

## Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. Características físico-químicas.

Manuel Toro<sup>1</sup>, Santiago Robles<sup>1</sup>, Juan Avilés<sup>1</sup>, Carlos Nuño<sup>1</sup>, Soledad Vivas<sup>2</sup>, Núria Bonada<sup>3</sup>, Narcís Prat<sup>3</sup>, Javier Alba-Tercedor<sup>4</sup>, Jesús Casas<sup>2</sup>, Cristina Guerrero<sup>5</sup>, Pablo Jáimez-Cuéllar<sup>4</sup>, José Luis Moreno<sup>5</sup>, Gabriel Moyá<sup>6</sup>, Guillem Ramon<sup>6</sup>, M<sup>a</sup> Luisa Suárez<sup>5</sup>, M<sup>a</sup> Rosario Vidal-Abarca<sup>5</sup>, Maruxa Álvarez<sup>7</sup> e Isabel Pardo<sup>7</sup>

<sup>1</sup>CEDEX. División de Ecología de los Sistemas Acuáticos Continentales. Paseo Bajo Virgen del Puerto, 3. 28005 Madrid.

<sup>2</sup>Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Universidad de Almería. Cañada de San Urbano, s/n. 04120 Almería.

<sup>3</sup>Departament d'Ecologia. Universitat de Barcelona. Diagonal, 645. 08028 Barcelona.

<sup>4</sup>Departamento de Biología Animal y Ecología. Universidad de Granada. Campus Universitario de Fuentenueva. 18071 Granada.

<sup>5</sup>Departamento de Ecología e Hidrología. Universidad de Murcia. Campus de Espinardo. 30100 Murcia.

<sup>6</sup>Departament de Biologia. Universitat de les Illes Balears. Crta. Valldemosa, km. 7.5. 07071 Palma de Mallorca.

<sup>7</sup>Área de Ecología. Universidad de Vigo. Campus Lagoas-Marcosende. 36200 Vigo.

### RESUMEN

Dentro de los objetivos principales del proyecto GUADALMED, se encuentra la caracterización hidroquímica de los ríos mediterráneos incluidos en el estudio. Las 157 estaciones de muestreo del proyecto están distribuidas en cuencas con superficies y características ambientales muy diversas. Ciertos factores como la geología, la vegetación de la cuenca, la temporalidad o el régimen natural de caudales, van a ser determinantes, como factores naturales, de la composición química de las aguas, condicionando la distribución de la biota o las características de la vegetación de ribera. Otros factores no naturales, como la contaminación directa o difusa, o la regulación de los caudales por los embalses, son decisivos para la clasificación de los tramos fluviales donde se localizan las estaciones de muestreo como naturales o muy modificados en base a la calidad de sus aguas.

En este trabajo se estudian los parámetros físico-químicos que caracterizan a los ríos estudiados, sus rangos de variación y las variables que más influyen en la calidad de sus aguas.

Palabras clave: físico-química, calidad del agua, río mediterráneo, Península Ibérica.

### ABSTRACT

*One of the objectives of the GUADALMED project was the physico-chemical characterization of Mediterranean rivers. The 157 sampling sites included in the project were located in watersheds of different geographical areas and environmental conditions. Natural factors such as geology, vegetation in the catchment, temporality or flow regime, strongly determine water chemistry, affecting the distribution of biota or riparian vegetation characteristics. Point and diffuse pollution, and flow regulation with reservoirs, may play an important role during the classification of river stretches as sampling sites which are considered natural or very modified by human activity, on the basis of their water quality.*

*Physico-chemical variables and their ranges of fluctuation, plus variables potentially influencing water quality were also examined.*

*Keywords: physical-chemical characteristics, Mediterranean rivers, water quality, Iberian Peninsula.*

### INTRODUCCIÓN

Las características hidroquímicas de los cursos fluviales vienen determinadas, en general, por las variables ambientales de la cuenca: climato-

logía, geología, vegetación y actividades humanas. De todas ellas, son el clima y la geología las características ambientales naturales que quizás más influyan en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas fluviales. La compo-

sición química del agua de un río va a venir determinada por varios factores concretos: la composición y la cantidad de precipitación caída en la cuenca, la geología de la cuenca y la solubilidad de las rocas o materiales, los suelos, la vegetación terrestre, los procesos de evaporación, los procesos biológicos y, finalmente, la contaminación o vertidos de origen humano. La importancia de cada uno de estos factores frente al resto y la magnitud con que van a afectar a las características finales del medio acuático, son las que van a determinar el tipo de ecosistema frente al que nos hallemos.

Las zonas de clima mediterráneo y sus características ambientales han sido descritas y delimitadas con precisión a escala mundial por numerosos autores (Köppen & Geiger, 1936; Trewartha, 1961; Lulla, 1987; Strahler & Strahler, 1989). Su peculiaridad desde el punto de vista de la convergencia de las comunidades biológicas que en ellas se desarrollan, también ha sido puesta de manifiesto en diversos trabajos; sin embargo, entre estos estudios son escasos los referentes a los sistemas acuáticos fluviales (Gasith & Resh, 1999), que ofrezcan una visión global y sintetizadora de la estructura, funcionamiento y dinámica común a todos ellos en las diferentes zonas del globo. En este sentido, la caracterización hidroquímica de estos ambientes tan fluctuantes y su relación con los factores ambientales que la determinan, como base para un mejor entendimiento de las comunidades y procesos biológicos existentes, ha de ser prioritaria en los estudios de ecología fluvial a desarrollar.

En la Península Ibérica, son varias las cuencas fluviales que vierten al mar Mediterráneo, con superficies y características ambientales muy diversas y tan dispares como puedan ser la del Ebro frente a la del Segura. El describir unas características hidroquímicas que permitan singularizar las cuencas ibéricas de ambientes típicamente mediterráneos, así como valorar la calidad físico-química de sus aguas, es uno de los objetivos del proyecto GUADALMED. Dentro de estas cuencas de tipo mediterráneo en la Península Ibérica, encontramos un gradiente climático-hidrológico claramente evidente que

determina, en función del régimen hídrico, varios grupos de sistemas fluviales (Robles *et al.*, este volumen). Cabe esperar *a priori* unas características hidroquímicas diferentes para cada uno de estos tipos de sistemas fluviales mediterráneos. La singularidad de los sistemas enmarcados en ambientes áridos o semiáridos, con unas características ecológicas fluctuantes en función de los sucesos de sequías y avenidas, ha sido puesta de manifiesto por diversos autores en algunas cuencas del sur y sureste español (Ortega *et al.*, 1988; Moreno *et al.*, 1995; Maltchik *et al.*, 1998), diferenciándose varias fases hidrológicas de características hidroquímicas muy marcadas (Mollá, 1994; Vidal-Abarca *et al.*, 2000).

