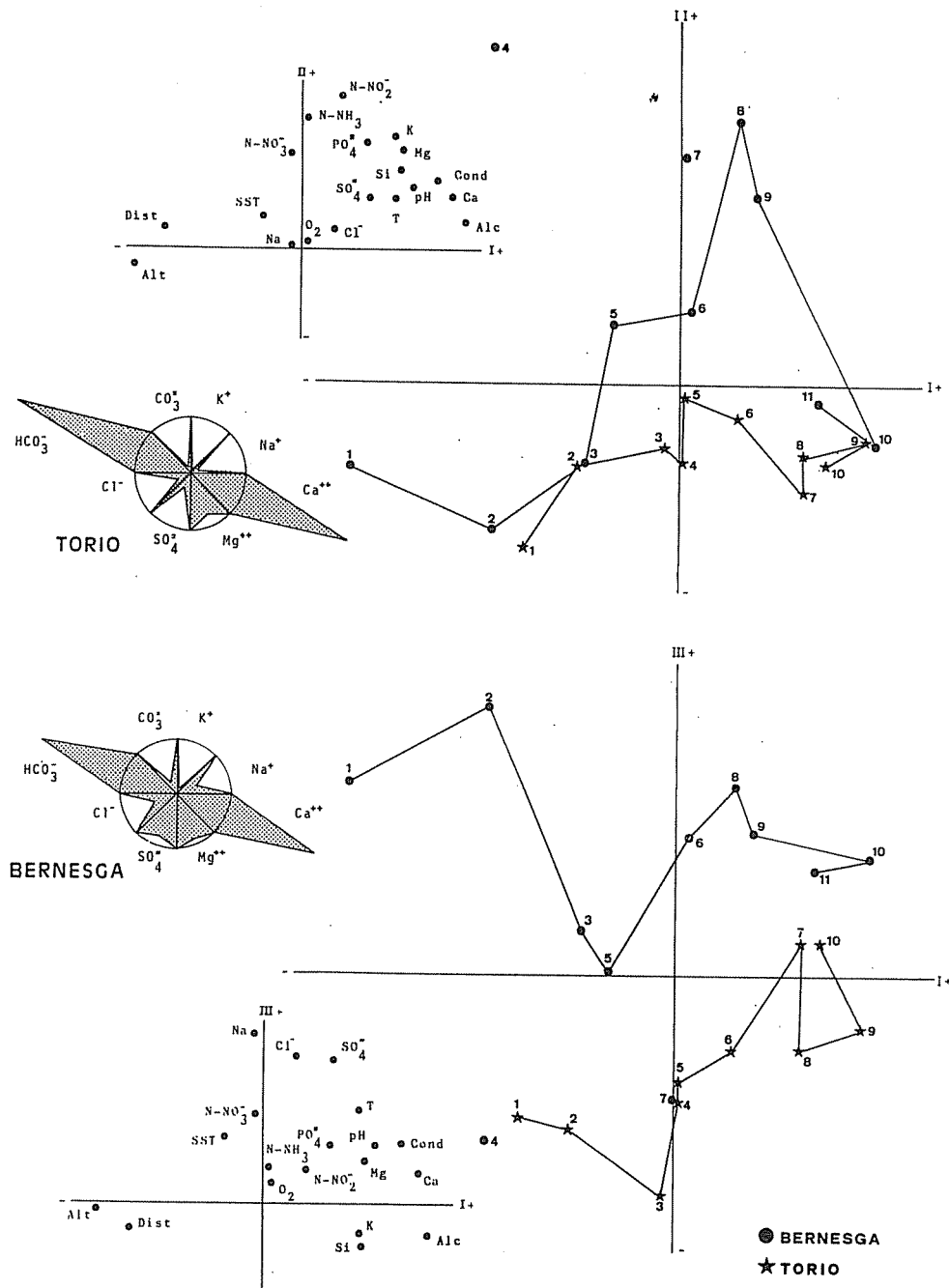


Fig. 4.- Análisis de componentes principales aplicado a los valores medios de cuenca del Bernesga eliminando las tres últimas muestras. Distribución de las variables y de las muestras en los planos definidos por los componentes I-II y I-III. Se incluyen dos diagramas que reflejan la proporción iónica global para el Torio y el Bernesga (eliminando las muestras 4, 7, 12, 13 y 14).

Principal components analysis applied to the average values for the Bernesga basin removing the three last samples. Distribution of the variables and samples in the planes defined by the I-II and I-III components. Two diagrams showing the global ionic proportion for the Torio and Bernesga (excluding the samples 4, 7, 12, 13 and 14) rivers are included.

sio; mientras que el eje III lo hace con sodio, cloruros y sulfatos.

