

COMPOSICION QUIMICA Y CARACTERIZACION AMBIENTAL DE LOS TRAMOS LOTICOS DEL EJE PRINCIPAL DEL RIO LOZOYA (MADRID)

C. CASADO¹ y C. MONTES¹

RESUMEN

En este trabajo se analizan las aguas de los tres diferentes tramos fluviales del eje principal del río Lozoya, en función de una batería de parámetros físicos básicos, gases disueltos, iones mayoritarios y nutrientes. Las muestras de agua se tomaron en cuatro campañas estacionales de muestreo, correspondientes al ciclo hidrológico 1980-81, siendo analizados los datos mediante técnicas automáticas multivariantes de ordenación, con el fin de poner de manifiesto sus principales tendencias de variación, tanto espacial como temporal.

Podemos observar que la litología es el factor clave que controla la composición química, originando diferencias espaciales significativas, en función de las litofacies drenadas, definiendo un gradiente longitudinal progresivo de aumento de la mineralización, que únicamente se ve interrumpido por la presencia de embalses. Este es un importante factor de alteración de las condiciones naturales, que va a controlar el régimen térmico, nivel trófico, concentración de sulfatos y contenido de sólidos en suspensión de las aguas, modificando sus variaciones temporales o estacionales naturales. Sin embargo, las perturbaciones que originan los diferentes embalses de la cuenca, en los tramos inferiores, depende de su localización y del tipo de funcionamiento, especialmente en cuanto al régimen de sueltas y a la profundidad de salida del agua.

INTRODUCCION

Los ríos son sistemas integradores de la naturaleza y utilización de las vertientes de su cuenca (MARGALEF, 1984), constituyendo unos excelentes indicadores de la calidad y estado del medio. En este sentido, la composición química de las aguas fluviales ha sido utilizado por numerosos autores (ÁVILA, 1984; CHRISTOPHERSEN & SEIJO, 1982; LIKENS *et al.*, 1977; VERTRATEN, 1977; VITOUSEK, 1977, entre otros) para explicar distintos procesos que ocurren a nivel de cuenca hidrográfica y a lo largo de su recorrido.

El río Lozoya viene siendo utilizado desde 1858 por el Canal de Isabel II para abastecimiento de agua al área metropolitana de Madrid y a algunos pueblos de su provincia, por lo que cuenta en la

actualidad con cinco embalses en funcionamiento y dos en desuso, lo que supone que de sus 91 km de longitud, aproximadamente 58 km se encuentran ocupados por embalses, y exclusivamente 33 km del eje principal son propiamente tramos fluviales. Esta situación origina toda una serie de modificaciones ambientales del cauce y de las características físico-químicas de las aguas, que se reflejarán en los tramos inferiores a la localización de dichos embalses.

Respecto a los propios embalses, podemos encontrar una serie de estudios limnológicos previos (MARGALEF *et al.*, 1976; AVILÉS y GONZÁLEZ RAMOS, 1975; CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS, 1980; ORTIZ, 1983), así como abundante información hidroquímica, ya que se encuentran englobados dentro de la Red de Control Oficial del Ministerio de Obras Públicas y Transporte, y son controlados de forma regular y asidua por el CYII, organismo responsable de su gestión. En contra-

¹ Departamento Interuniversitario de Ecología. Facultad de Ciencias UAM. 28049 Madrid.

posición, sus aguas corrientes han recibido muy poca atención, por lo que apenas es posible encontrar datos publicados o estudios previos (CASADO, 1986; CUBILLO *et al.*, 1990).

Con el presente trabajo se pretende, en primer lugar, hacer una aproximación a la caracterización hidroquímica de estos tramos propiamente fluviales, detectando las regularidades más notables en cuanto a composición físico-química de sus aguas, y las modificaciones que sufren a lo largo del gradiente longitudinal cabecera-desembocadura. Y de forma secundaria, comparar su quimismo en distintas condiciones hidrológicas.

METODOLOGIA

La localización de un embalse aislado en el tramo medioalto del cauce principal del río Lozoya (La Pinilla), y de una cadena de cuatro embalses consecutivos en su tramo medio y bajo (Riosequillo, Puentes Viejas, El Villar y el Atazar), originan que el eje principal del río Lozoya quede dividido en tres segmentos o sectores discontinuos. El primer segmento comprende desde el nacimiento hasta la cola del embalse de La Pinilla, siendo su longitud aproximada de 21 km. El segundo sector es un corto tramo fluvial aislado entre la presa de La Pinilla y la cola del embalse de Riosequillo, de unos 7 km de longitud. Y el último comprende desde la presa del Atazar hasta su confluencia en el río Jarama, su longitud aproximada es de 5 km.

En estos tres sectores fluviales se seleccionaron cinco estaciones de muestreo, cuyas características

más relevantes se recogen en la Tabla I, y su localización en la Figura 1.

El estudio ha constado de cuatro campañas de muestreo realizadas durante el período 1980-81 y de forma estacional: primavera o período de retención de agua (marzo, abril y mediados de mayo), verano o período de pérdida (mayo, junio, julio, agosto y septiembre), otoño o período de carga (mediados de octubre y noviembre) e invierno (diciembre, enero y febrero). Estos cuatro períodos climatológicos se muestran en los diagramas de la Figura 1.

Las muestras de agua se tomaron en la zona de máxima corriente, siendo inmediatamente analizadas *in situ*, mediante un espectrofotómetro de campo de la marca comercial HACH DR-EL/2. Unicamente la estima de «sólidos en suspensión» se realizó en laboratorio convencional mediante las técnicas analíticas estándar (APHA, AWWA, WPCP, 1985), para lo cual se recogieron al menos dos litros de agua en botellas de polietileno.

Las variables medidas fueron: temperatura del agua y del aire, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación, conductividad, pH, dureza total, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, sulfatos y sólidos en suspensión.

También se registraron una serie de variables físicas o ambientales como velocidad de la corriente, profundidad del agua, anchura del cauce, textura y movilidad del sustrato, porcentaje de sedimentos finos y cobertura de macrófitas, muy útiles a

TABLA I
CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS GENERALES DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

Estaciones de muestreo	Coordenadas UTM	Altitud m	Distancia al origen km	Pendiente %	Anchura m	Profundidad media cm	Tipo de sustrato
1	3OT.VL.256.243	1.235	12,7	38,63	13,9	28,1	Grandes bloques.
2	3OT.VL.291.298	1.104	20,5	9,26	25,2	32,0	Gravas y cantos rodados.
3	3OT.VL.361.381	1.075	30,5	4,54	21,5	90,0	Bloques y cantos rodados.
4	3OT.VL.399.329	1.030	35,2	4,54	23,56	85,0	Grandes bloques y rodados.
5	3OT.VL.632.257	700	90,0	4,00	11,64	26,3	Cantos rodados y gravas.

la hora de definir los distintos tipos de ambientes fluviales, y su variabilidad estacional.