Uno de los enfoques de este trabajo, responde a los requerimientos implícitos en la Directiva Marco del Agua (DMA) (D.O.C.E., 2000). En su Anexo II, punto 1.3, sobre el establecimiento de las condiciones de referencia específicas para cada tipo ecológico, dentro de los tipos de masas de agua superficiales dicta la obligatoriedad de establecer, entre otros, las condiciones hidromorfológicas y físico-químicas específicas del tipo en un muy buen estado ecológico según lo establecido en el Anexo V. Es decir, una situación con un régimen hidromorfológico y físico-químico que soporte un funcionamiento del ecosistema saludable y con una biodiversidad natural. En los indicadores de calidad para la clasificación del estado ecológico de los ríos (Anexo V, 1.1.1. de la DMA) se establecen, entre otros, los hidromorfológicos (incluyen el caudal) y los físico-químicos (temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, acidificación, nutrientes). Los requerimientos de cada indicador para cumplir los requisitos de una masa de agua en un muy buen estado ecológico están claramente definidos en el anexo V de la DMA (D.O.C.E., 2000).

Con este enfoque, el objetivo principal de este trabajo se enmarca dentro del proyecto GUADALMED (*El estado ecológico de los ríos mediterráneos*), y comprende el estudio de las variaciones espaciales y temporales de las variables hidrológicas y físico-químicas en los ríos mediterráneos ibéricos así como su relación con las variables ambientales de las cuencas fluvia-

les, precisando cuales de ellas determinan la dinámica y la singularidad de todas las cuencas estudiadas, juntas y por separado. Para poder definir las características naturales de estas variaciones espacio-temporales, el estudio se ha centrado con mayor énfasis en los ríos y/o estaciones de referencia, que presentan unas condiciones ambientales prístinas o muy poco alteradas por la actividad humana (Bonada *et al.*, este volumen). A partir de los resultados obtenidos, se propone una tipología básica para los ríos de las cuencas mediterráneas ibéricas basada en las características hidroquímicas estudiadas.

## ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto GUADALMED abarca 12 cuencas fluviales ibéricas de la vertiente mediterránea, seleccionándose para el estudio 65 cursos fluviales de diversos órdenes, en los que se han establecido 157 estaciones de muestreo (Robles *et al.*, este volumen). La variabilidad climática, altitudinal y geológica en las cuencas estudiadas presenta extremos climáticos o altitudinales tan dispares como las cuencas áridas del sureste almeriense o murciano frente a las montañosas y húmedas de las cabeceras del Júcar en los Montes Universales o del Llobregat en los Pirineos. También la geología varía notablemente incluso dentro de una misma cuenca. La precipitación es uno de los factores más peculiares del área de estudio, ya que de ella depende en gran medida el carácter permanente o temporal de los cursos de agua. La irregularidad de este fenómeno atmosférico es más patente en las zonas más áridas de las cuencas del sur. En las cuencas de ríos permanentes y de mayor caudal (Júcar, Turia, Llobregat), las condiciones naturales del medio acuático se ven fuertemente alteradas por la presencia de embalses, algunos de gran tamaño (Embalses de Contreras y Tous), y por las detracciones de caudal para riego o abastecimientos (ríos Segura y Júcar). En Robles *et al.* (este volumen), se describen con más detalles las condiciones ambientales y principales impactos de las cuencas estudiadas.

## METODOLOGÍA

La selección de los ríos y estaciones de muestreo, se llevó a cabo para cada cuenca por los diferentes grupos de trabajo en función de varios criterios de representatividad, accesibilidad y grado de conservación. Las estaciones de referencia, un mínimo de 5 por cuenca, se seleccionaron según los criterios descritos en Bonada *et al.* (este volumen). Los muestreos se realizaron estacionalmente durante dos años, desde la primavera de 1999 hasta el otoño de 2000, con un total de 7 campañas. En cada punto de muestreo se obtuvieron datos de las variables hidroquímicas recogidas en la Tabla 1, donde se detallan las metodologías empleadas por los diferentes grupos participantes. El caudal y el régimen hidrológico se estudian en Robles *et al.* (este volumen) donde se realiza un análisis y descripción detallada de los aspectos hidrológicos de los ríos estudiados. Con la información obtenida se llevaron a cabo diversos análisis estadísticos, después de realizar la normalización de los datos y la eliminación de aquellos muestreos de estaciones donde se produjo la falta de algún dato o parámetro medido.

## RESULTADOS

### Régimen térmico

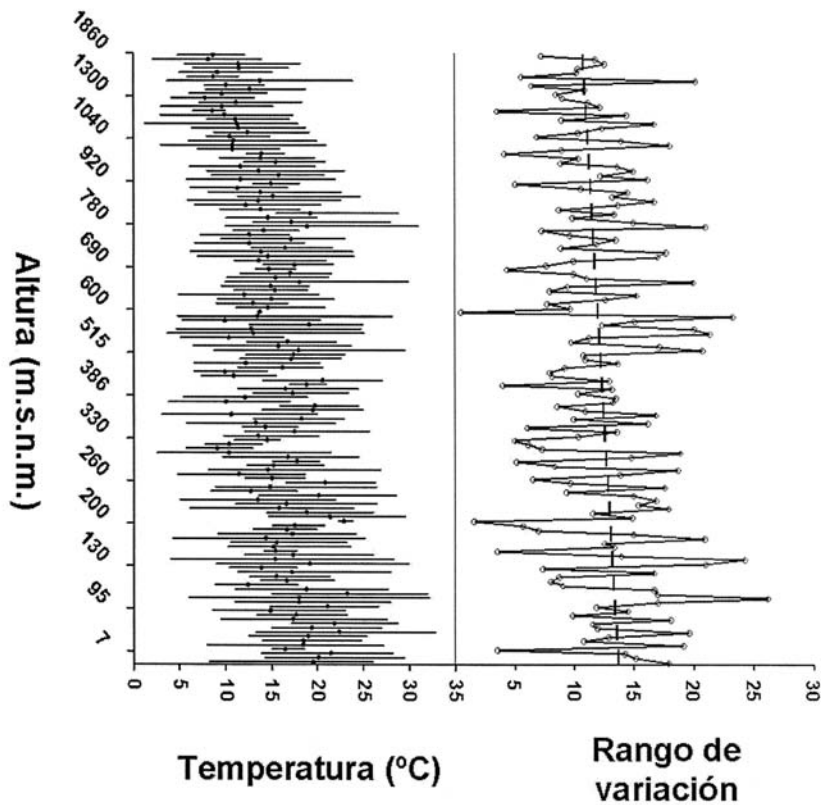
Los sistemas fluviales muestran generalmente, frente a otros sistemas acuáticos como los lagos, notables fluctuaciones diarias en la temperatura del agua debido a su menor profundidad e inercia térmica (Margalef, 1983). Cabe esperar también una relación inversa entre la temperatura media y la altitud del tramo considerado. La zona de estudio del proyecto GUADALMED abarca un amplio rango de altitudes en sus estaciones de muestreo, desde el nivel del mar hasta 1860 m en la vertiente sur de Sierra Nevada. El contraste térmico entre la estación estival y el invierno también se ve reflejado en el rango de las fluctuaciones anuales de la temperatura del agua. La figura 1 muestra la temperatura media de las estaciones de muestreo y su rango de

