

HIDROQUÍMICA DE UN RÍO DE CARACTERÍSTICAS SEMIÁRIDAS (RÍO CHICAMO; MURCIA). ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL

M.R. Vidal-Abarca; M.L. Suárez; J.L. Moreno; R. Gómez; I. Sánchez

Departamento de Ecología e Hidrología. Universidad de Murcia. Campus de Espinardo 30100. MURCIA.

RESUMEN

En este estudio se describen y analizan las variaciones espacio-temporales de 20 parámetros físicos y químicos medidos en un sector de cauce del tramo medio del Río Chicamo, un río salino, temporal y espacialmente intermitente, localizado en el sureste ibérico. En general, el Río Chicamo presenta aguas hiposalinas, bien oxigenadas, alcalinas y muy ricas en nutrientes. La elevada concentración de nitrógeno en el agua, sobretodo en forma de nitratos (2.2 mg/L), es consecuencia de los materiales margosos de origen sedimentario de la cuenca de drenaje. Las características fisonómicas de las estaciones de muestreo y la dinámica hidrológica compleja, que incluye varias fases a lo largo del año, parecen explicar la evolución espacial y temporal de muchas de las variables físicas y químicas analizadas. La combinación de un análisis de ordenación (PCA) con otro de clasificación (cluster) sobre una matriz de datos previamente seleccionados, permite diferenciar distintas fases hidrológicas caracterizadas por una combinación de variables físicas y químicas (anchura de la lámina de agua, caudal, conductividad, saturación de oxígeno y nutrientes)

Palabras clave: río salino, río temporal, características físicas y químicas, dinámica hidrológica, sureste ibérico

ABSTRACT

Spatio-temporal variations of 20 physical and chemical parameters were measured in the middle sector of the Chicamo stream. The Chicamo is a saline, temporal, and spatially intermittent stream located in Murcia (southeast Spain). The water is hyposaline, with high dissolved oxygen and alkalinity, and it is rich in nutrients. The high values of nitrate are due to sedimentary origin of marls in the watershed. The characteristic features of the sampling sites and the complex hydrological dynamic of Chicamo stream may explain the water hydrochemical variability. Multivariate techniques of ordination and classification were applied to a matrix with selected physical and chemical parameters which allowed us to define three hydrological phases, each characterized by different features (saturated channel width, discharge, conductivity, saturation oxygen and nutrients)

Keywords: saline stream, temporal stream, physical and chemical characteristics, hydrological dynamics, southeast Iberian peninsula.

INTRODUCCIÓN

Aún son escasos los estudios que analizan las características hidroquímicas de los ecosistemas acuiticos continentales con dinámicas hidrológicas complejas, como ramblas, ríos temporales y/o ríos espacialmente intermitentes, sometidos a perturbaciones hidrológicas naturales de distinta magnitud (riadas, sequías, etc). Cabe destacar, no obstante, los trabajos en Sycamore Creek, en el

desierto de Sonora (Arizona), sobre la dinámica hidroquímica tras las avenidas de agua (Fisher & Minkley, 1978; Fisher *et al.*, 1982), o durante las sequías (Stanley & Fisher, 1992), e incluso el papel que juega el hiporreos como un componente más del ecosistema fluvial (Valett *et al.*, 1990; Stanley & Boulton, 1995). De igual manera, resultan relevantes los trabajos de Boulton y Suter (1986) y Boulton y Lake (1990), sobre ríos temporales e intermitentes australianos, o los de

arroyos temporales de las praderas americanas (Matthews, 1988; Zale *et al.*, 1989; Dodds, *et al.*, 1996).

En España cabe destacar, el estudio del arroyo temporal de la Montesina (Sierra Morena) (Maltchick & Mollá, 1994; Maltchick *et al.*, 1994; 1998; Mollá *et al.*, 1994), los realizados en ríos temporales de Cataluña (Sabater & Armengol, 1986; Sabater *et al.*, 1991; 1992; Martí & Sabater, 1996) y los enmarcados en ambientes áridos del Sureste ibérico, como los trabajos de Ortega *et al.*, (1988) en una rambla sometida a intensas avenidas de agua, los de Moreno *et al.*, (1995) en ramblas del litoral murciano de temporalidad extrema y los de Gomez (1995) en humedales asociados a ramblas de carácter salino y temporal.

De forma general, en estos trabajos se marca la temporalidad como el carácter que mejor explica la variación de los parámetros físicos, químicos y/o biológicos analizados (Comin & Williams, 1994). De hecho a partir de ellos, algunos autores han planteado hipótesis y modelos de funcionamiento para este tipo de ecosistemas, en base a las distintas fases hidrológicas que es posible definir. Así, Boulton & Lake (1990), en un estudio bianual realizado en dos ríos intermitentes australianos definen cinco fases hidrológicas (pre-flujo, flujo temprano, flujo principal, disminución del flujo y post-flujo) cada una de ellas caracterizada por una combinación compleja de distintas variables físicas y químicas. De manera similar, Stanley & Fisher (1992) describen un

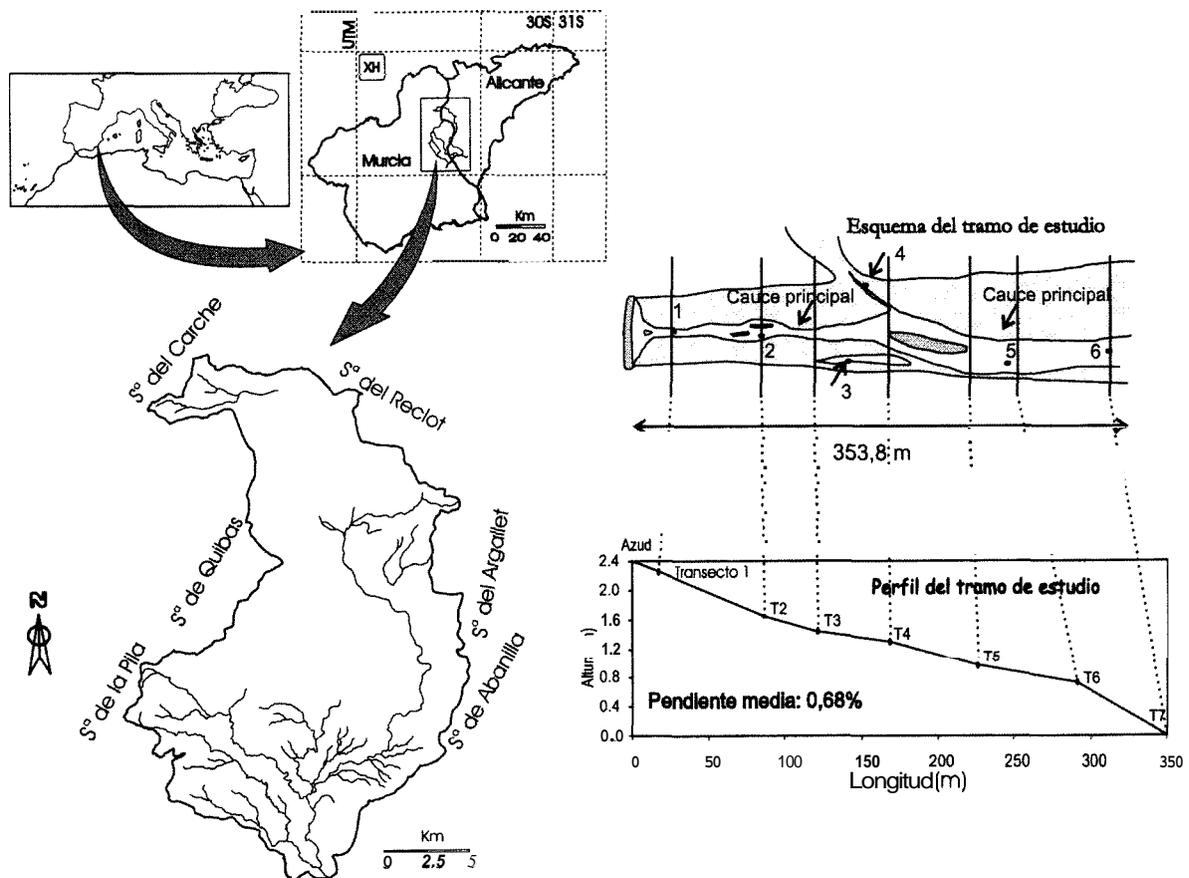


Figura 1. Localización geográfica del Río Chicamo, situación de las estaciones de muestreo y pendiente y transectos en el tramo de estudio. *Location of the Chicamo stream, the sampling sites, the transects in the reach studied and slope.*

marco conceptual basado en la definición y caracterización de las tres fases hidrológicas, que se observan durante un proceso de sequía (Fase I: pérdida progresiva del flujo de agua; Fase II: sequía o ausencia de agua superficial; Fase III: restitución del flujo de agua), en función de los cambios detectados para distintas variables biológicas, interpretados en términos de la teoría de la estabilidad en relación con la resistencia y resiliencia de las comunidades.

Más recientemente, se ha prestado atención a la diferencia de comportamiento de las zonas de corriente ("runs" o "riffles") frente a las pozas ("pools") en el proceso de sequía de un tramo de cauce. De hecho, Stanley *et al.* (1997), han propuesto un esquema de funcionamiento para los ríos intermitentes, basado en los distintos modelos de sequía que sigue cada tipo de hábitat ("runs", "riffles" y "pools") definidos a una escala de tramo. Estos autores muestran como los ríos son espacialmente dinámicos, según ciclos de expansión, contracción y fragmentación.

Finalmente, la incorporación de los efectos de las perturbaciones a distintas escalas espaciales y temporales, y las relaciones y efectos que se producen entre los distintos compartimentos que caracterizan a un ecosistema fluvial, ha dado lugar a la formulación de una nueva teoría: "A Telescoping Ecosystem Model": (Fisher *et al.*, 1998a) aún por probar.