Con el fin de caracterizar los distintos tipos de medios acuáticos en función del quimismo de la columna de agua y detectar las principales tenden-

cias o patrones de variación, el conjunto de datos físico-químicos fue sometido a un análisis factorial de ordenación según el programa P4M de la serie BMDP (DICKSON & BROWN, 1986). En un primer paso, se procedió a la normalización de los da-

SECTORES FLUVIALES

- SECTOR 1 Tramo no regulado
- SECTOR 2 Tramo con regulación moderada
- SECTOR 3 Tramo altamente regulado

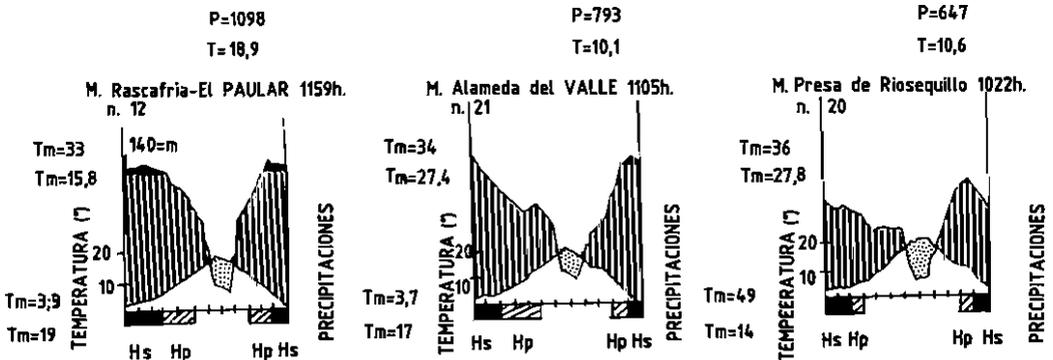
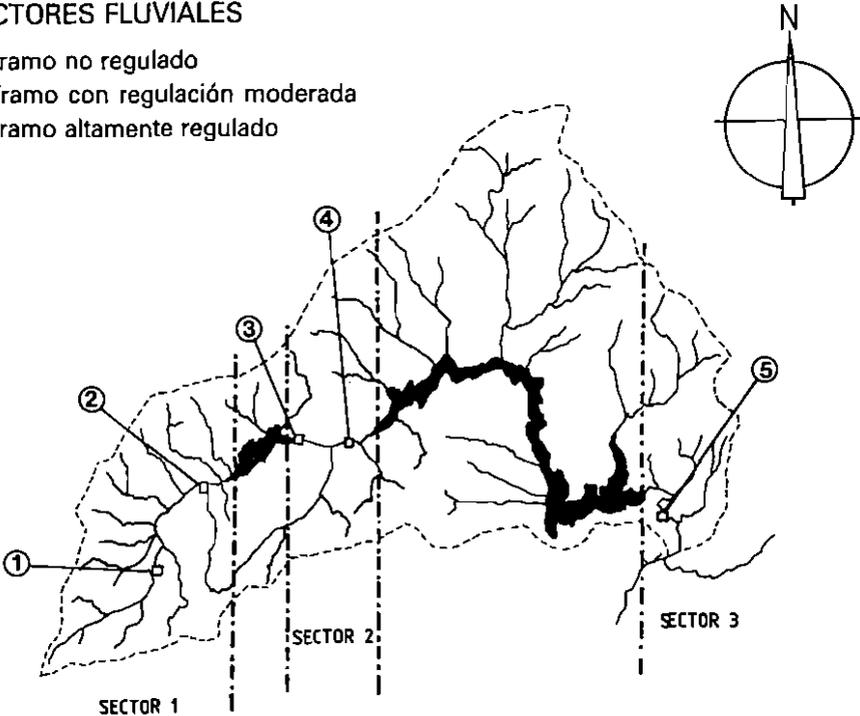


Fig. 1. Sectores fluviales definidos en el eje principal del río Lozoya y localización de las estaciones de muestreo seleccionadas. Se acompañan los climodiagramas de Walter-Lieth realizados sobre las series de datos de las estaciones termopluviométricas situadas en la cuenca.

tos, siendo transformados los resultados de todos los análisis físico-químicos (con excepción del pH) mediante la expresión $\log(x+1)$, para su tratamiento matemático.

RESULTADOS Y DISCUSION

Evolución longitudinal

En la Tabla II se presentan los valores medios anuales y las desviaciones típicas de los parámetros físico-químicos analizados para cada una de las estaciones de muestreo.

Una de las características más destacables de las aguas del río Lozoya es la baja mineralización, así la conductividad, dureza total, pH y sulfatos muestran valores muy bajos, presentando la misma pauta de variación espacial. Se trata de aguas blandas, poco tamponadas y ligeramente ácidas en los tramos superiores, que registran un leve aumento en los valores de las variables citadas anteriormente, en la zona de Pinilla del Valle, debido a la presencia de unas pequeñas bandas de calizas cretácicas y margas yesíferas, que llegan a ocupar el fondo de la cola del embalse de La Pinilla. El mayor incremento, aunque siempre dentro de un rango de valores moderados, se aprecia aguas abajo del embalse del Atazar, al internarse en la Fosa del Tajo, donde, debido a la existencia de diversas

frangas de materiales calizos y arenoso-margosos que aportan al agua sales por lixiviación y disolución, se alcanza una mineralización suave con un pH ligeramente básico, y un aumento de los niveles de sulfatos, dureza total y conductividad.

Por otra parte, son aguas frías y bien oxigenadas que sufren un ligero aumento de temperatura a lo largo del curso fluvial, y denotan una mayor constancia térmica anual aguas abajo de las presas de La Pinilla y el Atazar. Debido a la salida de aguas del hipolimnion del embalse de La Pinilla, las temperaturas de verano experimentan una disminución mientras que aumentan en invierno, como ocurre aguas abajo de cualquier embalse con estas características (WARD, 1982; WARD & STANFORD, 1982; CASADO *et al.*, 1989). Las variaciones en los niveles de oxígeno, tanto en concentración como en saturación, son también moderadas, aunque se observan pequeñas disminuciones en los tramos afectados por la suelta de embalses, especialmente debajo de La Pinilla, embalse eutrófico con salida de aguas profundas.