**Tabla 1.** Variables hidroquímicas estudiadas y metodologías de análisis. *Studied hydrochemical variables and analytical methodologies.*

Parámetro	Unidad	Métodos utilizados	Límite detección / rango
pH		Electroquímico: WTW pH 330, Hanna pHmetro Portatil HI 8314, NEURTEK pH, Crison	
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm } 25^\circ$	Célula conductimétrica: WTW LF 340, Hanna Conductímetro Portatil HI 8733, YSI-33	
Oxígeno disuelto	mg/l de oxígeno disuelto	Electroquímico WTW Oxi 320 / 340 Winkler, 1988	> 0.1 mg/l
Temperatura	$^\circ\text{C}$	Sonda electrométrica: WTW, Hanna, mercurio.	
Sólidos suspensión	mg/l	Filtración fibra de vidrio GF/C. APHA, 1992 Gravimétrico. AFNOR T90-105.	
Sulfatos	mg/l $\text{SO}_4^{=}$	Turbidimétrico. APHA, 1992 Fotometría LASA Aqua de cubetas test Cromatografía iónica. Stand. Methd. 19th ed. 4110 C.	> 1 mg/l 40 – 150 mg/l
Cloruros	mg/l $\text{Cl}^-$	Argentométrico. APHA, 1992 Fotometría LASA Aqua de cubetas test Cromatografía iónica. Stand. Methd. 19th ed. 4110 C.	> 1 mg/l 1 – 70 mg/l
Amonio	mg/l $\text{NH}_4^+$	Fotometría “sensor array” LASA 20 de cubetas test Espectrofotométrico: Método del azul de Indofenol Electrométrico, electrodo selectivo. Stand. Methd. 19th. ed. 4500-NH3 F.	0.02 – 2.50 mg/l > 2 $\mu\text{g}/\text{l}$
Nitritos	mg/l $\text{NO}_2\text{-N}$	Fotometría “sensor array” LASA 20 de cubetas test Espectrofotométrico: Método de la Sulfanilamida (Método de Shinn) Reducción de Cadmio. APHA, 1992.	0.015 – 0.6 mg/l / 0.05-2.0 mg/l > 0.5 $\mu\text{g}/\text{l}$ 0.01 – 1 mg /l
Nitratos	mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$	Fotometría “sensor array” LASA 20 de cubetas test Espectrofotométrico: Método del Salicilato sódico Reducción de Cadmio. APHA, 1992. Cromatografía iónica. Stand. Methd. 19th ed. 4110 C.	0.23 – 13.50 mg/l / 1 – 60 mg/l > 30 $\mu\text{g}/\text{l}$ 0.01 – 1 mg/l
Fosfatos	mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$	Automatizado de reducción del Ac. Ascórbico. APHA, 1992. Espectrofotométrico: Método del azul de Molibdeno. Fotometría LASA Aqua de cubetas test. Colorimetría, reducción del Ac. Ascórbico APHA, 1992 Cromatografía iónica. Stand. Methd. 19th ed. 4110 C.	> 0.01 mg/l > 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ 0.15 – 4.5 mg/l > 3 $\mu\text{g}/\text{l}$
Alcalinidad	meq/l	Titulación colorimétrica. APHA, 1992	> 0.1 meq/l
Caudal	l/seg	Medidor de velocidad de flujo SIGMA PVM 3872 Medidor de velocidad de flujo GLOBAL WATER® Medido de velocidad MiniAir. Molinete electromagnético M 201D	> 0.01 m/seg > 0.03 m/seg

variación, definido como la diferencia entre el valor máximo y mínimo encontrados en los muestreos, durante el período de estudio frente a la altitud de las mismas. Se observa un aumen-

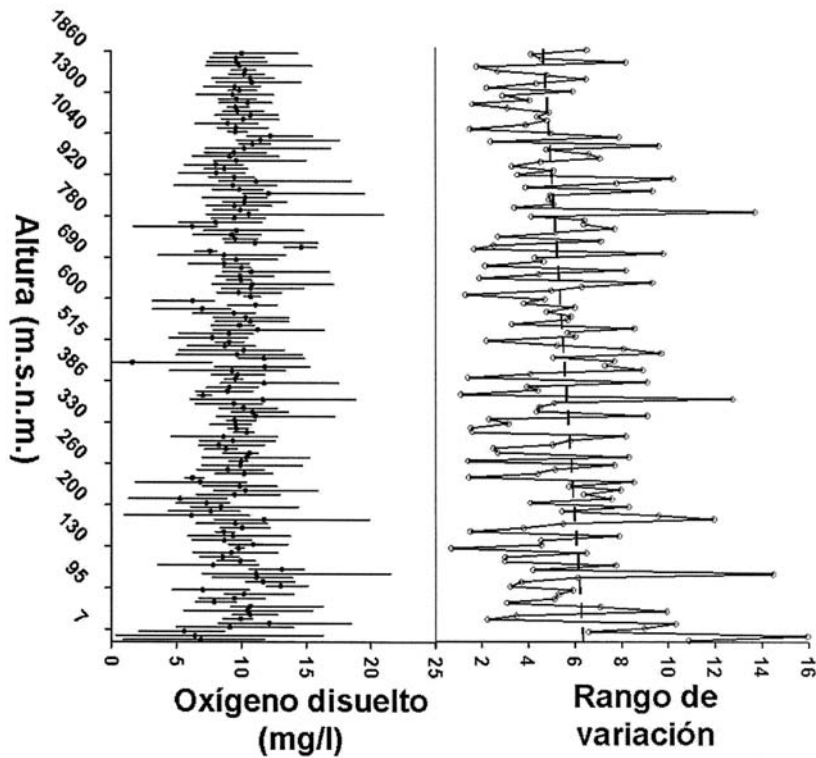
to de la temperatura media a medida que se desciende en altitud, con valores en torno a los  $10^\circ\text{C}$  en las estaciones de mayor altitud, frente a los  $20^\circ\text{C}$  de temperatura media en las estacio-