En vista a estos trabajos resulta interesante analizar si estos modelos pueden ser aplicados a ríos de características ambientales similares como el Río Chicamo, un afluente del Río Segura, situado en el sureste ibérico, en un área ambientalmente árida. Así, en este estudio se pretende, en primer lugar, analizar de forma conjunta la variación espacial y temporal de 20 parámetros físicos y químicos, medidos durante un ciclo hidrológico anual (1994) en seis estaciones de muestreo. En segundo lugar, analizar qué factores ambientales pueden explicar estas variaciones espacio-temporales y finalmente discutir sobre la idoneidad y utilidad de los modelos anteriores en el esquema general de variabilidad e irregularidad que caracteriza a estos ecosistemas.

EL AREA DE ESTUDIO

El Río Chicamo es un afluente del Río Segura, por su margen izquierda (Fig. 1). Su longitud es de 59.4 km aunque sólo unos 22 km mantienen agua de forma temporal o permanente. Ello es debido tanto a las condiciones climáticas del área como a las intensas extracciones de agua que se realizan desde su nacimiento, para abastecer a la agricultura de regadío.

La cuenca del Río Chicamo drena una superficie de 502 km² y se localiza en el sector más árido de la Región de Murcia, con temperaturas medias anuales de 18°C y una precipitación media anual de 250 mm (Vidal-Abarca *et al.*, 1987). Los materiales geológicos son margas grises, ricas en yeso, blandas y fácilmente erosionables, que organizan los paisajes de bad-lands, típicos de muchos sectores del sureste ibérico.

El estudio se llevó a cabo en un sector del tramo medio del Río Chicamo de 350 m de longitud, donde el agua fluye de forma permanente durante todo el ciclo hidrológico anual. Durante el periodo de estudio (desde enero hasta diciembre de 1994) la temperatura media ambiental fue de 19°C y la precipitación anual no superó los 150 mm (Fig. 2). El inicio del tramo de estudio comprende un pequeño azud, hoy día totalmente colmatado y, en consecuencia muy naturalizado, bajo el cual se produce una descarga de agua subterránea, origen del agua del tramo de estudio. Únicamente cuando se producen aguaceros de cierta intensidad circula agua por encima del azud.

El sustrato del cauce está constituido por margas impermeables sobre las que se depositan materiales más blandos (limos y arcilla). Existe una clara dominancia de los materiales orgánicos, predominando la fracción fina de la materia orgánica bentónica (FPOM) debido a la descomposición de los productores primarios (Martínez, *et al.*, 1998). Sobre ella, una capa casi uniforme de perifiton cubre la totalidad del cauce durante la mayor parte del año. No obstante, en las pozas crecen otros productores primarios como *Chara vulgaris*, mientras que en las zonas de corriente aparecen pequeñas manchas de *Cladophora glomerata* y *Enteromorpha intestinalis*.

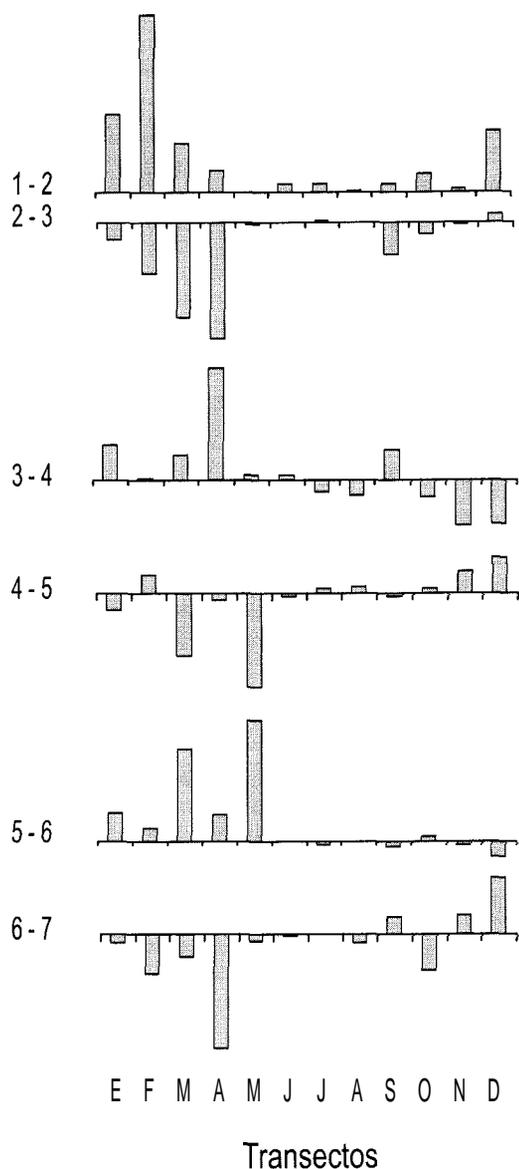


Figura 2. Variación mensual de las diferencias de caudal, medidas en los siete transectos del tramo de estudio en el Río Chicamo. *Monthly variability in the water flow differences, measured in the seven studied stretches at Chicamo stream.*

La vegetación ribereña apenas existe a causa de las avenidas de agua. Únicamente y de forma muy aislada, aparecen pies jóvenes de *Tamarix canariensis* y pequeños núcleos de *Phragmites australis*. Junto a ellos, algunas especies de juncos (*Juncus maritimus*, *Scirpus holoschoenus*, etc) se distribuyen a 10 largo del cauce.

METODOLOGÍA

Con objeto de recoger la máxima diversidad espacial de hábitats del tramo de estudio, se seleccionaron seis estaciones de muestreo: cuatro en el cauce principal, de las cuales dos (1 y 6) se situaron en zonas de corriente y dos (2 y 5) en pozas. Otra estación, se situó en una charca lateral (3) y otra más a la salida de un pequeño humedal que desagua al canal principal (4) (Fig. I).

Los muestreos se llevaron a cabo mensualmente durante 1994. En cada una de las estaciones se midió: la anchura, la profundidad de la lamina de agua y la velocidad de la corriente (molinete electromagnético M 201D). Así mismo se midió la temperatura del agua, el pH, la salinidad y la conductividad (pH-metro Crison y conductivímetro YSI-33).

Para el análisis de la composición química del agua se recogieron muestras, por triplicado, en botellas de polietileno (Mackereth *et al.*, 1978) lavadas previamente con ácido, que se transportaban en nevera hasta el laboratorio y en botellas de tapón esmerilado para la medida del oxígeno disuelto según el método de Winkler (1888). Durante una buena parte del ciclo estudiado, la recogida de agua tuvo que realizarse con jeringuillas dada la escasa profundidad de la lamina de agua.

En el laboratorio, las muestras se filtraron (filtros Whatman GF/C) para obtener los sólidos en suspensión. Una vez filtrada el agua se obtenía la medida de alcalinidad. Cuando fue necesario las muestras se congelaron, aunque los análisis de los nutrientes ($N-NO_2^-$; $N-NO_3^-$; $N-NH_4^+$ y fósforo reactivo soluble: PRS) se realizaron antes de las 48 horas desde la toma de las muestras. Tanto para la determinación de nutrientes como para la dureza, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, sodio y potasio, se siguieron los tratados de A.P.H.A. (1985); Golterman *et al.*, (1978) y Wetzel & Likens (1991). Dado su carácter conservativo, los iones mayoritarios únicamente se midieron cuatro veces durante el ciclo hidrológico estudiado (enero, abril, julio y octubre).

Se establecieron siete transectos permanentes, transversales a la dirección del flujo de agua, con objeto de analizar en detalle las variaciones de

caudal y la distribución de la lámina de agua superficial en el tramo de estudio.

Se utilizó un análisis de la varianza (ANOVA para test paramétricos y Kruskal-Wallis para los no paramétricos) con el fin de comprobar si existían diferencias significativas entre los valores medios mensuales de los parámetros físico-químicos estudiados. Este análisis se realizó para las cuatro estaciones localizadas en el cauce principal (1,2,5 y 6).

Finalmente, con el fin de describir las tendencias conjuntas de variación espacial y temporal de los principales parámetros físico-químicos analizados, se realizó un análisis de componentes principales (PCA), mediante el programa XLS-TAT, versión 4.0 (Fahmy, 1999) sobre una matriz de 9 x 44. Las variables físico-químicas incluidas fueron: anchura de la lámina de agua, caudal, temperatura del agua, conductividad a 25 °C, pH, saturación de oxígeno, N-NO₂⁻; N-NH₄⁺ y PRS, después de eliminar el resto por aportar información redundante (salinidad, velocidad de la corriente, profundidad de la lámina de agua, oxí-

geno disuelto y nitritos). De igual manera, se eliminaron de la matriz de datos las estaciones 3 y 4 dada su localización y dinámica particular, al igual que el muestreo de enero, porque no se pudo medir PRS. Todos los datos fueron transformados según la expresión $\log(x + 1)$.

Finalmente, con el fin de diferenciar de forma objetiva las distintas fases hidrológicas en el cauce del Río Chicamo, a las coordenadas de los tres primeros ejes del PCA se les aplicó un análisis de clasificación ("cluster"), siguiendo una técnica aglomerativa con las distancias de Ward, mediante el mismo paquete estadístico (programa XLSTAT, versión 4.0).