En cuanto a los nutrientes, sus valores son moderados, observando un incremento de amonio debajo del embalse de La Pinilla, unido a una disminución en los valores de las formas más oxidadas del nitrógeno (nitratos y nitritos), y de los fosfatos. También resulta patente un notable incremento en nitratos y fosfatos en la zona de desembocadura, donde ya existe una zona de vega y terrazas

TABLA II
VALORES MEDIOS (\bar{x}) Y DESVIACION TIPICA (S_x) DE LOS PARAMETROS FISICO-QUIMICOS ANALIZADOS PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

	Estación 1		Estación 2		Estación 3		Estación 4		Estación 5	
	\bar{x}	S_x								
Velocidad corriente m/s.	0,791	0,235	0,54	0,326	0,59	0,376	0,35	0,27	0,17	0,115
Caudal m ³ /s	2,615	1,186	4,636	3,409	8,67	6,522	8,86	7,48	1,76	1,425
Temperatura agua °C	6,25	6,198	9,87	7,465	7,62	3,816	9,2	5,433	14,55	2,824
Conductividad μ S	19,75	6,946	51,25	21,86	68,50	13,33	63,75	20,54	241,25	45,89
pH	6,62	1,062	7,37	1,364	8,17	0,899	8,4	0,734	8,75	0,5
O ₂ mg/l	10,62	1,493	9,0	1,414	9,62	0,75	10,0	1,414	10,75	1,707
% saturación	98,5	13,916	86,0	6,055	88,0	11,105	97,7	20,597	116,15	23,158
Dureza total mg/l CO ₂ Ca	17,5	13,22	43,75	21,360	58,3	29,508	52,5	12,58	162,5	33,040
Nitratos mg/l	2,48	0,890	3,85	2,176	2,435	2,45	2,925	1,547	13,25	14,161
Nitritos mg/l	0,078	0,054	0,24	0,224	0,0375	0,017	0,2725	0,485	0,1425	0,123
Amonio mg/l	0,06	0,042	0,0825	0,158	0,3025	0,399	0,1775	0,264	0,1225	0,146
Fosfatos mg/l	0,1475	0,189	0,5275	0,322	0,225	0,173	0,2925	0,2189	1,1025	1,680
Sulfatos mg/l	3,0	3,24	3,96	6,087	2,775	3,376	5,75	4,272	29,625	16,418
Sólidos en suspensión mg/l	2,7075	0,354	4,3	0,761	9,575	0,822	16,15	1,567	1,382	6,357

cultivadas en la margen derecha del valle, reflejando así el uso de fertilizantes en la zona (VESPINI *et al.*, 1987).

La cantidad de sólidos en suspensión es siempre baja o moderada, estando fuertemente condicionada por la presencia de los embalses (TOJA, 1984). Aguas abajo del embalse de La Pinilla, el contenido en materiales suspendidos es muchísimo más elevado que en el resto del río, lo que se explica por el tipo de desagüe de fondo que tiene esta presa. De esta forma, el embalse se comporta más como un disipador que como una trampa de los sedimentos acumulados en su cubeta que le llegarían principalmente en las épocas de crecidas (tanto lluvias otoñales como deshielo primaveral) desde los numerosos arroyos torrenciales de su margen izquierda fundamentalmente, aunque en estas dos épocas su comportamiento varía, reteniendo una cierta cantidad de sedimentos en el embalse.

Por el contrario, aguas abajo de la cadena de cuatro embalses consecutivos presentes en su tramo bajo, el contenido de sólidos en suspensión es casi nulo, a pesar de ser una zona con un sustrato geológico más blando y erosionable y tener una cubierta vegetal más degradada. Es decir, en el paso sucesivo por estos cuatro embalses se eliminan por decantación los materiales en suspensión que arrastra el agua. Esto es debido a que en el embalse de Riosequillo se precipita gran parte de este material, con pocas posibilidades de volver a ponerse en movimiento, ya que las compuertas de salida están a 26 m sobre el fondo; es decir, sale agua del metalimnion que irá a parar a la cola del embalse de Puentes Viejas, ya bastante clara, y con baja turbidez. Desde este embalse puede ser vertida directamente al de El Villar, o conducida a través de un canal al embalse del Atazar y el agua de El Villar es vertida directamente al Atazar por el aliviadero de superficie. De esta forma las aguas que llegan al Atazar son casi completamente claras y han perdido por sedimentación la mayor parte de la carga que contenían. Es decir, este conjunto de cuatro embalses consecutivos actúa como una cadena de balsas de decantación en las que el agua pierde lentamente la carga que transportaba. Este efecto ya ha sido referido por otros autores para cadenas de embalses en la Península Ibérica (TOJA, 1984).

Variación estacional de los principales parámetros físico-químicos

Las fluctuaciones que presentan algunos de los parámetros más representativos del quimismo general de las aguas, a lo largo del ciclo anual, se representan en la Figura 2.

En cuanto a los parámetros relacionados con la mineralización (Fig. 2), podemos observar cómo estacionalmente la mayor conductividad se da en la época de otoño, después de la sequía estival, cuando por la evaporación, la cuenca queda cargada de sales y se produce su lavado con las lluvias otoñales. Esto es debido a que el agua ha permanecido largo tiempo en la cuenca y se ha enriquecido con cationes por meteorización de los silicatos (AVILA, 1984). En primavera los valores de conductividad son inferiores, y en invierno se registran los mínimos de todo el año. La dureza total presenta un comportamiento estacional muy semejante, mientras que el pH difiere sensiblemente, ya que alcanza los valores más elevados en invierno y otoño y los más bajos en verano. Esta situación es el resultado de los procesos de reducción de la materia orgánica que se acumula en los cauces durante el estiaje (VIDAL-ABARCA, 1985). Los sulfatos (Fig. 3) presentan los valores más elevados en otoño y los más bajos en primavera, debido en parte a su consumo por los productores primarios y fundamentalmente al efecto de dilución (FERNÁNDEZ ALAEZ *et al.*, 1988). También es importante el efecto del embalse de La Pinilla en verano y otoño, épocas en que las concentraciones de salida (estación número 3 de muestreo) son muy inferiores a las de entrada (estación número 2), por lo que de alguna manera se retiran sulfatos de la columna de agua, bien por precipitación, utilización biológica o transformación a sulfuros.

Las mayores variaciones de oxígeno disuelto y temperatura se observan en la época de verano (GARCÍA DE BIKUÑA *et al.*, 1987), y ambas variables detectan el efecto de la regulación, especialmente a la salida del embalse de La Pinilla (estación número 3 de muestreo).

Estacionalmente, los mayores valores de nitratos (Fig. 4) se alcanzan en la época de otoño, coincidiendo con la descomposición de la materia vegetal que se formó en primavera y verano, y con los mayores aportes de materia orgánica alóctona al

río y de nitrógeno del suelo transportado por es-correntía, mientras que los valores más bajos se aprecian en verano. En cuanto a los nitritos y amonio los valores más elevados se alcanzan en primavera, especialmente en los tramos altos. Los valores más elevados de ortofosfatos solubles se observan en primavera y verano, cuando la emisión de aguas residuales de los núcleos urbanos es mayor como consecuencia del exponencial aumento de población en estos meses del año (PRAT *et al.*, 1984). También es en estos meses cuando el efecto de la retención de fosfatos por el embalse de La Pinilla es más marcado, siendo muy inferiores las concentraciones de fosfatos en agua, a la salida de la presa que a la entrada del embalse.