Respecto al eje I, sigue siendo evidente una mineralización superior en la cabecera del Torío, aunque tal diferencia se elimina cuando ambos ríos llegan a la capital. El eje II separa del resto las estaciones del Rodiezmo y Casares, por la ya comentada influencia del ganado, así como las del tramo central del Bernesga, con contenidos superiores en nitrógeno inorgánico y fosfatos, derivados de la presencia de importantes núcleos urbanos e industriales. Esto hace que el Bernesga y el Torío se diferencien bien a este nivel, aun cuando se produzcan en el segundo aumentos de fosfatos ocasionados por actividades agrícolas. Sin embargo, y por una recuperación del Bernesga, los dos ríos vuelven a confluir.

El componente III marca la mayor diferencia entre los dos ríos. La zonación longitudinal del Torío tiene con relación a este componente una tendencia general ascendente, pero se sitúa siempre por debajo del Bernesga. Esta posición relativa revela, por un lado, el efecto de las actividades mineras en el Bernesga, que implican aumentos de sulfatos; y por otro, el mayor contenido en cloruros y sodio, particularmente en la cabecera, y para lo que no se ha encontrado una buena explicación. Al igual que sucede con los otros componentes, la distancia entre los dos ríos es menor a nivel de las últimas estaciones.

Se ha señalado por otros autores (MARGALEF, 1983; SABATER y ARMENGOL, 1985) que el resultado práctico derivado del aumento de la concentración de sales disueltas a lo largo de un cauce, que lleva a relacionar distancias químicas con distancias geográficas, es una estabilización de la composición química del agua y la adquisición de una inercia química. Tales efectos parecen desprenderse de los resultados obtenidos. Después de drenar terrenos litológicamente muy afines, pero sufrir impactos diferentes, los dos ríos llegan a la ciudad en condiciones químicas similares. La gran perturbación que suponen los vertidos de la ciudad rompe la estabilidad adquirida.

Se han construido diagramas (MAUCHA, 1932) que muestran las concentraciones relativas de los ocho iones más importantes en la mineralización (fig. 4), con el fin de resumir algunas diferencias entre los dos ríos. Para el Bernesga se han suprimido las tres últimas estaciones, así como las del Rodiezmo y Casares. Las relaciones coinciden con las del promedio mundial de las aguas fluviales ($\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ y $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$). Los iones mayoritarios son, con gran diferencia, bicarbonatos y calcio. Si se comparan los dos ríos se observa que en el Torío la relación se inclina aún más hacia estos dos iones, a expensas de cloruros, y sobre todo sulfatos, en el caso de los aniones, y sodio en el de los cationes.

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación subvencionado por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de León.

BIBLIOGRAFIA

- CAPBLANCQ, J. y TOURENQ, J.N. 1978. Hydrochimie de la rivière Lot. *Annals. Limnol.*, 14: 25-37.
- CASSIE, R.M. 1963. Multivariate analysis in the interpretation of numerical plankton data. *N.Z.J.Sci.*, 6: 36-59.
- DE SOTO, J. 1986. Aplicación de índices biológicos a la tipificación de las aguas del río Torío (León). Tesis de Licenciatura. Universidad de León. 109 pp.

- FERNANDEZ ALAEZ, C. 1986. Gradiente estructural de la vegetación macrófita acuática y ribereña y valoración de factores ecológicos en el río Bernesga. León. Tesis Doctoral. Universidad de León. 344 pp.
- GIBBS, R.J. 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170: 1088-1090.
- GOLTERMAN, H.L., CLYMO, R.S. y OHNSTAND, M.A.M. 1978. *Methods for physical analysis & chemical analysis of fresh waters*. Blackwell Scientific Publications. 213 pp.
- GORHAM, E. 1961. Factors influencing supply of major ions to inland waters with special reference to the atmosphere. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 72: 795-840.
- IBAÑEZ, F. 1971. Effet des transformations des données dans l'analyse factorielle en ecologie planctonique. *Cah. Oceanogr.*, 26: 545-561.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega S.A. Barcelona: 1010 pp.
- MAUCHA, R. 1932. Hydrochemische Methoden in der Limnologie. *Die Binnengewässer*, 12: 173 pp.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.
- PAPADAKIS, P. 1961. *Cimatic tables for the world*. Papadakis, Buenos Aires.
- PRADO, B. 1985. Aplicación de índices bióticos a la tipificación de las aguas del río Bernesga (León). Tesis de Licenciatura. Universidad de León.
- RODIER, J. 1981. *Análisis de las aguas. Aguas naturales. Residuales. Agua de mar*. Ed. Omega. Barcelona: 1059 pp.
- SABATER, F. y ARMENGOL, J. 1985. Characterization chemical of the Ter river. *Limnetica*, 2 (en prensa).
- SHINN, 1941. In: STRICKLAND, J.D.H. & PARSON, T.R. 1968. *A Practical Handbook of Seawater analyses*. Bull. Fish. Res. Bd Can.; 2nd rev. ed. Ottawa. 203 pp.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 1975. APHA-AWWA-WPCF. Amer. Pub. Health Ass. 14th ed. Washington.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 1980. APHA-AWWA-WPCF. Amer. Pub. Health Ass. 15th ed. Washington.