RESULTADOS

Hidrología

La interacción agua superficial-agua subsuperficial, en el tramo estudiado es bastante compleja (Fig. 2). En general, se detectan zonas de surgen-

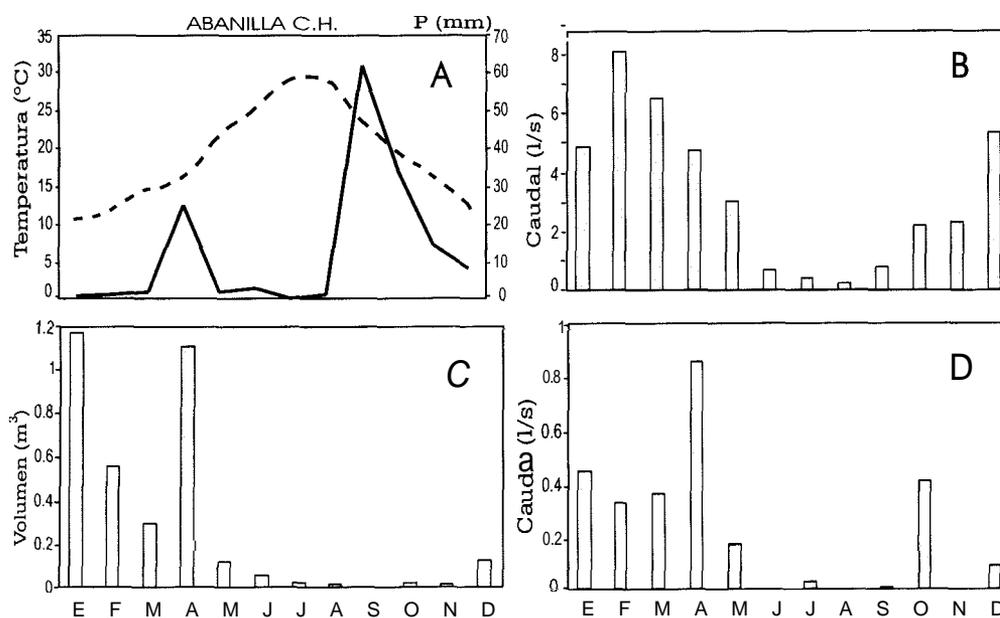


Figura 3. Climodiagrama del periodo de estudio (A) y evolución mensual del caudal medio del tramo de estudio (B), de los volúmenes de la charca lateral (estación 3) (C) y de los caudales de salida del humedal (estación 4) (D). *Climatic diagram (A) and discharge of Chicamo stream during period studied (B). Evolution of capacity of lateral pool (site 3) (C) and discharge of wetland (site 4) at Chicamo stream during period studied (D).*

Tabla 1. Valores medios, mínimos y máximos y coeficientes de variación de los parámetros físico-químicos medidos en las cuatro estaciones de muestreo (1, 2, 5 y 6) del cauce principal del Río Chicamo. *Mean, minimum, and maximum values and coefficients of variation of the physico-chemical parameters measured at the four sampling sites (1, 2, 5 y 6) of the main channel in the Chicamo.*

	n	Valor medio	Valor mínimo	Valor máximo	C.V. %
anchura lamina de agua (m)	48	8,7	2,0	22,5	74,3
profundidad (cm)	48	7,3	0,7	32,0	142,1
velocidad corriente (cm/s)	48	2,1	0,0	12,0	82,7
caudal (l/s)	48	3,6	0,0	17,0	110,2
Tª agua (°C)	48	18,6	7,0	29,5	31,7
pH	48	7,8	7,0	8,3	4,1
oxígeno disuelto (mg/L)	44	12,1	7,6	17,5	16,0
sólidos suspension (mg/L)	48	10,2	0,0	51,1	112,0
salinidad (g/L)	48	7,6	5,0	11,2	16,8
conductividad 25°C(mS/cm)	48	12,8	8,0	19,2	17,2
cloruros (meq/L)	16	75,6	31,0	119,9	38,5
sodio (meq/L)	16	88,6	47,3	120,2	24,5
potasio (meq/L)	16	0,3	0,1	0,5	40,3
calcio (meq/L)	16	13,2	7,6	18,0	26,5
magnesio (meq/L)	16	21,3	8,4	42,4	46,8
alcalinidad (mg/l)	32	219,5	82,7	300,8	27,0
N-nitratos (mg/L)	48	2,2	4,3	5,1	48,3
N-nitritos (mg/L)	48	0,0	inap.	0,1	95,8
N-amonio (mg/L)	48	0,3	0,0	2,5	161,5
P-fósforo reactivo soluble(µg/L)	44	7,4	0,0	34,5	84,2

cia y de infiltración cuya distribución varía a lo largo del año. En cualquier caso destacar como el sector comprendido entre los transectos 1 y 2 siempre se comporta como área de surgencia a lo largo del ciclo hidrológico y como el tramo comprendido entre los transectos 2 y 3, se comporta como área de infiltración.

La variación del caudal a lo largo del año, tanto en la salida del humedal como en la charca lateral, está relacionada con el régimen de precipitaciones (Fig. 3). En ésta última el agua desaparece totalmente en septiembre. Los aportes de agua, vía sub-superficial, desde el humedal al cauce del río son especialmente patentes aguas abajo del mismo, existiendo una relación significativa entre los caudales mensuales medidos en el transecto 7 y los de salida de agua del humedal ($r = 0.88$, $p = 99.9\%$).

Parámetros morfológicos

En la Tabla 1, se presentan los valores medios, máximo, mínimo y coeficientes de variación para cada uno de los parámetros analizados. Como se

Tabla 2. Resultados del análisis de la varianza para los parámetros físico-químicos medidos en las estaciones del Río Chicamo durante el periodo de estudio. (*) Datos transformados ($\log x + 1$); n.s. = no significativo. *Results of variance analyses for physico-chemical parameters measured in the Chicamo stream during the study period. (*) data transformed ($\log x + 1$); n.s. = no significant.*

	Kruskal-Wallis	ANOVA
pH	p<0.001	
salinidad		p<0.001
conductividad		p<0.001
oxígeno disuelto		p<0.001
sólidos suspensión*		p<0.001
alcalinidad	p<0.001	
nitratos		p<0.001
nitritos*		p<0.001
amonio*		n.s.
fosforo reactivo soluble*		p<0.001

observa, se trata de un tramo de cauce muy ancho (30-50 m), como corresponde a un río que sufre fuertes avenidas, donde la lamina de agua ocupa una pequeña proporción del mismo (entre el 15.8 % en octubre y el 6.2% en julio), de aguas muy

someras y escaso caudal (valor medio de 3.3L/s). En verano, el cauce queda estructurado en pequeñas pozas sin conexión aparente (superficial) y tanto la charca lateral como la salida del humedal quedan completamente secas.

Parámetros físicos y químicos

La temperatura media del agua en el tramo de estudio fue de 18.6 °C, muy cercano al valor medio de la temperatura del aire para el periodo de estudio (19°C) (Tabla 1). El valor más elevado se detectó en julio en la charca lateral (30.5°C) (Fig. 4). Este parámetro, para las estaciones del

cauce principal, muestra una variación temporal significativa ($p < 0.001$; Tabla 2). Igual ocurre con el pH que, por el contrario no muestra variaciones espaciales importantes (Tabla 1).

En cuanto al oxígeno disuelto, las variaciones espaciales en el cauce principal no parecen muy importantes dado el valor del coeficiente de variación obtenido (Tabla 1). No ocurre igual con la variación temporal en la que se detectan diferencias significativas (Tabla 2). Durante todo el año se mantienen niveles altos de saturación de oxígeno (Fig. 4) en todas las estaciones de muestreo, excepto para la charca lateral y para la salida del humedal. La variación temporal de la satu-