En cuanto a los sólidos en suspensión, podemos observar que es en las épocas de primavera y otoño cuando la columna de agua presenta los valores más elevados, excepto en los dos puntos ubicados aguas abajo de La Pinilla, por lo que en los momentos de crecida parte del material transportado quedaría retenido en esta presa.

Una forma de comprobar si las variaciones en la composición química del agua eran relevantes (tanto en los distintos puntos de muestreo como entre las cuatro épocas del año) es aplicar el estadístico de la «F» sobre un análisis de la varianza, en una tabla de doble entrada en la que se tiene en cuenta estas dos fuentes de variación (espacial

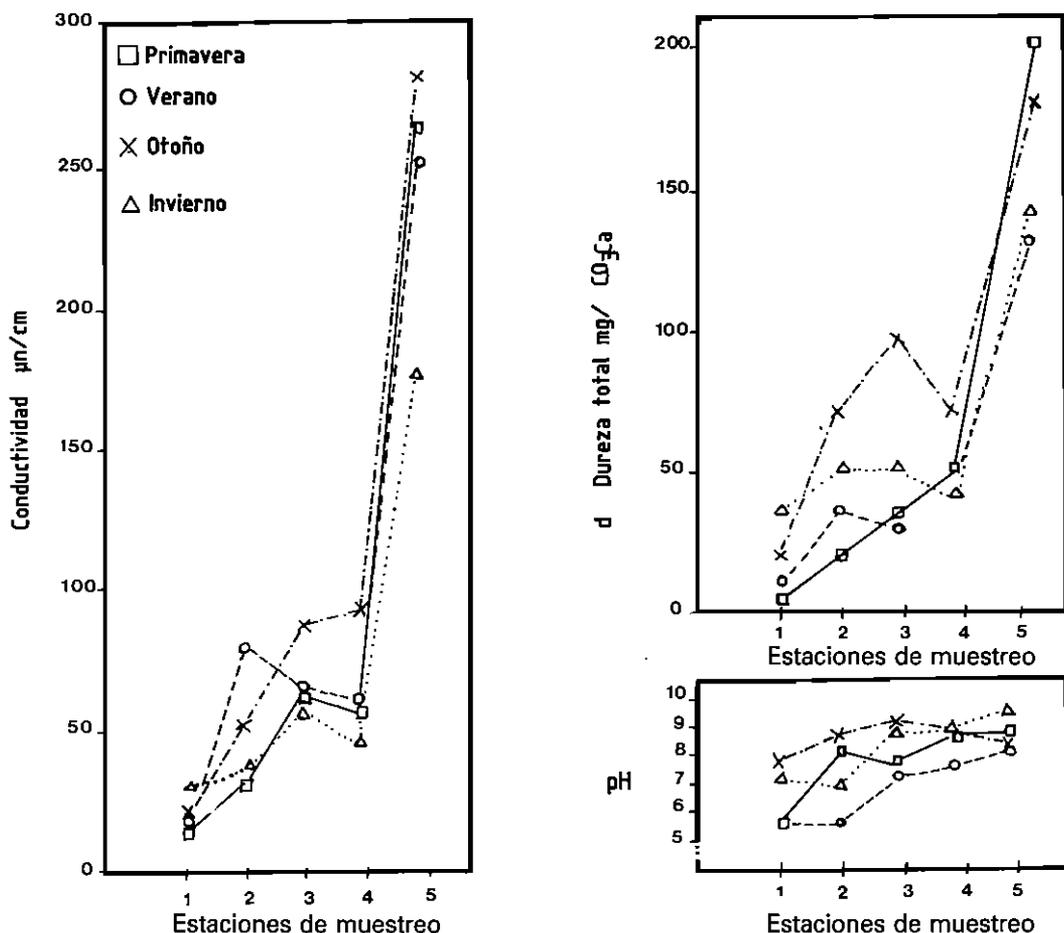


Fig. 2. Variación estacional de la conductividad, dureza total y pH de las aguas del río Lozoya.

