

# El estado ecológico de las pequeñas cuencas de cabecera en las serranías béticas húmedas (parque natural Los Alcornocales, sur de España) según la Directiva Marco del Agua: ¿su aplicación garantiza la conservación?

A. Ruiz–García & M. Ferreras–Romero

Ruiz–García, A. & Ferreras–Romero, M., 2015. El estado ecológico de las pequeñas cuencas de cabecera en las serranías béticas húmedas (parque natural Los Alcornocales, sur de España) según la Directiva Marco del Agua: ¿su aplicación garantiza la conservación? *Animal Biodiversity and Conservation*, 38.1: 59–69, Doi: <https://doi.org/10.32800/abc.2015.38.0059>

## Abstract

*Ecological status of headwaters in the wet Betic Mountains (Los Alcornocales Natural Park, southernmost Spain) according to the WFD: does the application of this Directive ensure conservation?*— In compliance with the European Water Framework Directive, member states have had to develop a method to assess the quality of aquatic ecosystems by comparing the current situation regarding near–natural reference conditions for each river type. In 2008, the Spanish Ministry of Environment approved the Order of Water Planning Statement. This statement sets out reference conditions and ecological status class change limits for the different types of rivers in Spain for which sufficient data are available. In the present study, we established reference conditions and quality class thresholds for streams classified as wet Betic mountain rivers from 24 reaches of streams located in Los Alcornocales Natural Park, using two qualitative indices based on macroinvertebrates (IBMWP and IMMi–L). The results for the IBMWP index indicate that from the standpoint of management of the ecological state, the watercourses studied show more affinity with the types of the Spanish Atlantic siliceous slope than with those of the Mediterranean siliceous slope when we consider EQR values. Considering the threshold values, the index resembles siliceous low Mediterranean mountain rivers (type 8). However, the EQR values do not match those calculated in this study. These results suggest that it is necessary to use an index adapted to the characteristics of these watercourses. Application of the quality criteria contained in the Guadalete–Barbate and Mediterranean–Andalusian Basin Plans to the management of these waterways is discussed, because it is unlikely that they ensure the maintenance of good ecological status. We thus propose a new calibration of the IBMWP index that ensures the maintenance of good environmental status of watercourses in this natural area, and the use of the IMMi–L index as an effective management tool. However, as our study area represents only a part of the wet headwaters in the southern Iberian peninsula, analysis of other basin types is necessary to complete such information.

Key words: WFD, Reference values, Quality class boundaries, IBMWP, IMMi–L, Wet–Betic Mountains

## Resumen

*El estado ecológico de las pequeñas cuencas de cabecera en las serranías béticas húmedas (parque natural Los Alcornocales, sur de España) según la Directiva Marco del Agua: ¿su aplicación garantiza la conservación?*— El cumplimiento de la Directiva Marco del Agua (DMA) de la Unión Europea (UE) ha obligado a los Estados miembros a elaborar una metodología para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos a partir de la comparación de la situación actual respecto a unas condiciones de referencia casi naturales para cada tipo de río. El Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino aprobó en 2008 la instrucción de planificación hidrológica donde se recogen las condiciones de referencia y los límites de cambio de clase del estado ecológico de los distintos tipos de ríos españoles de los que se dispone de datos suficientes. En el presente estudio se establecen las condiciones de referencia y los umbrales de las clases de calidad para los cursos catalogados como ríos de serranías béticas húmedas, a partir de 24 tramos incluidos en el parque natural Los Alcornocales, mediante el empleo de dos índices de calidad basados en macroinvertebrados (IBMWP e IMMi–L). Los resultados obtenidos para el índice IBMWP indican que, desde el punto de vista de la gestión del estado ecológico, los cursos de agua estudiados muestran más afinidad con los tipos silíceos

de la vertiente atlántica española que con los tipos silíceos mediterráneos cuando comparamos sus valores EQR (*ecological quality ratio*). Si tenemos en cuenta los umbrales, el índice se asemeja al de los ríos de baja montaña mediterránea silícea (tipo 8). Sin embargo, los valores EQR no coinciden con los calculados en este estudio. Estos resultados parecen indicar que es necesario utilizar un índice adaptado a las características de estos cursos de agua. Si se aplican a la gestión de estos cursos de agua los criterios de calidad recogidos en los planes de las cuencas Guadalete-Barbate y Mediterránea Andaluza, el mantenimiento de su buen estado ecológico probablemente no estaría asegurado. Por este motivo, se propone volver a calibrar el índice IBMWP para que asegure el mantenimiento del buen estado ecológico de los cursos de agua de este espacio natural, así como utilizar el índice IMMi-L como un instrumento eficaz de gestión. No obstante, nuestra área de estudio solo representa uno de los tipos de cabeceras húmedas existentes en el sur de la península. Sería necesario estudiar el resto de los tipos de cuencas para tener la información completa.