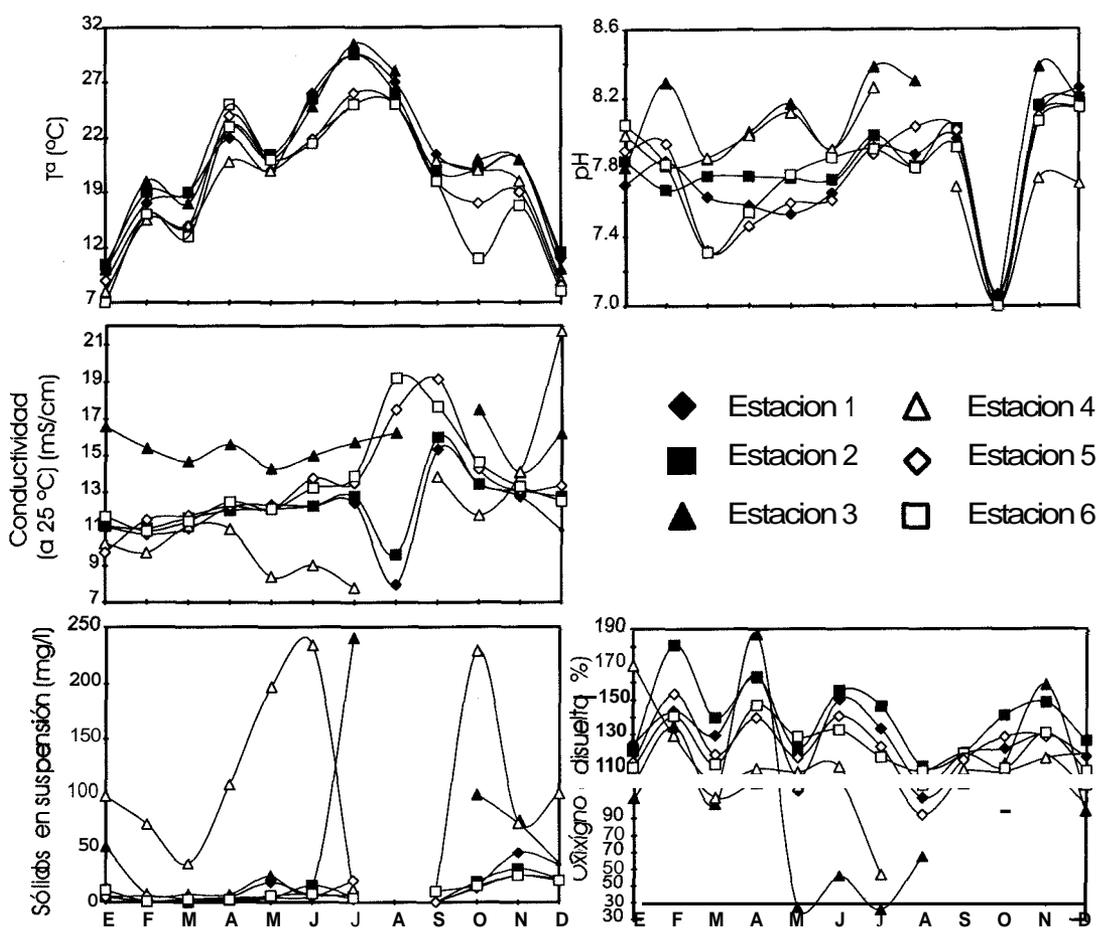


Figura 4. Valores mensuales de temperatura del agua (°C), conductividad a 25 °C (mS/cm), pH, saturación de oxígeno (%) y sólidos en suspensión (mg/L), medidos en las estaciones de muestreo del Río Chicamo. *Monthly values of temperature of water (°C), conductivity to 25°C (mS/cm), pH, saturation of oxygen (%) and suspended solids (mg/L) measured in the sampling sites at Chicamo stream.*

ración de oxígeno esta relacionada con la temperatura del agua, con la que mantiene una relación negativa y altamente significativa ($r = -0.48$, $p = 99.9\%$).

Los sólidos en suspensión muestran importantes variaciones tanto a nivel espacial como temporal (Tablas 1 y 2) (Fig. 4). La charca lateral y la salida del humedal presentan los valores más elevados (56.22 y 106.91 mg/L, respectivamente).

La salinidad muestra variaciones temporales significativas ($p < 0.001$; Tabla 2) debido a las os-

cilaciones de caudal, con el que guarda una relación negativa y significativa ($r = -0.35$; $p = 99.9\%$). El valor medio para el cauce principal fue de 7.6 g/L (Tabla 1). Teniendo en cuenta la clasificación propuesta por Montes & Martino (1987) para las aguas salinas de cualquier origen, las del Río Chicamo pueden calificarse como de aguas hiposalinas.

La conductividad (a 25°C) se comporta de forma similar a la salinidad, con un valor medio para las estaciones del cauce de 12.8 mS/cm (Fig. 4). Valores entre 12 y 36 mS/cm, son habituales en las aguas de distintas ramblas, ríos y pequeños humedales de la Cuenca del Río Chicamo (Vidal-Abarca, 1985; Gómez, 1995), con lo que este tramo de cauce se situaría en el extremo inferior, más dulce, de este rango.

El análisis de la composición aniónica y catiónica para las cuatro estaciones del año, refleja que las aguas del Río Chicamo son bastante estables a lo largo del tiempo (Tabla 1), con una composición cloruro-sódica dominante (Fig. 5). Sin embargo, en verano prevalecen los sulfatos frente a los cloruros, debido probablemente al efecto de la precipitación selectiva de sales (Carrasco *et al.*, 1993). El valor medio de los cloruros para las estaciones del cauce es de 75.6 meq/L, con un coeficiente de variación del 38.5 %.

La alcalinidad total proporciona valores medios para el cauce de 219.5 mg/L (Tabla 1). Se trata de aguas muy alcalinas (Margalef, 1977), en las que el sodio forma una parte importante del exceso de cationes, de hecho Cste es el dominante (88.6 meq/L), seguido por el magnesio (21.3 meq/L), el calcio (13.2 meq/L) y finalmente el potasio (0.3 meq/L). Esta secuencia se encuentra también en las lagunas manchegas (Martino, 1988) y es la habitual en los sistemas acuáticos salinos del sureste ibérico (Gómez, 1995; Moreno *et al.*, 1995).

En relación con los nutrientes, los valores medios para el nitrógeno en forma de nitratos, nitritos y amonio en el cauce principal fueron de 2.2, 0.03 y 0.3 mg/L, respectivamente (Tabla 1). El N-NO_3^- es, con diferencia la forma inorgánica de nitrógeno dominante en el Río Chicamo. En general, la variación espacial de las distintas formas

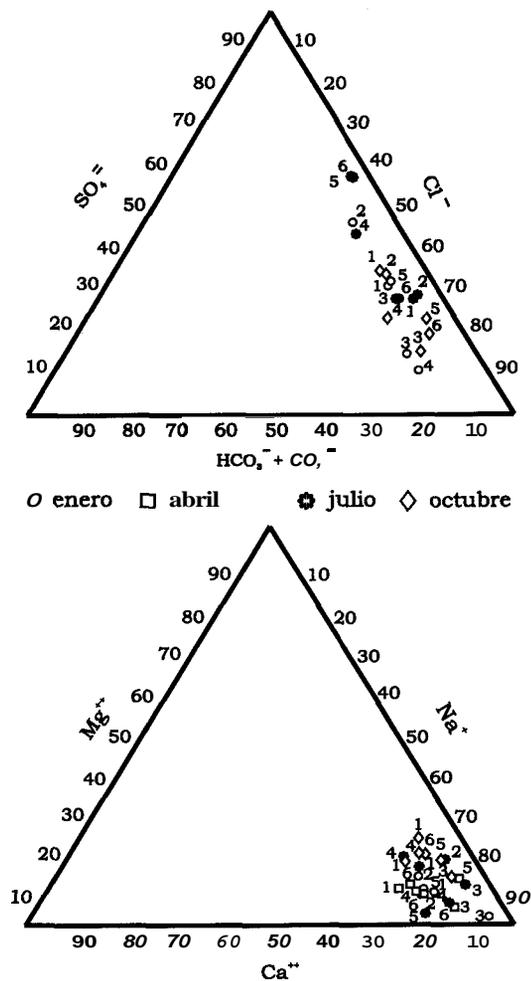


Figura 5. Diagramas triangulares de la composición aniónica y catiónica de las aguas superficiales del Río Chicamo en el tramo de estudio. *Relative anionic and cationic composition (triangular diagram) of the water at the sampling sites in the Chicamo stream.*

de nitrógeno parece ser tan importante e incluso más que la temporal, a excepción del N-NH_4^+ , donde no se detectó una variación temporal significativa (Tabla 2) (Fig. 6).

Los valores más elevados de N-NO_2^- siempre se detectan en la salida del humedal (valor máximo = 23.8 mg/L; valor mínimo = 2.3 mg/L), mientras que los de amonio en la charca lateral, sistemáticamente, durante todo el año (valor máximo = 29.2 mg/L; valor mínimo = 2.3 mg/L).

La variación temporal de N-NO_3^- ; N-NO_2^- ; N-NH_4^+ parece relacionada con el ciclo hidrológico anual. En la Figura 7, se ha representado la proporción relativa (%) de cada una de las fracciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) para las seis estaciones de muestreo. Durante el verano, con el descenso del caudal, el aumento de la temperatura y la disminución del oxígeno disuelto, las concentraciones de N-NO_2^- disminuyen, aumentando tanto las de N-NO_3^- como las de N-NH_4^+ .