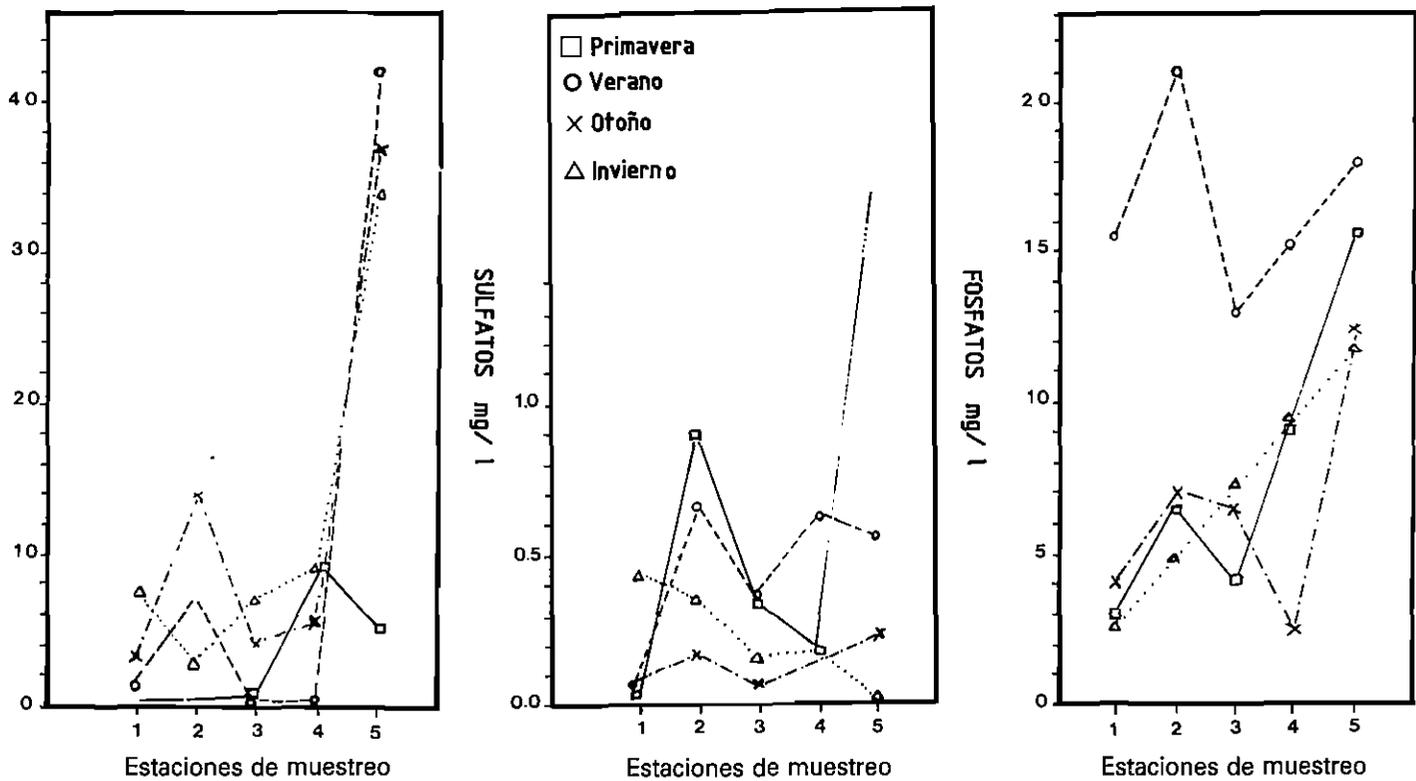


Fig. 3. Variación estacional de la temperatura, fosfatos y sulfatos disueltos en las aguas del río Lozoya.

y temporal). Estos valores quedan recogidos en la Tabla III.

Espacialmente resultaron ser significativos dos grupos de variables: en primer lugar, la conductividad, dureza total, pH, sulfatos y nitratos, cuyas variaciones parecen responder a la naturaleza geológica de la cuenca, siendo la litología quien gobernaría, en general, su comportamiento (DESCY & EMPAIN, 1984), y, en segundo lugar, la velocidad de la corriente, sólidos en suspensión y temperatura del agua, que parecen estar ligadas principalmente al efecto de la regulación, aunque también estén relacionadas con el gradiente longitudinal fluvial en cuanto a altitud y pendiente.

En cuanto a las fluctuaciones temporales, resultaron ser significativas para los parámetros: velocidad de la corriente, pH, sólidos en suspensión, temperatura del agua, sulfatos, nitratos, dureza total y oxígeno disuelto. Todas ellas están relacionadas con el efecto originado por las variaciones de caudal y clima a lo largo del año, como ponen de relieve numerosos autores en nuestra península (FERNÁNDEZ ALAEZ *et al.*, 1986, 1987; ZUAZUA *et al.*, 1986; GARCÍA DE BIKUÑA, *et al.*, 1987; entre otros).

Caracterización hidroquímica global mediante la aplicación de técnicas multivariantes de ordenación

En la Tabla IV se resumen los factores de carga rotados para los tres primeros ejes del análisis factorial realizado sobre la matriz de datos físico-químicos y el porcentaje de varianza absorbida por cada uno de ellos (se consideran nulos los factores de carga inferiores a $\pm 0,25\%$). Los cinco primeros ejes absorbieron un alto porcentaje del total de la varianza explicada (87,0%).

El análisis de las correlaciones (estadístico «r») entre los diferentes pares de variables (Fig. 5) revela la existencia, en primer lugar, de un conjunto de parámetros estrechamente asociados que responden a la mineralización de las aguas (conductividad, dureza total, pH, sulfatos y nitratos), y que presentan una variación espacial significativa. A continuación, un grupo constituido por otros dos parámetros que reflejan la contaminación orgánica

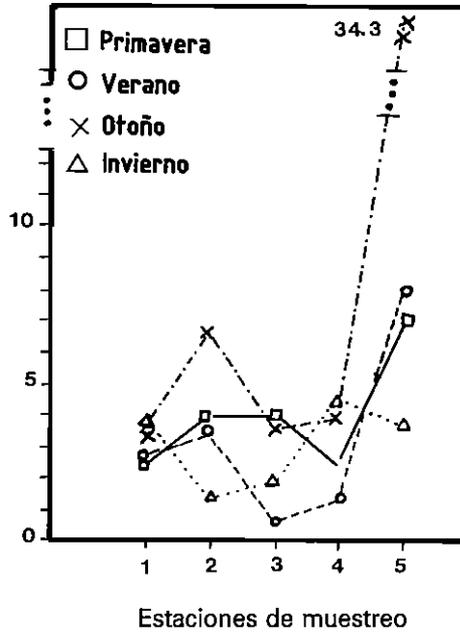
TABLA III
VALORES DE «F» EN EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

	T: agua	Conduc.	pH	OD	VC	DT	NO ₃	NO ₂	NH ₄	PO ₄	SO ₄	SS
Entre estaciones de muestreo	3,5854*	40,149***	9,1272***	1,3093	18,58***	16,875***	3,656*	0,424	0,004	1,006	4,617*	161,91***
Entre épocas del año ...	6,792**	1,441	7,6**	3,1129	29,83***	3,47*	3,043*	0,737	0,758	1,351	3,672*	6,604**

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

OD: oxígeno disuelto, VC: velocidad de la corriente, DT: dureza total, NO₃: nitratos, NO₂: nitritos, NH₄: amonio, PO₄: fosfatos, SO₄: sulfatos, SS: sólidos en suspensión.

Nitratos
mg/ l



Nitritos
mg/ l

Amonio
mg/ L

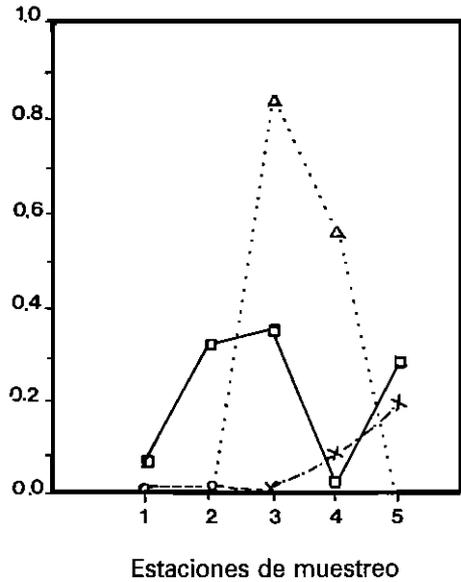
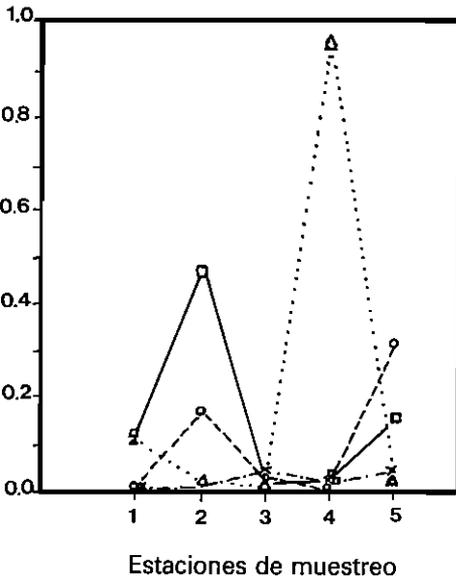


Fig. 4. Variación estacional de las formas nitrogenadas inorgánicas disueltas, en la columna de agua.

ca y el deterioro de la calidad del agua (nitrito y amonio) y, por último, tres variables periféricas asociadas a alguno de los parámetros del grupo central, como el oxígeno disuelto correlacionado positivamente con el pH, la temperatura que varía inversamente al anterior y está relacionada con la conductividad y la dureza, y los fosfatos inorgánicos correlacionados positivamente con los tres anteriores y que en las aguas corrientes es el principal responsable de la eutrofización.