**Figura 1.** Temperaturas medias ( $^{\circ}\text{C}$ ) y rangos de variación en las estaciones estudiadas. *Mean temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and their ranges of variation in sampling sites.*

nes situadas cerca del nivel del mar. El rango de variación de la temperatura a lo largo del año refleja una tendencia general ligeramente relacionada con la altitud, aumentando el rango sensiblemente según descendemos en altitud, aunque la variabilidad es muy elevada en todas las altitudes, con estaciones que apenas varían su temperatura durante todo el año y otras que alcanzan rangos de variación superiores a  $20^{\circ}\text{C}$  a lo largo del año y en altitudes tanto muy bajas como elevadas. El bajo caudal y profundidad de algunas estaciones durante los meses de mayor insolación (especialmente en las cuencas del Sur), puede suponer un aumento de las temperaturas del agua por encima de los  $30^{\circ}\text{C}$ . La presencia de grandes embalses en los cursos fluviales es uno de los factores de mayor impacto en

el régimen natural de temperaturas en los ríos de climas templados (Allan, 1995). Estos embalses de gran profundidad ( $> 50\text{ m}$ ), con una marcada estratificación estival, presentan un hipolimnion con aguas mucho más frías que las circulantes por el curso fluvial, pudiendo afectar notablemente al régimen térmico del río en el caso de desembalsar por los desagües de fondo. Durante los muestreos realizados no se ha detectado este problema, al menos en algunos de los grandes embalses de cuencas como el Júcar: en los veranos de 1999 y 2000, las diferencias de temperatura entre la superficie de los embalses de Tous y Alarcón, y el río Júcar aguas abajo de los mismos era inferior a  $2^{\circ}\text{C}$ , siendo esta diferencia superior a  $10^{\circ}\text{C}$  entre el hipolimnion y el agua del río. No se ha detectado por



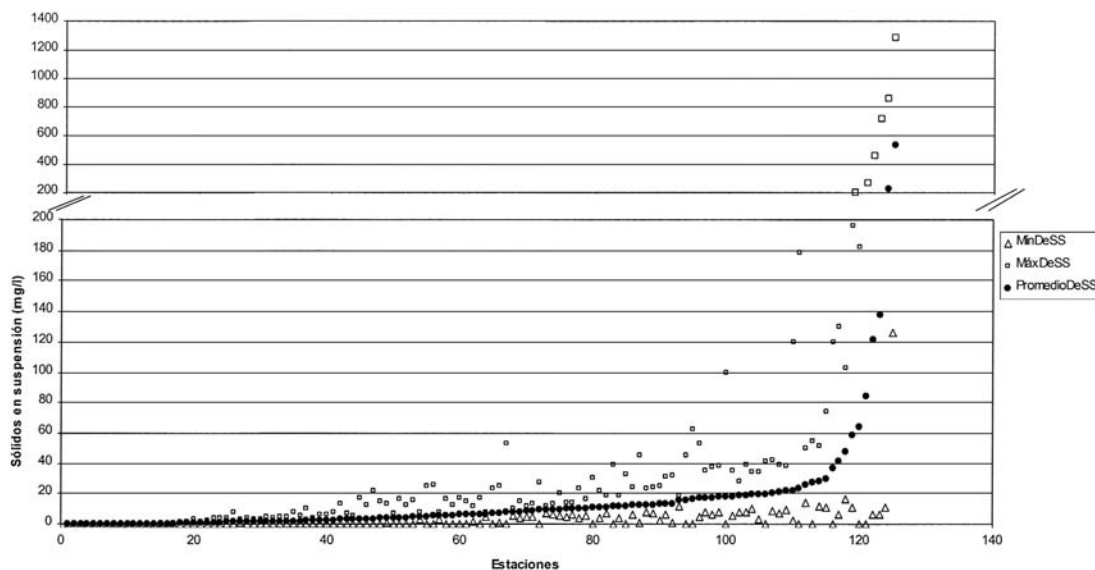
**Figura 2.** Rango de variación de los valores de oxígeno disuelto (mg/l) en las estaciones de muestreo y su relación con la altitud. *Ranges of variation in dissolved oxygen (mg/l) in sampling sites and relationship with altitude above sea level.*

tanto, durante las campañas de muestreo, un impacto negativo importante en la temperatura de las aguas de los ríos de los que se disponía de la información relativa a los embalses situados aguas arriba.

### Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto en el agua de los ríos va a depender principalmente de la altitud, la temperatura y los procesos de producción primaria y descomposición de la materia orgánica. En general, la menor presión de oxígeno existente a grandes altitudes se compensa con temperaturas medias más bajas y viceversa, por lo que estos factores no son adecuados para diferenciar grupos o tipos de estaciones en función de la concentración de oxígeno disuelto. La figura 2 refleja claramente una constancia en los valores medios de oxígeno disuelto (en torno

a 10 mg/l  $O_2$ ) en todo el rango de altitudes de las estaciones. Sin embargo, los rangos de variación de este parámetro sí muestran una ligera tendencia al aumento según disminuye la altitud de las estaciones. Como ya ha sido descrito por otros autores (Margalef, 1983), las mayores fluctuaciones (hasta 16 unidades de mg/l  $O_2$ ) se producen en tramos sometidos a una mayor contaminación y con una densidad importante de vegetación acuática, condiciones que generalmente se dan en los tramos medios y bajos de los ríos estudiados. Un ejemplo claro de ello es la estación Júcar-9, próxima a su desembocadura y con un elevado grado de contaminación, donde se han medido valores de  $O_2$  disuelto mínimos de 0.32 mg/l y máximos cercanos a 20 mg/l. No obstante, algunas estaciones situadas en tramos medios o altos de cuencas muy mineralizadas (de naturaleza calcárea), con una notable densidad de vegetación acuática y



**Figura 3.** Distribución de las estaciones de muestreo según los valores medios, máximos y mínimos de sólidos en suspensión (mg/l). *Distribution of sampling sites according to mean, maximum and minimum concentration of suspended solids (mg/l).*

ausencia de contaminación orgánica, presentan también rangos de variación elevados ( $> 10$  unidades). Los niveles de saturación de oxígeno, exceptuando las estaciones con problemas de contaminación o aquellas de cursos intermitentes o fuerte temporalidad, se mantienen en valores altos cercanos a la saturación (el 70 % de las estaciones presenta valores  $\geq 90$  % de oxígeno disuelto durante todo el año) en la mayoría de los ríos estudiados.