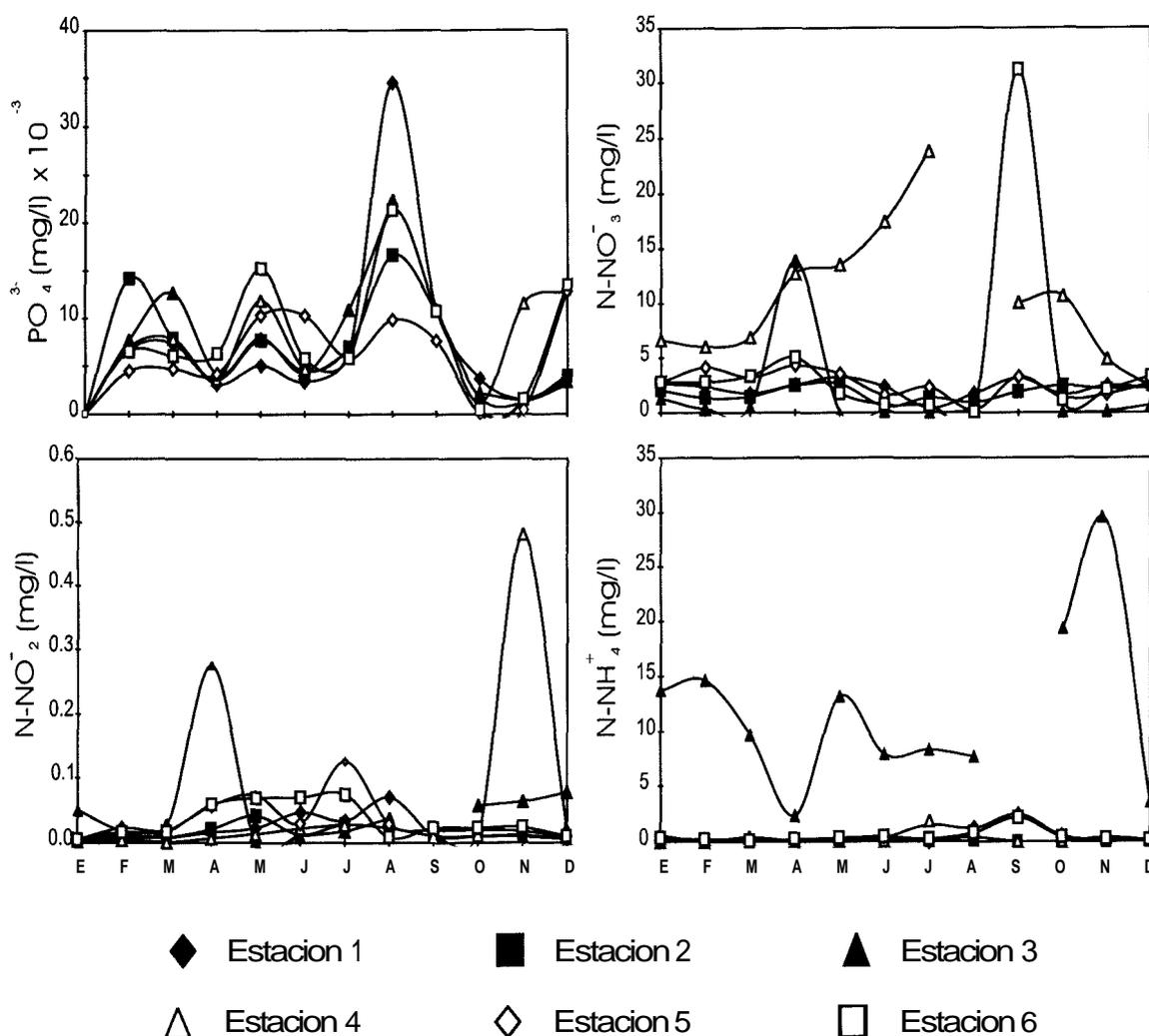


Figura 6. Valores mensuales de nitratos ($\text{mg N-NO}_3^-/\text{L}$), nitritos ($\text{mg N-NO}_2^-/\text{L}$), amonio ($\text{mg N-NH}_4^+/\text{L}$) y fósforo reactivo soluble ($\mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$), medidos en las estaciones de muestreo del Río Chicamo. Monthly values of nitrate ($\text{mg N-NO}_3^-/\text{L}$), nitrite ($\text{mg N-NO}_2^-/\text{L}$), ammonium ($\text{mg N-NH}_4^+/\text{L}$) and RSP ($\mu\text{g P-PO}_4^{3-}/\text{L}$), measured in the sampling sites at Chicamo stream.

Tabla 3. Valores propios de las variables físico-químicas estudiadas, para los cuatro primeros ejes del PCA. Se han omitido los valores menores de 0,250. *Eigen-values of the physico-chemical parameters for the first four axes of PCA. Eigenvalues less than 0.250 have been omitted.*

	EJE I	EJE II	EJE III	EJE IV
Anchura cauce	0,472	0,252		
Caudal	0,429	-0,287		-0,334
Temperatura agua		0,606	-0,385	
Saturación Oxígeno	0,351		-0,417	0,453
Conductividad	-0,361			0,255
pH			0,556	0,460
P-PO4		0,423	0,524	
N-NO3	0,261	-0,332		0,576
N-NH4	-0,449	-0,272		
% Varianza acumulada	29.3	46.4	61.1	71.7

NH_4^+ . De hecho, existen relaciones significativas entre la concentración de N-NO; con la temperatura del agua ($r = 0.48$; $p = 99.9\%$) y con el oxígeno disuelto ($r = -0.41$; $p = 99.9\%$). Este modelo, sin embargo, no se observa ni en la charca lateral ni en la salida del humedal.

En cuanto al PRS, el valor medio para el cauce fue de $7.4 \mu\text{g/L}$ (Tabla 1) y de 7.7 y $7.8 \mu\text{g/L}$ para la charca lateral y para la salida del humedal. Esta uniformidad que se observa en los valores medios para todas las estaciones de muestreo contrasta con la variación temporal significativa, al menos para las estaciones del cauce principal ($p < 0.001$; Tabla 2). El PRS (Fig. 6), experimenta un importante aumento al final del verano (agosto y septiembre) debido, probablemente a la disminución de la lamina de agua y del flujo y al aumento de la descomposición de la vegetación perifítica. Existen relaciones negativas y significativas entre el PRS y el caudal ($r = -0.27$; $p = 95\%$) y el oxígeno disuelto ($r = -0.43$; $p = 99.9\%$).

La relación N:P es siempre muy superior a 16:1, de manera que no debe existir limitación por nitrógeno en el Río Chicamo (Grimm & Fisher, 1986).

Análisis multivariante

Los cuatro primeros ejes del PCA explican el 71.7 % del total de la varianza. En la Tabla 3 se

presentan los eigen-valores para dichos ejes así como la contribución de cada uno de ellos al total de la varianza. El primer eje contrapone las variables relacionadas con la hidrología (anchura de la lamina de agua y caudal) frente a la conductividad y la concentración de amonio. Podría interpretarse como un eje de mineralización. El segundo eje está claramente relacionado con la temperatura del agua, indicando el efecto de la estacionalidad. El tercero, aunque está definido por varios parámetros, la saturación de oxígeno que se opone al pH y a la concentración de PRS, son los más importantes, quizás mostrando aspectos metabólicos del sistema. Por último, el cuarto eje está definido sobretudo por la concentración de nitratos.

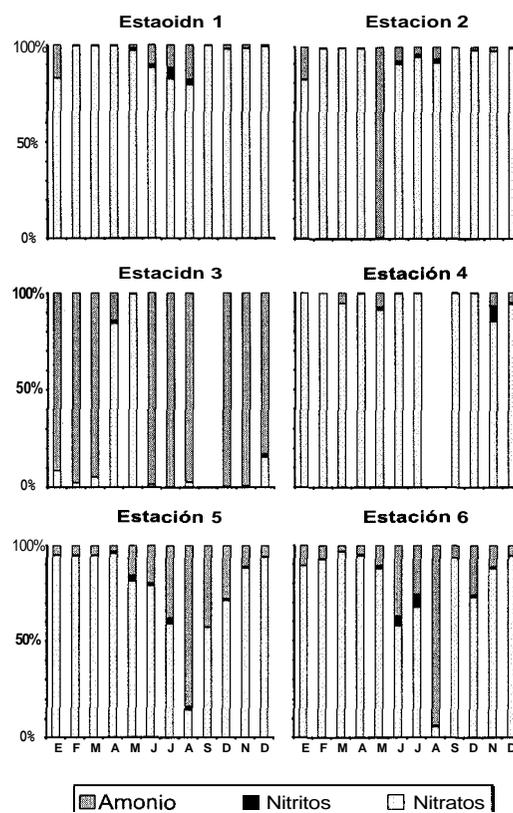


Figura 7. Proporción relativa (%) de cada una de las fracciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) medidas en las estaciones de muestreo del Río Chicamo durante el periodo de estudio. *Relative proportion (%) of each one fraction of DIN measured in the sampling sites at Chicamo stream during the study period.*

En la figura 8 se presenta la posición de las muestras en el plano definido por los dos primeros ejes del PCA. La secuencia temporal que sigue cada una de las estaciones de muestreo permite observar una clara separación entre las estaciones 1 y 2 con respecto a la 5 y 6. Parece existir un importante efecto temporal que segrega las estaciones del cauce situadas al final del tramo, donde el impacto de la "sequía" es mayor, frente a las situadas al inicio del mismo, donde se produce la "descarga" de agua subterránea.

Con el fin de poder establecer una secuencia temporal de fases o periodos dentro del ciclo hi-

drologico anual para los dos extremos del cauce, se aplicó un análisis de clasificación "cluster" sobre las coordenadas de los tres primeros ejes del PCA. En la figura 9, se muestra el dendrograma resultante, en el que es fácil diferenciar tres fases distintas. La primera se podría denominar "fase seca" que incluye a los meses desde mayo a septiembre para las estaciones 5 y 6 y desde junio a septiembre para las estaciones 1 y 2. Parece existir un retardo en el proceso de sequía entre el principio y el final del tramo. Una segunda fase que podría denominarse "intermedia", incluye de forma indistinta a las cuatro estaciones de mues-