El primer componente o eje del análisis factorial viene definido por las variables dureza total, conductividad, sulfatos, pH y nitratos y separa dos grandes grupos de aguas según el grado de mineralización (como puede verse en la Figura 6), oponiendo las estaciones del curso alto y medio, situadas principalmente sobre terrenos silíceo de la Sierra de Guadarrama (asociadas al extremo negativo del eje), con las del tramo inferior, localizadas en la denominada «Fosa del Tajo» (asociadas al extremo positivo) que se encuentran principalmente sobre un sustrato de calizas, margas y arenas. De esta forma, parece recoger un gradiente longitudinal de mineralización del río, que refleja la naturaleza de los terrenos drenados en relación con la cantidad de sales e iones que éstos van a aportar al agua (VESPINI *et al.*, 1987).

El segundo eje ordena las muestras en función de factores que tienen un claro componente estacional o temporal (como es la temperatura y el oxí-

geno disuelto) que reflejan, además, el efecto de la regulación, ya que los embalses juegan un papel clave en el régimen de temperatura del agua de los tramos fluviales inferiores, en los cuales están situados (PRAT *et al.*, 1984; PETTS, 1984).

Las observaciones asociadas a la parte positiva del eje corresponden a las muestras de verano (con valores más elevados de temperatura y fosfatos), mientras que las observaciones de invierno y otoño (relacionadas con un elevado contenido en oxígeno disuelto), tienden hacia los valores negativos. Las únicas excepciones las constituyen las estaciones del tramo medio regulado (números 3 y 4) que sufren ligeras distorsiones respecto a este gradiente. Así, en verano, estas dos estaciones sufren una desviación hacia la zona correspondiente a aguas más frías y mineralizadas, reflejando la influencia de la salida desde el embalse de La Pinilla, con un abundante volumen de aguas frías del hipolimnion profundo. Prácticamente ocurre lo mismo en las épocas de primavera y otoño, pero en invierno la situación se invierte siendo desplazadas hacia la zona inferior de este gradiente, a la que corresponden temperaturas más elevadas y menores concentraciones de oxígeno en disolución.

El tercer componente, caracterizado por el contenido en amonio y nitritos, recoge en cierta forma el grado de deterioro del agua, debido a los componentes orgánicos nitrogenados más reducidos, reflejando de alguna manera la eutrofización. En este sentido, nos discrimina principalmente las ob-

TABLA IV

FACTORES DE CARGA ROTADOS PARA LOS TRES PRIMEROS COMPONENTES DEL ANALISIS FACTORIAL EFECTUADO SOBRE LA MATRIZ DE DATOS FISICO-QUIMICOS. SE CONSIDERAN NULOS LOS VALORES INFERIORES A $\pm 0,25$

	Ejes		
	I	II	III
Dureza total (mg/l CO ₃ Ca)	0,934	0,000	0,000
Conductividad (µS)	0,861	0,400	0,000
Sulfatos (mg/l)	0,836	0,000	0,000
pH	0,778	-0,331	0,265
Nitratos (mg/l)	0,711	0,000	0,000
Temperatura del agua (°C)	0,265	0,784	0,000
Oxígeno disuelto (mg/l)	0,000	-0,647	0,000
Fosfatos (mg/l)	0,000	0,617	0,404
Nitritos (mg/l)	0,000	0,000	0,812
Amonio (mg/l)	0,000	0,000	0,809
Varianza total absorbida %	37,37	17,02	4,97