### Sólidos en suspensión

La concentración de sólidos en suspensión a lo largo del curso fluvial de una cuenca puede evidenciar varios factores de alteración de las condiciones naturales de la misma. Por un lado, los procesos de erosión naturales se ven incrementados notablemente por diferentes causas de origen humano que provocan la falta de protección de los suelos, lo que ocasiona grandes arrastres de materiales por escorrentía superficial en los fenómenos de fuertes precipitaciones. Por otro lado, la regulación de los cursos fluviales por la construcción de embalses, impide el transporte

natural de los materiales en suspensión desde la cabecera a las desembocaduras, quedando retenidos estos materiales en las cubetas de los embalses y afectando no sólo a la dinámica del propio ecosistema fluvial, sino también a los ecosistemas litorales y estuarios cuya existencia depende de los materiales aportados por las cuencas fluviales.

Las concentraciones de sólidos en suspensión, en la mayor parte de las estaciones de muestreo, varía desde valores cercanos a 0 mg/l hasta 80 mg/l (Fig. 3). Un pequeño número de estaciones ha superado en alguna ocasión los 100 mg/l, llegando incluso a los 1000 mg/l.

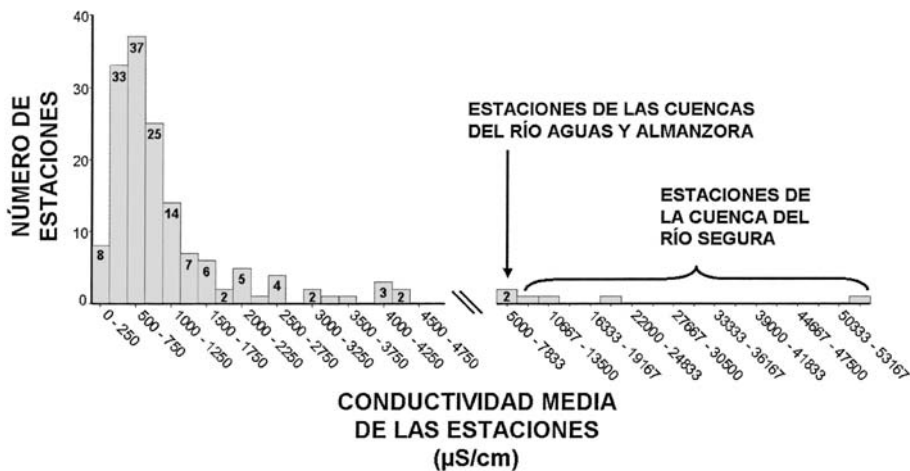
Posteriormente a las grandes avenidas o fuertes lluvias torrenciales en las cuencas, se produce un notable incremento en la concentración de sólidos en suspensión. Esta correlación elevada entre caudal y sólidos en suspensión (Sabater *et al.*, 1993), ha sido estudiada con detalle en una rambla del SE peninsular (Ortega *et al.*, 1988) durante 10 días posteriores a una fuerte riada, como consecuencia de los procesos de erosión del substrato superficial en la cuenca por la fuerte escorrentía generada. En la zona de estu-

dio del proyecto GUADALMED, han podido registrarse localmente los efectos de fuertes precipitaciones en la concentración de sólidos en suspensión pocas horas después del fenómeno atmosférico, en algunas estaciones de las cuencas del Pollença, Soller, Turia y Júcar. En algunas de estas estaciones de muestreo se alcanzaron valores superiores a 1000 mg/l en unas pocas horas después de las fuertes lluvias.

**Mineralización de las aguas**

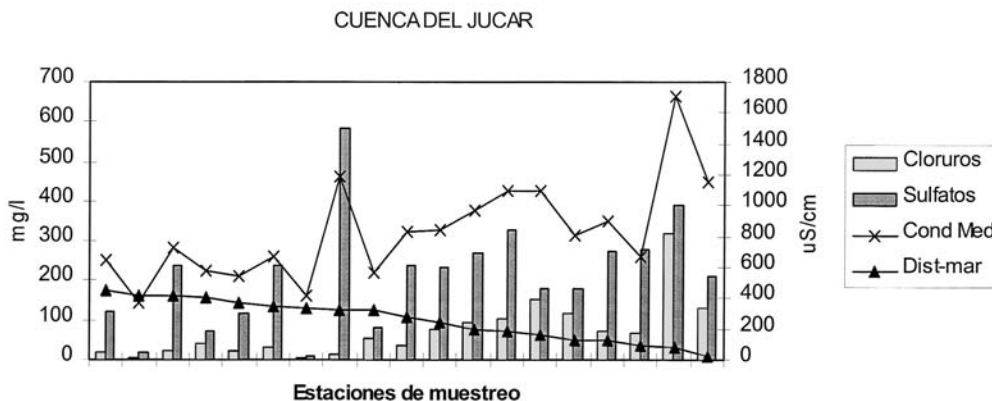
El grado de mineralización de las aguas en las cuencas mediterráneas está muy relacionado con la geología y los suelos de las cuencas. En general, aunque la superficie de cuenca drenada, o en su caso, la distancia al origen del río, provoca una mayor concentración de sales disueltas en las aguas y una estabilización de la composición química de las aguas (Margalef, 1983), la discontinuidad hídrica espacial en algunos ríos de ambientes áridos o semiáridos puede dificultar esa estabilidad química progresiva (Vidal-Abarca, 1990; Mollá, 1994). Aunque otros factores como la vegetación de la cuenca, los usos del terreno y los vertidos contaminantes influyen en los valores de conductividad de las aguas. La presencia de materiales muy solubles en algunas cuencas incrementan el grado de mineralización de las