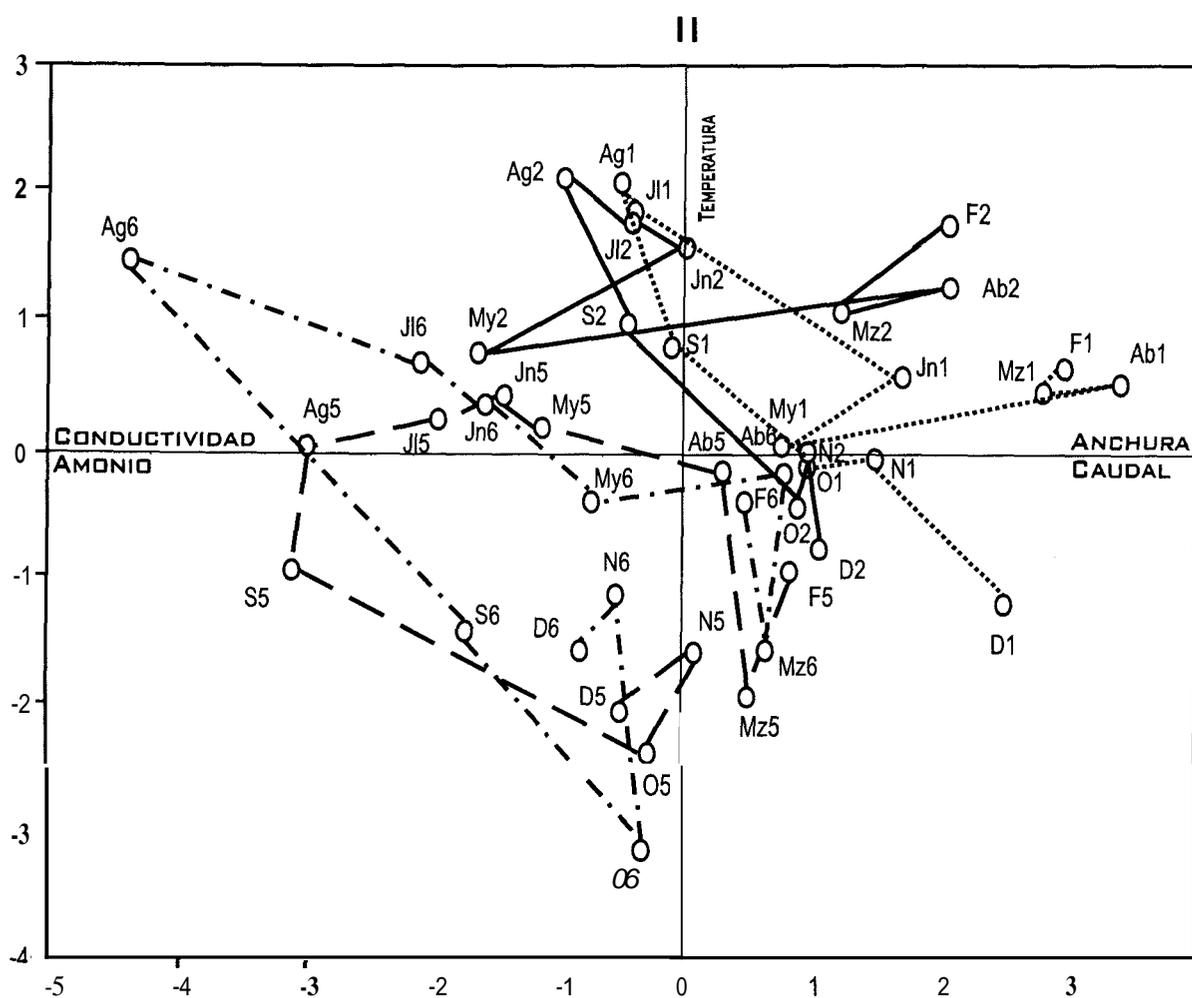


Figura 8. Proyección de las muestras y de los parámetros físico-químicos medidos, en el plano definido por los dos primeros ejes del análisis de componentes principales (PCA). *Samples and physico-chemical variables scores on the first two components of PCA.*

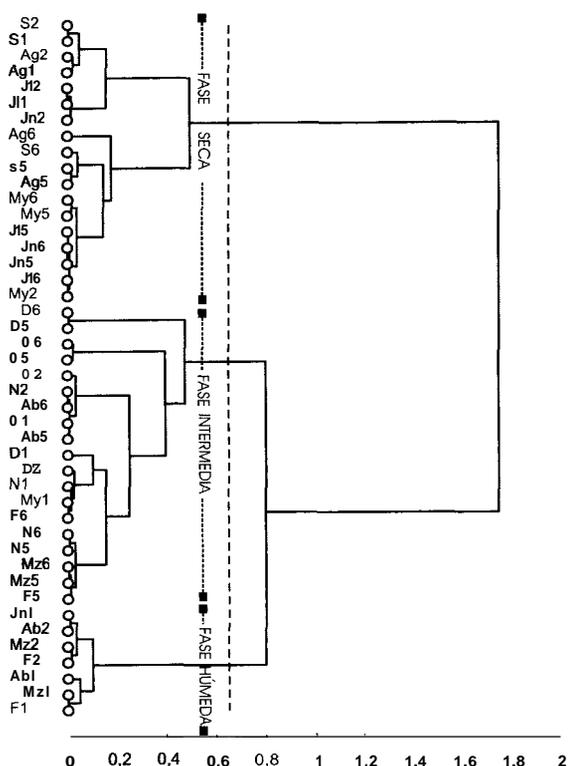


Figura 9. Dendrograma del análisis de clasificación realizado sobre las coordenadas de los tres primeros ejes del PCA. *Dendrogram of the classification analysis with scores of the first three components of PCA.*

treo, en los meses de primavera y de otoño, es decir en los periodos del ciclo hidrológico donde se producen las lluvias. Finalmente una tercera fase que incluye únicamente a las estaciones de muestreo del inicio del tramo (1 y 2) en los meses del invierno y principio de la primavera donde se detectan los valores de caudal más altos, se podría denominar “fase húmeda”.

DISCUSIÓN

Cada vez es más evidente el cambio conceptual que ha sufrido la ecología de ríos que, en tan solo una década ha pasado de estudiar las variaciones y procesos hidrológicos y ecológicos en el marco del “río como un continuo” (Vannote *et al.*, 1980), a reconocer la extraordinaria heterogenei-

dad espacial y temporal de estos sistemas (Pringle *et al.*, 1988). Esta situación se complica si cabe aún más, cuando se trata de analizar los procesos que ocurren en ríos de ambientes áridos y semihúmedos. Muchos estudios ponen de manifiesto la diversidad de hábitats que existen en estos sistemas (Jones *et al.*, 1995; Stanley *et al.*, 1997; Fisher *et al.*, 1998b), y las interrelaciones existentes entre los subsistemas que componen el ecosistema fluvial (Fisher *et al.*, 1998a). Así por ejemplo, las interconexiones que se establecen entre el compartimento hiporreico y el superficial dependen, entre otras, de las propias características de la zona hiporreica (Brunke & Gonser, 1997), la cual resulta imprescindible para explicar muchos procesos ecológicos.

La dinámica hidrológica superficial que se observa en el Río Chicamo es compleja. Especialmente la presencia de rezumes laterales y la gran cantidad de pequeñas fracturas que se observan en el sustrato de margas del lecho, podría explicar las zonas de surgencias y de infiltración (Fig. 2). Los materiales margosos siempre se han interpretado como “impermeables”, pero la gran cantidad de pequeñas fracturas que se observan en el cauce del Río Chicamo podrían explicar este comportamiento hidrológico.

A lo largo del ciclo hidrológico, apenas se observa relación entre la curva de variación de las precipitaciones (Fig. 3) y el modelo hidrológico observado (Fig. 2). Gordon *et al.* (1992) explican cómo los ríos intermitentes que reciben agua sólo en determinadas épocas del año, pueden actuar como ríos de descarga o de recarga dependiendo de la estación del año. En la cuenca del Chicamo muchas lluvias locales, a veces de gran intensidad, que no son recogidas en los observatorios de la red termoplumiométrica podrían explicar, en parte, estos comportamientos hidrológicos.

Una de las singularidades de los ríos de las regiones áridas es su tendencia a ser salinos. La salinidad de las aguas del Río Chicamo tiene su origen en las margas miocénicas que cubren buena parte de la Cuenca del Río Chicamo (Aguilar & Gallardo, 1989) que aportan sulfatos a las aguas de escorrentía. Sin embargo, el carácter

clorurado-sódico dominante de las aguas del Río Chicamo debe tener su origen en otros procesos diferentes.

La variación de los valores de salinidad en el tramo de cauce estudiado podría estar relacionada, en primer lugar, con la hidrología del río. De hecho existe una relación opuesta y significativa entre la salinidad y el caudal ($r = -0.35$, $p = 99.9\%$). Además, la entrada puntual de agua subterránea, más dulce o bien más salada, también podría explicar estas variaciones a nivel espacial, como lo demuestra Gómez (1995), para pequeños humedales de la Cuenca del Chicamo e, igualmente, los procesos de evaporación-cristalización-redisolución, podrían ser responsables de las variaciones temporales observadas (Kilham, 1990). En ambientes áridos, sometidos a una intensa evaporación, como es el caso del Río Chicamo, los cloruros, de elevada solubilidad, aumentan su concentración al hacerlos la evaporación, pero no llegan a producirse fenómenos de precipitación como ocurre con los carbonatos o los sulfatos con productos de solubilidad menores.

El proceso secuencial de precipitación salina es complejo (Martino, 1988), así los minerales de calcio son los primeros en precipitar (calcita: CaCO_3 y dolomita: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Al incrementarse la concentración salina al hacerlos la evaporación, el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y la anhidrita

(CaSO_4), de solubilidad relativamente baja, precipitan también (Borchert, 1965), de manera que el sulfato restante se asocia al magnesio y al sodio para formar epsomita ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), que no es lavada por las lluvias, y se acumula en el suelo. Al deshidratarse forma un polvo blanquecino (Pizarro, 1985) visible durante primavera y sobre todo en verano en el Río Chicamo.

Otra singularidad del Río Chicamo se refiere a las altas concentraciones de N-NO_3^- ; detectadas (más de 2 mg/L, como media). Aunque generalmente se atribuyen a influencias antrópicas agrícolas y ganaderas (Peterjohn & Correll, 1984; Lowrance *et al.*, 1985; Hill, 1988), en áreas margosas y ricas en evaporitas, como ocurre en esta cuenca, es esencial el papel de los nitratos sedimentarios que caracterizan a los depósitos evaporíticos (Gonzalez-Bernaldez, 1989). La importancia de la nitrofilia en áreas margosas y ricas en evaporitas, observada por muchos botánicos, explicaría la doble especialización (halofílica y nitrofilica) de algunas especies de helofitos típicos de estos sistemas (Gómez, 1995).

La dominancia de una u otra forma de nitrógeno inorgánico (N-NO_3^- ; N-NO_2^- ; N-NH_4^+) en las aguas del Río Chicamo, dependerá del estado de oxidación-reducción que prevalezca en cada momento, pero no solo en el agua superficial sino también en los sedimentos (DAHM, *et al.*, 1998).