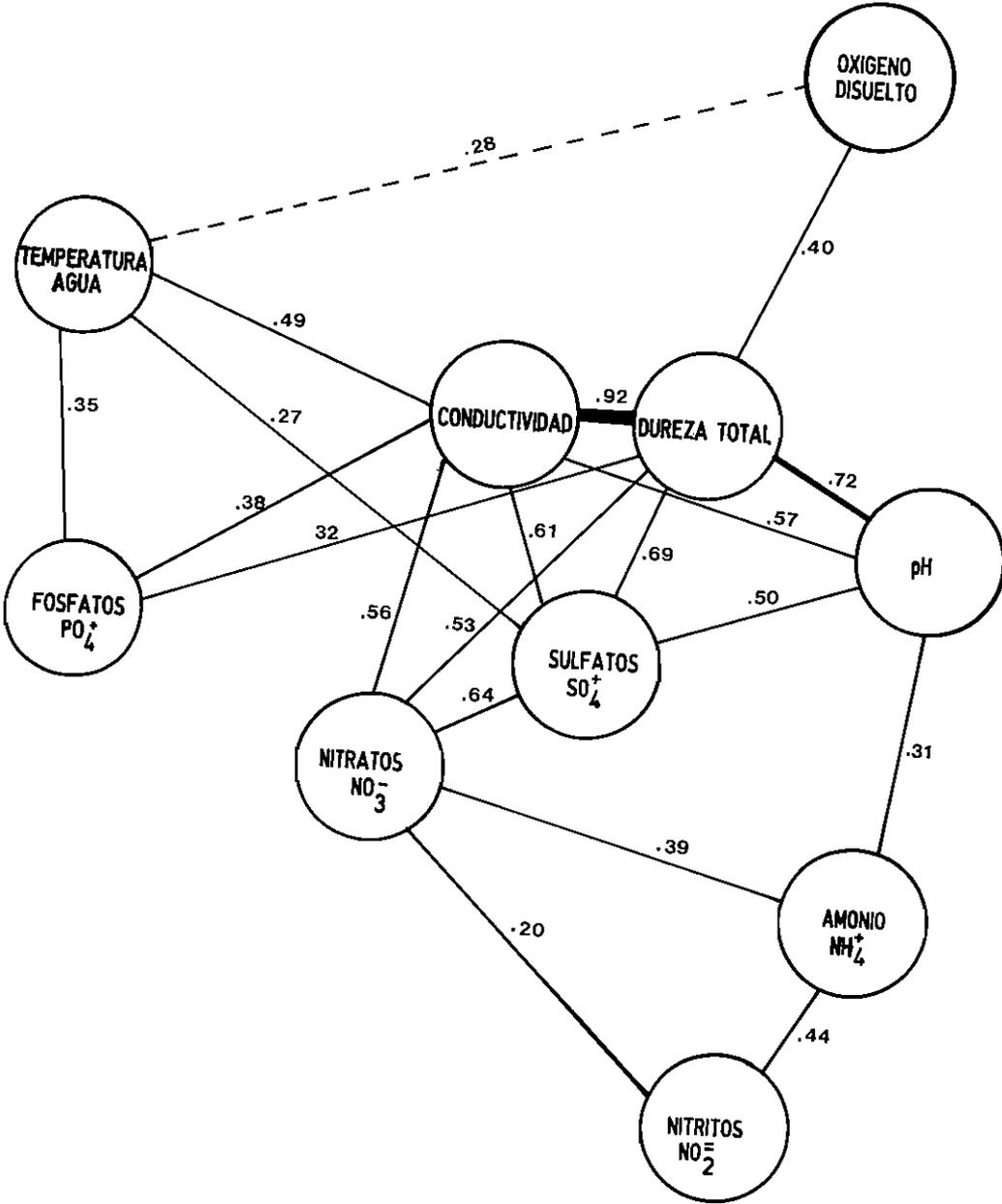


Fig. 5. Coeficientes de correlación entre las principales variables físico-químicas de la columna de agua.

servaciones de la estación número 3, aguas abajo del embalse de La Pinilla, influida por la salida del hipolimnion de este embalse, que presenta un elevado grado de eutrofia. Otra de las estaciones cuyo contenido en estas sustancias es muy elevado es la número 2, en la zona de Alameda del Valle. Este enriquecimiento se origina en primavera y puede ser debido principalmente a la ganadería, ya que las márgenes del río son vegas donde el ganado pasta libremente en esta época del año, mientras que en invierno y otoño está más estabulado en pequeñas granjas de explotación familiar.

Estos dos parámetros son los que presentan mayores coeficientes de variación (amonio=1,51, nitritos=1,44, fosfatos=1,13, sulfatos=0,73, nitratos=0,43, temperatura=0,26); sin embargo, sus valores de varianza no resultan ser significativos ni

espacial ni temporalmente, por lo que sus fluctuaciones pueden estar relacionadas con otro tipo de efectos no recogidos en el análisis de varianza, como, por ejemplo, el grado y diversificación de los usos de la cuenca (HIROSE & KURAMOTO, 1981).

CONCLUSIONES

En líneas generales, la composición química del agua del río Lozoya responde fundamentalmente a las litofacies drenadas, estando poco modificada por vertidos o contaminación.

El gradiente longitudinal continuo cabecera-de-sembocadura, a lo largo del cual va aumentando progresivamente la carga iónica y el nivel trófico de las aguas, únicamente se ve alterado por el gran número de embalses construidos en su cuenca. Las

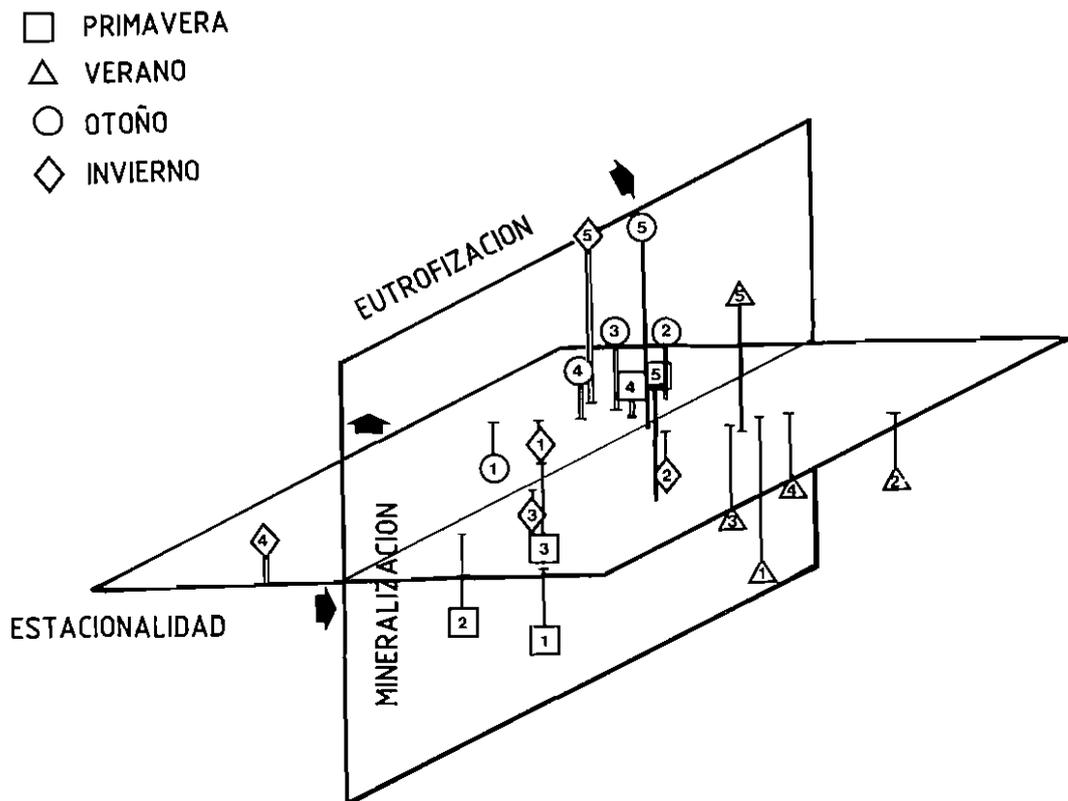


Fig. 6. Ordenación relativa de las muestras en el espacio definido por los tres primeros componentes, resultado de la aplicación del análisis factorial sobre la matriz de datos físico-químicos.

disrupciones o discontinuidades más marcadas se originan sobre los regímenes hidráulicos y térmicos, así como sobre el contenido en nutrientes, sulfatos y sólidos en suspensión.

En este sentido, el embalse de La Pinilla origina una homogeneización de los caudales naturales, disminuyendo la variación estacional e interanual (CASADO, 1986), reduce las fluctuaciones térmicas anuales, pudiendo actuar como un acumulador de calor. También funciona como una trampa de sulfatos y nutrientes en sus formas menos reducidas (nitrato, nitrito y ortofosfato), mientras que para la concentración de amonio en disolución y

sólidos en suspensión, funciona de forma opuesta, es decir, como un dissipador de estos elementos. Esto es debido al tipo de desagüe de fondo que presenta este embalse.

Por otro lado, la cadena de cuatro embalses consecutivos interconectados, situada en su tramo final, tras la cual apenas existen sueltas de agua, ni un caudal circulante continuo, actúa como una sucesión de grandes balsas de decantación, donde los materiales precipitan sin posibilidad de volver a recircular nuevamente, por lo que constituyen un sistema de decantación y autodepuración progresiva del agua.