aguas notablemente. Un caso claro de ello son las estaciones de la cuenca del Segura donde en 5 de sus estaciones las aguas muestran conductividades entre  $10^3$  y  $10^4$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ , de forma natural. El 66% de las estaciones de esta cuenca son de referencia, con un grado de alteración mínimo, y sin embargo en esta cuenca se localizan las estaciones con mayores valores de conductividad, en ramblas de carácter hipersalino, debido a causas naturales de solubilidad del substrato (terrenos margosos), alta evaporación y escasas precipitaciones existentes. En estaciones de las cuencas de los ríos Aguas y Almanzora la conductividad alcanza también valores elevados, superiores a 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La figura 4 muestra la distribución de las estaciones de muestreo en función de la conductividad media durante el período de estudio. El 25 % del total de las estaciones presentan conductividades medias superiores a 1250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y un 50 % superior a 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que indica un elevado grado de mineralización general de todas las cuencas respecto al resto de las cuencas de la Península Ibérica, donde la conductividad media se sitúa generalmente con valores inferiores a los 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en condiciones naturales sin contaminación (CEDEX, 1989-2001). La relación directa entre la conductividad y la concentración de sulfatos y cloruros en el agua de una de las cuencas estudiadas de mayor tamaño, el Júcar (Fig. 5),



**Figura 4.** Distribución de las estaciones de muestreo en función de la conductividad media ( $\mu\text{S}/\text{cm}$  25°). *Distribution of sampling sites according to mean conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$  25°).*



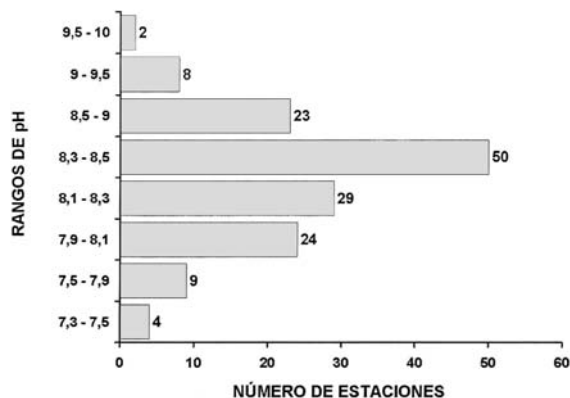


**Figura 5.** Mineralización de las aguas de las estaciones de la cuenca del Júcar en relación con la concentración de cloruros y sulfatos (mg/l), de la conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$  25°) y de su distancia al mar. *Total mineral content of water in sampling sites of the river Júcar basin against sulphate and chloride concentrations (mg/l), conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$  25°) and distance to the sea.*

refleja claramente la dependencia de este parámetro de la geología y suelos de la cuenca, constatándose una tendencia al aumento de los valores medios de conductividad según nos acercamos a los tramos bajos. Esto se debe principalmente a la mayor superficie lavada de cuenca y a la solubilidad de los terrenos de la misma, aunque la mayor contaminación de las aguas existente en los tramos bajos también contribuye a los valores más altos de estos parámetros. En otras cuencas, como la del Segura, los valores elevados de conductivi-

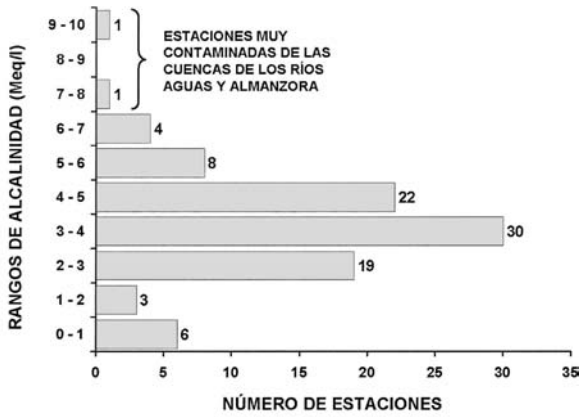
dad se deben a una presencia natural de iones y nutrientes (nitratos principalmente) muy elevados, de origen natural, existiendo una relación directa entre la proporción de sustratos solubles (calcáreos + sedimentarios-margas) y los valores de conductividad. En las cabeceras de montaña (Júcar, Adra y Almanzora) o cuencas con predominio de sustratos ácidos o silíceos (Guadalfeo), los valores de conductividad son inferiores ( $< 150 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).

**Alcalinidad / pH**



**Figura 6.** Distribución de las estaciones estudiadas en rangos de valores medios de pH. *Distribution of sampling sites in classes of mean pH value.*

Las aguas de las cuencas mediterráneas ibéricas, debido a la predominancia de sustratos geológicos de naturaleza básica o sedimentaria, son de carácter básico (MIMAM, 2000), presentando una importante reserva alcalina a causa de la solubilidad de las rocas y materiales de las cuencas. La mayoría de las estaciones estudiadas presentan valores de pH entre 7.5 y 8.6, con un valor medio de 8.3 (Fig. 6). En algunos casos de tramos muy contaminados en cuencas como el Almanzora, el Besós o el Llobregat, los valores de pH son superiores a 9. La distribución de la alcalinidad se encuentra muy relacionada con el pH, estando los valores medios de la mayoría de las estaciones