Tabla 4. Valores medios, máximos, mínimos y desviación estándar de los principales parámetros físico-químicos que caracterizan las distintas fases hidrológicas definidas para el Río Chicamo. *Mean, maximum, minimum values and standard deviation of the main physico-chemical characteristics of each phase of flow in the Chicamo stream.*

	(abajo)															
	N = 7				N = 11				FASE HUMEDA				FASE INTERMEDIA			
	media	Max	Min	SD	media	Max	Min	SD	media	Max	Min	SD	media	Max	Min	SD
Anchura lamina agua (m)	80	93	66	09	3,5	8,9	2,3	1,9	16,3	22,5	10,0	5,7	8,5	20,4	3,1	6,7
Caudal (l/s)	0,8	14	0,0	05	1,1	4,8	0,0	1,3	6,3	13,1	1,2	4,6	4,2	15,9	1,0	3,4
Temperatura Agua (°C)	25,3	29,5	19,0	4,1	21,9	26,0	18,0	2,9	20,0	26,0	16,0	4,2	15,8	24,0	8,0	4,6
Satur. Oxig. (%)	126,5	155,1	101,7	19,2	119,5	140,7	92,0	12,7	153,0	181,0	129,3	17,5	127,2	153,5	105,7	14,8
Conduct. (25°C)(mS/cm)	12,3	16,0	8,0	2,7	14,9	19,2	12,1	2,9	11,5	12,3	10,7	0,6	12,6	14,6	10,9	1,0
pH	7,9	8,0	7,7	0,1	7,8	8,0	7,6	0,1	7,7	7,8	7,6	0,1	7,7	8,3	7,0	0,5
PRS (µg P-PO4/L)	129	34,5	4,4	10,3	9,4	21,3	3,3	5,1	6,5	14,1	3,1	3,9	4,4	13,5	0,0	3,8
Nitratos (mgN-NO3/L)	1,4	3,2	0,4	0,9	4,0	31,2	0,0	9,1	2,0	25	1,3	0,5	2,7	5,1	1,2	10
Amonio (mg N-NH4/L)	0,1	0,4	0,0	0,1	2,1	132	0,3	3,8	0,0	0,3	0,0	0,1	0,2	0,5	0,0	0,1

Los valores más elevados de N-NO₃⁻ siempre se detectan en la salida del humedal, debido a la existencia de una fuente al final del mismo (Gómez, 1995). Por el contrario, en la charca lateral siempre se detectan los valores más altos de amonio, debido probablemente a la presión del ganado ovino que soporta.

En el cauce principal, la compleja dinámica hidrológica del Río Chicamo, en relación al efecto de “fuente” o “sumidero” de agua superficial, podría explicar las variaciones en las concentraciones de nitratos y sobre todo amonio al menos, entre los transectos 1 y 3. Así, en la primera zona de surgencia se midieron valores medios de N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺ más elevados (0.02 y 0.12 mg/L, respectivamente) que los detectados en el área de infiltración (0.016 y 0.03 mg/L, respectivamente). Valet, *et al.* (1994) encuentran valores más altos de nitratos en zonas de cauce de “upwelling” (áreas de surgencia) en un río del desierto de Arizona (Sycamore Creek) limitado por el nitrógeno, al igual que Maltchick (1994) en un arroyo temporal de Córdoba (Arroyo de la Montesina). Las descargas de agua subterránea, o que han discurrido por las capas aluviales hiporreicas de los cauces, son especialmente ricas en N-NO₃⁻. Sin embargo, no siempre ocurre esto. En los estudios antes mencionados, el sustrato del cauce estaba constituido por materiales de textura gruesa (gravas y arenas) en los que los espacios intersticiales permiten la oxigenación, favoreciendo, entre otros, la nitrificación (N-NH₄⁺ → N-NO₃⁻) (Holmes *et al.*, 1994), sin embargo, en sustrato arcillo-limosos, como es el del Río Chicamo, los espacios intersticiales son muy escasos dada la facilidad de compactación de estos materiales. En consecuencia hay un déficit de oxígeno y los procesos hidroquímicos se realizan en condiciones anaeróbicas, al igual que, por ejemplo, la reducción de N-NO₃⁻ a N-NH₄⁺ (Triska *et al.*, 1993; Pinay *et al.*, 1994; Brunke & Gonser, 1997).

Finalmente, la interpretación de los análisis de ordenación y clasificación realizados sobre la matriz de datos físico-químicos permite identificar, al menos, tres fases hidrológicas (Fig. 9) caracterizadas por la variación de algunas variables físico-químicas. En la Tabla 4 se ha calculado,

para cada una de ellas los valores medios, máximo, mínimo y la desviación estándar de los parámetros físicos y químicos más significativos. Durante la fase seca se produce un efecto de “contracción” del sistema (Stanley *et al.*, 1997), de manera que en ella se miden los valores mínimos de anchura de la lamina de agua, de caudales (0.8 y 1.1 L/s) y de saturación de oxígeno (119.5 %), al contrario que para la temperatura, la conductividad y las concentraciones de PRS y de N-NH₄⁺, para los que se detectan los valores más altos (25.3°C; 14.9 mS/cm; 12.9 µg/L; 2.08 mg/L, respectivamente) puesto que esta fase coincide con la época de verano, en la que los procesos de descomposición de la materia orgánica son muy activos, junto a un efecto de concentración por la disminución del caudal.

Durante la fase húmeda se detecta la mayor cobertura de la lamina de agua (16.3 m), los valores máximos de caudal (6.3 L/s) y de saturación de oxígeno (153 %) y los mínimos de N-NH₄⁺ (0.04 mg/L). Se trata de una fase “expansiva”, según Stanley *et al.* (1997) y progresiva, que implica un proceso de uniformización y homogeneización de las condiciones ambientales (Gómez *et al.*, 1995). Esta fase solo se detecta en las estaciones del inicio del tramo (1 y 2), probablemente porque desde este punto se restituyen las condiciones hídricas de todo el tramo tras las lluvias. Por último, la fase intermedia que incluye las épocas del ciclo hidrológico de mayor inestabilidad (otoño y primavera), se caracteriza por los valores también intermedios para casi todos los parámetros analizados.

Las tres fases definidas corresponden al año de muestreo (1994) pero la variabilidad del régimen de precipitaciones en el área de estudio, permite suponer que tanto la duración de cada una de las fases como la intensidad de los parámetros analizados, en términos de concentración, varían considerablemente a una escala interanual.

Es necesario seguir trabajando sobre los aspectos relacionados con los procesos ecológicos que caracterizan los nos más áridos. Aun cuando las previsiones de cambio climático hacia la acentuación de las condiciones ambientales de aridez, no sean estrictamente ciertas, si lo es el que estamos

asistiendo a la extracción exhaustiva de agua tanto superficial como subterránea en todo tipo de ecosistema acuático. En consecuencia, la intermitencia y la temporalidad de nuestros ríos será previsiblemente mayor cada día y también la necesidad de conocer su funcionamiento.

AGRADECIMIENTOS

El grupo de investigadores que recogía las muestras era más amplio que el número de autores de este trabajo: agradecemos la colaboración de Josefa Velasco, Andrés Millán; Cristina Guerrero, Bernardo Martínez, y Alberto Perán. Igualmente agradecemos las indicaciones de dos correctores anónimos que nos animaron a rehacer e incorporar más información a este trabajo. Los datos termopluviométricos han sido proporcionados por el Instituto Meteorológico del Sureste (Ministerio de Medio Ambiente). Los resultados de este estudio han sido financiados por el Proyecto PB96-1113 de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, J. y J. GALLARDO. 1989. Tipologías y variación de tipos de suelos en zonas áridas. En: *Zonas áridas en España*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ed.): 287-305. Madrid.
- A.P.H.A. 1985. *Standard methods for the examination of water and waste water*. 16th ed. Amer. Public Health Assoc., Inc. Washington.
- BORCHERT, H. 1965. Principles of oceanic salt deposition and metamorphism. In: *Chemical Oceanography* 11. J.P. Riley & G. Skirrow (eds.): 205-276. Academic Press. N.Y.
- BOULTON, A.J. & P.J. SUTER. 1986. Ecology of temporary stream. An Australian perspective. In: *Limnology in Australia*. Decker, P. & W. D. Williams (eds.): 313-327. CSIRO/Dr. Junk. Melbourne.
- BOULTON, A.J. & P.S. LAKE. 1990. The ecology of two intermittent streams in Victoria, Australia. I. Multivariate analyses of physicochemical features. *Freshwat. Biol.*, 24: 123-141.
- BRUNKE, M. & T. GONSER. 1997. The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwat. Biol.*, 37: 1-33.
- CARRASCO, F., I. GAVILÁN & P. RODRÍGUEZ. 1993. Evolución química en un año húmedo del agua de la Laguna de Fuente de Piedra (Prov. De Málaga). *Actas VI Congr. Esp. Limnol.*: 69-74.
- COMIN, E.A. & W.D. WILLIAMS. 1994. Parched continents: Our common future?. In: *Limnology now: A paradigm of Planetary Problems*. Margalef, R. (ed.): 473-527. Elsevier Sc. B.V.
- DAHM, C.N., N.B. GRIMM, P. MARMONIER, H.M. VALETT & P. VERVIER. 1998. Nutrient dynamics at the interface between surface waters and groundwaters. *Freshwat. Biol.* 40: 427-451.
- DODDS, W.K., J.M. BLAIR, G.N. HENEBRY, J.K. KOELLIKER, R. RAMUNDO & C.M. TATE. 1996. Nitrogen transport from tallgrass prairie watersheds. *J. Environ. Qual.*, 25: 973-981.
- FAHMY, T. 1999. XLSTAT. Version 4.0.
- FISHER, S.G. & W.L. MINKLEY. 1978. Chemical characteristics of a desert stream in flash flood. *J. Arid Environm.*, 1: 25-33.
- FISHER, S.G., L.J. GRAY, N.B. GRIMM & D.E. BUSCH. 1982. Temporal succession in a desert stream ecosystem following flash flooding. *Ecol. Mong.*, 52: 93-110.
- FISHER, S.G., N.B. GRIMM, E. MARTI, R.M. HOLMES & J.B. JONES, Jr. 1998a. Material spiraling in stream corridors: A telescoping ecosystem model. *Ecosystems*, 1: 19-34.
- FISHER, S.G., N.B. GRIMM, E. MARTI & R. GOMEZ 1998b. Hierarchy spatial configuration, and nutrient cycling in a desert stream. *Austral. J. Ecol.*, 23: 41-52.
- GOLTERMAN, H.L., R.S. CLYMO & M.A.M. OHNSTAD. 1978. *Methods for physical and chemical analysis of freshwaters*. IPB Handbook nº 8. Blackwell Sc. Publ. Oxford.
- GOMEZ, R. 1995. *Función de los humedales en la dinámica de nutrientes (N y P) de una cuenca de características áridas: Experiencias en el sureste ibérico*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. 300 pp.
- GOMEZ, R., R. VIDAL-ABARCA, M.L. SUAREZ & S.G. FISHER. 1995. The spatial and temporal scale problem in arid zones wetlands management. In: *Bases ecológicas para la restauración de humedales en la cuenca mediterránea*. C. Montes, G. Oliver, F. Molina & J. Cobos (eds.): 95-105. Junta de Andalucía. Sevilla.