SUMMARY

The waters of three fluvial stretches of Lozoya river was analyzed by means of basic physic variables, dissolved gases, major ions and nutrients. Four series of seasonal samples were taken during 1980-81 hydrological cycle. Multivariate analysis was applied to the data set in order to detect principal tendencies of variability.

The lithology is the key factor with govern chemical composition, originate significant spatial differences and determine a longitudinal gradient of mineralization increase, which is only disrupted by the presence of impounding water. This is the most important factor of perturbation of natural conditions, which control the thermic regime, trophic status, sulphate concentration and suspended solids, and modificate seasonal natural variation of water. The variously modified conditions below dams depend upon the situation of dam at the longitudinal gradient and the type of operating variables, which in turn determines the flow pattern and the reservoir depth from which water is released.

BIBLIOGRAFIA

- APHA, AWWA, WPCP, 1985: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, XIV ed., Washington, 1193 pp.
- AVILA, A., 1984: «Composición química de los arroyos del Montseny (Barcelona)». *Limnética*, 1: 128-135.
- AVILÉS, J., y GONZÁLEZ RAMOS, M. L., 1975: *Reconocimiento limnológico de la cuenca del Tajo*. Centro de Estudios Hidrográficos. MOP.
- CASADO, C., 1986: *Composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados de un río intensamente regulado del Sistema Central: Río Lozoya (Cuenca del Tajo)*. Tesis Doctoral. Dept. Ecología. Universidad Autónoma de Madrid.
- CASADO, C.; GARCÍA DE JALÓN, D.; MONTES, C.; BARCELÓ, E., & MENES, F., 1989: «The effect of an irrigation and hydroelectric reservoir on its downstream communities». *Reg. Riv. Res. Mang.*, 4: 275-284.
- CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS (Edt.), 1980: *Resumen del reconocimiento limnológico de embalses*. Dirección General Obras Hidráulicas. MOP.
- CUBILLO, F.; CASADO, C., y CASTILLO, V., 1990: *Caudales ecológicos. Estudio de regímenes de caudales mínimos en los cauces de la Comunidad de Madrid*. Cuadernos Madrileños de Medio Ambiente. AMACM.

- CHRISTOPHERSEN, N., & SEIJO, H. M., 1982: «A model for stream water chemistry at Birkenes. Norway». *Water Resources Research*, 18: 977-996.
- DICKSON, W. J., & BROWN, N. B., 1986: *Biochemical Computer Programs*. Pseries. University of California Press. Berkeley.
- FERNÁNDEZ ALAEZ, M. C.; CALABUIG, E. L., y FERNÁNDEZ ALAEZ, M., 1986: «Análisis de correlaciones canónicas aplicado al estudio de la relación entre la composición físico-química del agua y el suelo aluvial en el río Bernesga (León)». *Limnética*, 2: 85-93.
- FERNÁNDEZ ALAEZ, M.; IBÁÑEZ, I. G., e IBÁÑEZ ALAEZ, M. C., 1987: «Estudio físico-químico de los ríos de la cuenca del Bernesga (León)». In: *Actas del IV Congreso Español de Limnología*: 179-190. Sevilla, 1987.
- FERNÁNDEZ ALAEZ, M. C.; FERNÁNDEZ ALAEZ, M., & CALABUIG, L., 1988: «Variations in time and space of some physical and chemical variables in the Bernesga river (León, Spain)». *Annl. Limnol.*, 24 (3): 285-291.
- GARCÍA DE BIKUÑA, B.; BASAGUREN, A.; CACHO, M., y ORIVE, E., 1987: «Características físico-químicas de las aguas superficiales de los principales ríos de Bizkaia». In: *Actas del IV Congreso Español de Limnología*: 165-177. Sevilla, 1987.
- HIROSE, T., & KURAMOTO, N., 1981: *Variability of stream water quality in some land management systems in the southern Karioba basin, Japan*. Elsevier Scient. Publish. Comp.
- LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H.; PIERCE, R. S.; EATON, J. S., & JOHNSON, N. M., 1977: *Biochemistry of a forested watershed*. Springer-Verlag. New York.
- MARGALEF, R., 1984: *Limnología*. Omega.
- MARGALEF, R.; PLANAS, D.; VIDAL, A.; ARMENGOL, J.; PRAT, N.; TOJA, J.; GUISET, A., y ESTRADA, M., 1976: *Limnología de los embalses españoles*. Dirección General Obras Públicas. MOP. Madrid.
- ORTIZ, J. L., 1983: *Aportación de nutrientes y eutrofización de embalses*. Centro de Estudios Hidrográficos. MOP. Madrid.
- PETTS, G. E., 1984: *Impounded rivers. Perspectives for Ecological Management* (Polunin N., Edt.). Environmental Monographs and Symposia.
- PRAT, N.; PUIG, M. A.; GONZÁLEZ, G.; TORT, M. R., & ESTRADA, M., 1984: «Llobregat». En: *Ecology of European rivers*. Whitton B. A. (Edt.). Blackw. Scientif. Publ.
- TOJA, J., 1984: *Limnología de los embalses para el abastecimiento de aguas a Sevilla*. MOP.
- VERSTRATEN, J. M., 1977: «Chemical erosion in a forested watershed in the Oesting Luxemburg». *Earth Surface Processes*, 2: 175-184.
- VESPINI, F.; LEGIER, P., et CHAMPEAU, A.: «Ecologie d'une riviere non aménagée des Alpes du Sud: Le Buëch (France). I. Evolution longitudinales des descripteurs physiques et chimiques». *Annl. Limnol.*, 23 (2): 151-164.
- VIDAL-ABARCA, M. R., 1985: *Las aguas superficiales de la cuenca del río Segura (SE de España)*. Caracterización físico-química en relación al medio físico y humano. Tesis Doctoral. Univ. de Murcia.
- VITOUSEK, P. M., 1977: «The regulation of element concentrations in mountain streams in the northeastern United States». *Ecological Monographs*, 47: 65-87.
- WARD, J. V., 1982: «Ecological aspects of stream regulation: responses in downstream lotec reaches». *Water Pollution and Management reviews*, 2: 1-26.
- WARD, J. V., & STANFORD, J. A., 1982: «Effects of reduced and perturbed flow below dams on fish food organisms in Rocky mountain trout streams». En: *Allocation of Fishery Resources*. J. H. Grover (Ed.). FAO. Roma.
- ZUAZUA, T.; NAVASCUÉS, I., y ALONSO, E.: 1986: «Aplicaciones de técnicas multivariantes a datos físico-químicos del agua en un ciclo estacional. Cabecera del río Esla. León». *Limnética*, 2: 95-101.