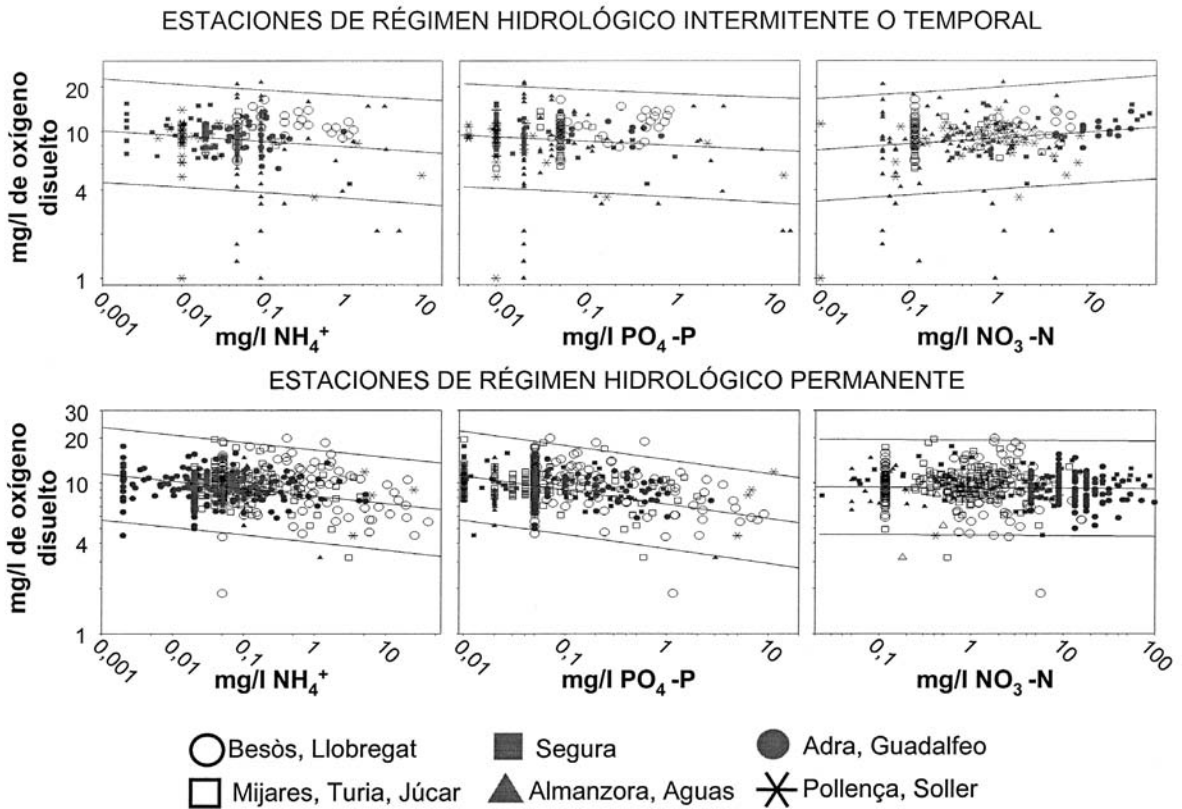


**Figura 7.** Distribución de las estaciones estudiadas en rangos de valores medios de alcalinidad (meq/l). *Distribution of sampling sites in classes of mean alkalinity (meq/l).*

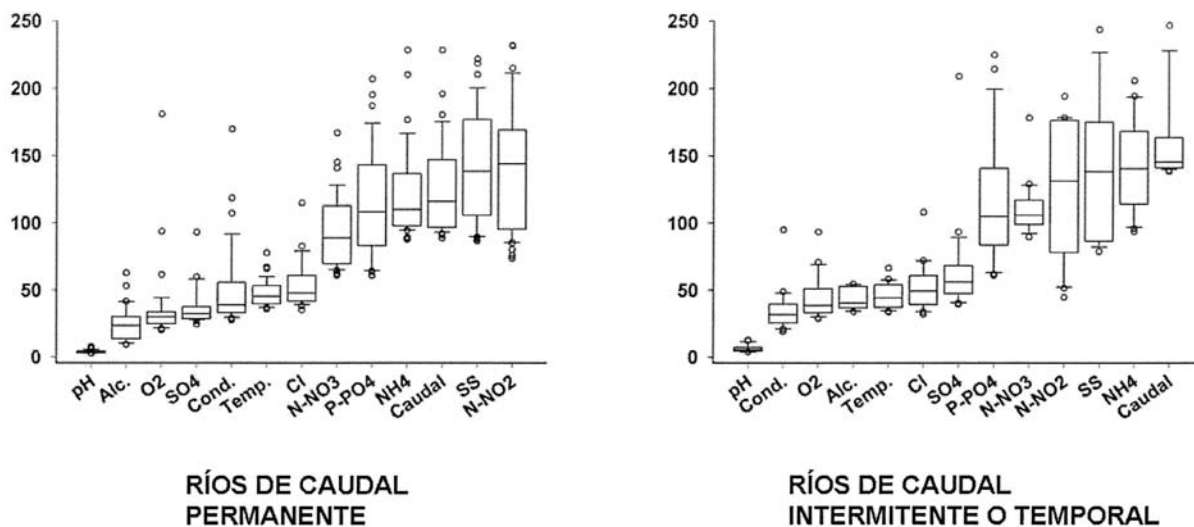
entre 3 y 6 meq/l (Fig. 7). En este sentido, al ser aguas muy alcalinas en general, presentan una alta capacidad de tamponamiento, y por tanto amortiguan mejor los posibles impactos producidos por vertidos o agentes contaminantes. A pesar de ello, algunas estaciones muy contaminadas de los ríos Aguas y Almanzora muestran valores superiores a la media (> 9 meq/l).

**Nutrientes**

Los datos obtenidos en el análisis de las diferentes formas de los compuestos de N y P refleja como los nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) son la forma más relacionada con la naturaleza química de las cuencas. Los valores elevados de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de forma natural, encontrados en algunos puntos



**Figura 8.** Relación entre las diferentes formas de nutrientes (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) (mg/l) y la concentración de oxígeno disuelto (mg/l), diferenciando las estaciones de caudal permanente y las de caudal intermitente o temporal. *Relationship between different nutrient compounds (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) (mg/l) and dissolved oxygen concentration (mg/l), shown separately for sampling sites with permanent and with temporary sites.*



**Figura 9.** Comparación de la variación temporal de los parámetros físico-químicos. Las cajas representan la distribución de los coeficientes de variación (CV) de las estaciones de muestreo. La línea central de cada caja es la mediana y los límites exteriores de cada caja son los percentiles (25%-75%). Los límites de las barras de error son los percentiles del 10 % y el 90%. Los parámetros físico-químicos se presentan en orden ascendente según su mediana. *Seasonality of physico-chemical variables. Boxes represent the distribution of variation coefficients (CV) at sampling sites. The central line in each box is the median and the extreme limits are percentiles (25%-75%). Limits of error bars are the 10 % and 90 % percentiles. Physico-chemical variables are shown in increasing order according to median.*

de muestreo, ya han sido puesto de manifiesto por Vidal-Abarca *et al.* (2000) en una cuenca semiárida del SE peninsular, con predominio de materiales margosos y ricos en rocas evaporíticas. Su concentración y distribución espacial y temporal en los diferentes ríos estudiados, no guarda una relación muy directa con el grado de contaminación de las aguas, encontrándose los valores más elevados en estaciones de ríos de las cuencas del Segura, Adra o Guadalfeo, donde otros parámetros indicadores de contaminación (oxígeno disuelto bajo o amonio alto) no se relacionan directamente (Fig. 8). Por el contrario, los valores de PRS ( $P-PO_4^{3-}$ ) y amonio ( $N-NH_4^+$ ) si indican claramente las estaciones que se encuentran más contaminadas en ríos como el Besós, Llobregat o Júcar (Fig. 8).