- GONZALEZ-BERNALDEZ, F. 1989. Ecosistemas áridos y endorreicos españoles. En: *Zonas áridas en España*. Real Academia de Ciencias Exáctas, Físicas y Naturales (ed.): 223-238. Madrid.
- GORDON, N.B., T.A. McMAHON & B.L. FINLAYSON. 1992. *Stream Hydrology. An introduction for ecologists*. Wiley. Chichester.
- GRIMM, N.B. & S.G. FISHER. 1986. Nitrogen limitation in a Sonoran desert stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 5: 2-15.
- HILL, B.H. 1988. Factors influencing nitrate depletion in a rural stream. *Hydrobiologia*, 160: 111-122.
- HOLMES, R.M., S.G. FISHER & N.B. GRIMM. 1994. Parafluvial nitrogen dynamics in a desert stream ecosystem. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 13: 468-478.
- JONES, J.B., S.G. FISHER & N.B. GRIMM. 1995. Vertical hydrologic exchange and ecosystem metabolism in a Sonoran desert stream. *Ecology*, 76: 942-952.
- KILHAM, P. 1990. Mechanisms controlling the chemical composition of lakes and rivers: Data from Africa. *Limnol. Oceanogr.*, 35: 80-83.
- LOWRANCE, R., R. LEONARD & L. ASMUSSEN. 1985. Nutrient budgets for agricultural watersheds in the southeastern coastal plain. *Ecology*, 66(1): 287-296.
- MACKERETH, F.J.H., J. HERON & J.F. TALLING. 1978. Water Analyses. Some methods for limnologists. *Freshwat. Biol. Asoc. Sc. Publ.*, nº 36. Cumbria.
- MALTCHIK, L. 1994. *Dinámica de nutrientes en un arroyo temporal mediterráneo (SW, Córdoba)*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 210 pp.
- MALTCHIK, L., & S. MOLLA. 1994. Nutrient dynamics in hyporheic zone in a mediterranean stream in Sierra Morena (SW Spain). *Verh. Internat. Verein Limnol.*, 25: 2434-2437.
- MALTCHIK, L., S. MOLLA, C. CASADO & C. MONTES. 1994. Measurement of nutrient spiraling in a mediterranean stream: Comparison of two extremes hydrologic phases. *Arch. Hydrobiol.*, 130: 215-227.
- MALTCHIK, L., S. MOLLA & C. CASADO. 1998. Spatio-temporal heterogeneity of nutrients in a mediterranean stream. (Montesina stream, SW, Spain). *Verh. Internat. Verein Limnol.*, 26: 1062-1065.
- MARTI, E. & F. SABATER. 1996. High variability in temporal and spatial nutrient retention in mediterranean streams. *Ecology*, 77: 854-869.
- MARTINEZ, B., J. VELASCO, M.L. SUAREZ & M.R. VIDAL-ABARCA. 1998. Benthic organic matter dynamics in an intermittent stream in south-east Spain. *Arch. Hydrobiol.*, 141: 303-320.
- MARTINO, P. 1988. *Limnología de las lagunas salinas españolas*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 264 pp.
- MARGALEF, R. 1977. *Ecología*. Omega.
- MATTHEWS, W.J. 1988. North American prairie streams as systems for ecological study? *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 7: 387-409.
- MOLLA, S., L. MALTCHIK & C. CASADO. 1994. Primeros datos sobre el metabolismo de un arroyo temporal mediterráneo de Sierra Morena (Córdoba). *Limnetica*, 10: 59-67.
- MONTES, C. & P. MARTINO. 1987. Las lagunas salinas españolas. En: *Bases científicas para la protección de los humedales en España*. Real Academia de Ciencias Exáctas, Físicas y Naturales (ed.): 95-145. Madrid.
- MORENO, J.L., M.L. SUAREZ & M.R. VIDAL-ABARCA. 1995. Hidroquímica de las ramblas litorales de la Región de Murcia: Variaciones espacio-temporales. *Limnetica*, 11 (1): 1-13.
- ORTEGA, M., M.R. VIDAL-ABARCA, M.L. SUAREZ, J.L. GONZALEZ-BESERAN & L. RAMIREZ-DIAZ. 1988. Características físico-químicas de las aguas superficiales de la Rambla del Moro después de una riada (Cuenca del Río Segura, SE de España). *Limnetica*, 4: 19-26.
- PETERJOHN, W.T. & D.L. CORRELL. 1984. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: Observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 65: 1466-1475.
- PINAY, G., N.E. HAYCOCK, C. RUFFINONI & R.H. HOLMES. 1994. The role of denitrification in nitrogen removal in river corridors. In: *Global Wetlands: Old and New World*. W. J. Mitsch (ed) : 107-116. Elsevier. Amsterdam.
- PIZARRO, F. 1985. *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. 2nd. Ed. Ed. Agrícola Española. S.A. Madrid.
- PRINGLE, C.M., R.J. NAIMAN, G. BRETSCCHKO, J.R. KARR, M.W. OSWOOD, R.J. WEBSTER, R.L. WELCOMM & M.J. WINTERBOURN. 1988. Patch dynamics in lotic systems: The stream as a mosaic. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 7: 503-524.
- SABATER, F. & J. ARMENGOL. 1986. Chemical characterization of the Ter River. *Limnetica*, 2: 75-84.
- SABATER, F., J. ARMENGOL & S. SABATER. 1991. Physical and chemical disturbance associated

- with spatial and temporal variation in a mediterranean river. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 10: 2-13.
- SABATER, S., H. GUASCH, E. MARTI, J. ARMEN-GOL, M. VILA & F. SABATER. 1992. The Ter, a mediterranean river system in Spain. In: *Limnology in Spain*. C. Montes, C. Duarte & J. Garcia-Aviles (eds.): 141-150. Asociaci6n Espa~ola de Limnologia. Granada.
- STANLEY, E.H. & S.G. FISHER. 1992. Intermittency, disturbance, and stability in stream ecosystem. In: *Aquatic ecosystems in semi-arid regions: implications for resource management*. R.D. Robarts & B.L. Bothwell (eds.): 234-249. N.H.R.I. Symposium Sr.7. Environment Canada. Saskatoon Canada.
- STANLEY, E.H. & A.J. BOULTON. 1995. Hyporheic processes during flooding and drying in a Sonoran desert stream. I. Hydrologic and chemical dynamics. *Arch. Hydrobiol.*, 134: 1-26.
- STANLEY, E.H., S.G. FISHER & N.B. GRIMM. 1997. Ecosystem expansion and contraction in stream. *BioScience*, 47: 427-435.
- TRISKA, F.J., J.H. DUFF & R.J. AVANZINO. 1993. The role of water exchange between a stream channel and its hyporheic zone in nitrogen cycling at the terrestrial-aquatic interface. *Hydrobiologia*, 251: 167-184.
- VALETT. H.M., S.G. FISHER & E.H. STANLEY. 1990. Physical and chemical characteristics of hyporheic zone of a Sonoran Desert stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 9:201-215.
- VALETT. H.M., S.G. FISHER, N.B. GRIMM & P. CAMILL. 1994. Vertical hydrologic exchange and ecological stability of a Sonoran Desert stream. *Ecology*, 75: 548-560.
- VANNOTE, R.L., G.W. MINSHALL, K.W. CUMMINS, J.R. SEDELL & C.E. CUSHING. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 130-137.
- VIDAL-ABARCA, M.R. 1985. *Las aguas superficiales de la Cuenca del Río Segura (SE de España). Caracterizaci6n físico-química en relaci6n al medio físico y humano*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. 789 pp.
- VIDAL-ABARCA, M.R., C. MONTES, M.L. SUAREZ & L. RAMIREZ-DIAZ. 1987. El clima de la Cuenca del Río Segura (SE de España). Factores que lo controlan. *Anales de Biología*, 12: 11-28.
- WETZEL, R.G. & G.E. LIKENS. 1991. *Limnological analyses*. Springer Verlag. Berlin.
- WINKLER, L.W. 1888. Die bestimmung des im wasser gelodten sauerstoffs. *Ver. Dtsch. Chem. Ges.* 21: 2843-2954.
- ZALE, A.V., D.M. LESLIE, W.L. FISHER & S.G. MERRIFIELD. 1989. The physicochemistry, flora and fauna of intermittent prairie streams. A review of the literature. U.S. *Fish and Wildlife Service*. Biological report, 89 (5).