## DISCUSIÓN

El análisis global de los parámetros físico-químicos de los ríos estudiados permite una clasi-

ficación de los mismos en función de su variación espacial y temporal. Desde el punto de vista espacial se observa como la naturaleza del substrato de las cuencas determina marcadamente la composición química de las aguas y su reacción ante posibles alteraciones de las mismas. En general, hay una serie de parámetros como son el oxígeno disuelto, el amonio, los fosfatos y, en menor medida, la conductividad, que reflejan más fielmente las estaciones sometidas a impactos o alteraciones de la calidad del agua. Por el contrario, otras variables como el pH, alcalinidad, cloruros y sulfatos, y los nitratos, guardan una relación más directa con las condiciones naturales de las cuencas, viéndose menos alterados por los cambios en la calidad del agua.

La figura 9 muestra una comparación de la variación temporal de los parámetros físico-químicos estudiados, representándose los coeficientes de variación de las estaciones de muestreo, separando las de régimen permanente frente a las de régimen temporal o de caudal

intermitente. El caudal se presenta como uno de los parámetros más fluctuantes en todas las estaciones estudiadas, siendo una de las características más patentes de los ríos mediterráneos. Asociado a este parámetro, se encuentran otros como los sólidos en suspensión y los nutrientes, ya que su concentración en las aguas va a depender mucho de los arrastres provocados por las crecidas y las aguas de escorrentía en las cuencas tras sucesos de fuertes precipitaciones. Por el contrario, como ya se ha expuesto anteriormente, otras variables como el pH, alcalinidad, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura o la concentración de iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{=}$ , muestran patrones de variación temporal mucho menores, siendo variables más constantes y representativas de la tipología fisicoquímica de los ríos estudiados.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado mediante la financiación de los proyectos HID98-0323-C05 y REN2001-3438-C07 del Ministerio de Ciencia y Tecnología y PLP/10/FS/97 de la Fundación Séneca de la CARM. Nuestro especial agradecimiento al Área de Coordinación y Aplicaciones Tecnológicas de la D.G.O.H. del Ministerio de Medio Ambiente, al Área de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona, a la Delegación de Granada de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y a la Agencia Catalana del Aigua por su apoyo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLAN, J. D. 1995. *Stream ecology*. London: Ed. Chapman & Hall.
- BONADA, N., N. PRAT, A. MUNNÉ, M. RIERADEVALL, J. ALBA-TERCEDOR, M. ÁLVAREZ, J. AVILÉS, J. CASAS, P. JÁIMEZ-CUÉLLAR, A. MELLADO, G. MOYÁ, I. PARDO, S. ROBLES, G. RAMÓN, M. L. SUÁREZ, M. TORO, M. R. VIDAL-ABARCA, S. VIVAS & C. ZAMORA-MUÑOZ. 2002. Criterios para la selección de condiciones de referencia en los ríos mediterráneos. Resultados del proyecto GUADALMED. *Limnetica*, 21: 99-114
- CEDEX. 1989-2001. *Informes técnicos de estudios de indicadores biológicos en diferentes cuencas españolas (Norte, Duero, Tajo, Guadiana, Guadalquivir, Júcar y Ebro) para la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas (MIMAM)*.
- D.O.C.E. 2000. *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*. D.O.C.E. L 327 de 22.12.00. 69 pp.
- GASITH, A. & V. H. RESH. 1999. Streams in mediterranean climate regions: Abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 30: 51-81.
- KÖPPEN, W. & R. GEIGER. 1936. *Hand-buch der Klimatologie*, Vol 1, part C. Berlin: Gebrüder Born-traeger.
- LULLA, K. 1987. Mediterranean climate. In: *Encyclopedia of Climatology*. J.E. Oliver & RW. Fairbridge (eds.): 569-571. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- MALTCHIK, L., S. MOLLÁ & C. CASADO. 1998. Spatio-temporal heterogeneity of nutrients in a mediterranean temporary stream (Montesina Stream, SW, Spain). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 26: 1062-1065.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Barcelona: Ed. Omega.
- MIMAM, 2000. *Libro blanco del agua en España*. Madrid: Ed. Ministerio de Medio Ambiente.
- MOLLÁ, S. 1994. *Dinámica de la materia orgánica y metabolismo en un arroyo temporal del Sur de España (arroyo de la Montesina, Cordoba)*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 189 pp.
- MORENO, J. L., M. L. SUÁREZ & M. R. VIDAL-ABARCA. 1995. Hidroquímica de las ramblas litorales de la Región de Murcia: Variaciones espacio-temporales. *Limnetica*, 11: 1-13.
- ORTEGA, M., M. R. VIDAL-ABARCA, M. L. SUÁREZ, J. L. GONZÁLEZ-BESERAN & L. RAMÍREZ-DÍAZ. 1988. Características fisico-químicas de las aguas superficiales de la Rambla del Moro después de una riada (Cuenc del Río Segura, SE de España). *Limnetica*, 4: 19-26.
- ROBLES, S., M. TORO, C. NUÑO, J. AVILÉS, J. ALBA-TERCEDOR, M. ÁLVAREZ, N. BONADA,

- J. CASAS, P. JÁIMEZ-CUÉLLAR, A. MELLADO, A. MUNNÉ, I. PARDO, N. PRAT, M. L. SUÁREZ, M. R. VIDAL-ABARCA, S. VIVAS, G. MOYÁ & G. RAMON. 2002. Descripción de las cuencas mediterráneas seleccionadas en el proyecto GUADALMED. *Limnetica*, 21: 35-61
- SABATER, S., F. SABATER & J. ARMENGOL. 1993. Ecología de los ríos mediterráneos. *Investigación y Ciencia*, Agosto 1993: 72-79.
- STRAHLER, A. N. & A. H. STRAHLER. 1989. *Geografía física*. Barcelona: Ed. Omega.
- TREWARTA, G. T. 1961. *The earth's problem climates*. Madison: University of Wisconsin Press.
- VIDAL-ABARCA, M. R. 1990. Los ríos de las cuencas áridas y semiáridas: Una perspectiva ecológica comparativa y de síntesis. *Scientia gerundensis*, 16: 219-228.
- VIDAL-ABARCA, M. R., M. L. SUÁREZ, J.L. MORENO, R. GÓMEZ & I. SÁNCHEZ. 2000. Hidroquímica de un río de características semiáridas (Río Chicamo; Murcia). Análisis espacio-temporal. *Limnetica*, 18: 57-73.