Palabras clave: DMA, Valores de referencia, Clases de calidad, IBMWP, IMMi-L, Serranías béticas húmedas

*Received: 8 V 14; Conditional acceptance: 3 VII 14; Final acceptance: 3 III 15*

*Antonio Ruiz-García & Manuel Ferreras-Romero, Depto. de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Univ. Pablo de Olavide, A-376 km 1, 41013 Sevilla, España (Spain).*

Corresponding author: Antonio Ruiz-García E-mail: aruigar@upo.es

## Introducción

La Directiva Marco del Agua, DMA (DOCE, 2000) constituye el marco legislativo comunitario en el ámbito de la política del agua. La Directiva supone un enfoque novedoso en el contexto europeo al contemplar la calidad del agua como uno de sus objetivos principales, mediante la obligatoriedad de conseguir el "buen estado ecológico" de los ecosistemas acuáticos de la UE. Este compromiso fue fijado originalmente para el año 2015, prorrogable hasta diciembre de 2027 (BOE, 2007, Real Decreto 907/2007).

Para determinar el buen estado ecológico de las masas de agua, hay que seguir una serie de indicaciones especificadas en los anexos II y V de la Directiva. En el caso de los ríos, para conseguir los objetivos ambientales propuestos en la Directiva, es fundamental definir los diferentes tipos de ríos con características ambientales homogéneas y establecer un sistema de estaciones de referencia lo suficientemente amplio para cada tipo. A partir de los datos anteriores podemos clasificar el estado ecológico de una masa de agua en relación con los valores de referencia del tipo al que pertenece (EQR) en cinco categorías (muy bueno, bueno, moderado, deficiente y malo) y cinco colores (azul, verde, amarillo, naranja y rojo) (Ortiz Casas, 2004).

Por otro lado, la DMA permite a los Estados miembros utilizar o elaborar sus propios métodos para calcular el estado ecológico, lo que puede dificultar saber si el "buen estado ecológico" es lo mismo en toda la UE (Friberg et al., 2011). Por este motivo, la Comisión Europea ha promovido un ejercicio de intercalibración para dar homogeneidad a los cortes de calidad usados por los distintos Estados miembros, de forma que los grados de calidad biológica sean parecidos en toda Europa (Munné & Prat, 2009).

De acuerdo con la DMA, la clasificación de los cursos de agua europeos puede llevarse a cabo mediante dos métodos diferentes. Por un lado (Sistema A), la diferenciación de clases tipológicas, que debe realizarse utilizando tres descriptores ambientales: altitud, tamaño y geología de la cuenca. Por otro (Sistema B), la diferenciación, que se basa en la utilización de cinco variables obligatorias (latitud, longitud, altitud, tamaño y características geológicas) y algunas opcionales. En un estudio llevado a cabo por Munné & Prat (2004) sobre varias cuencas mediterráneas, se concluyó que el Sistema B refleja mejor las condiciones ambientales de la península ibérica, ya que toma en consideración variables ambientales clave, como las hidrológicas y climáticas.

En España ha habido algunos intentos de tipificación, como los llevados a cabo por Vidal-Abarca et al. (1990) en la cuenca del Segura, Munné & Prat (1999) en la cuenca del Ebro o la propuesta de caracterización jerárquica de todos los ríos españoles de González del Tánago & García de Jalón (2006). Pero sin lugar a dudas, la mayor tentativa la ha constituido el proyecto GUADALMED (fases primera y segunda), uno de cuyos objetivos fue elaborar una tipología óptima a partir de la cual calcular el estado ecológico de los ríos mediterráneos españoles (Prat,

2004). En una primera fase, se estableció una tipología preliminar, donde se reconoce que el Sistema B muestra una mayor coherencia ecológica con la biología de las comunidades características de cada ecotipo (Bonada et al., 2004), que fue mejorada en una segunda fase con la inclusión de nuevas localidades de referencia y variables ambientales (Sánchez-Montoya et al., 2009).

Según la tipología oficial elaborada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y posteriormente publicada en la instrucción de planificación hidrológica (BOE, 2008, Orden ARM/2656/2008) se establecen dos ecorregiones denominadas Pirineos y Región iberomacaronésica, en las que las masas de agua superficiales de la categoría de los ríos se clasifican en 32 tipos diferentes, y se especifican los objetivos de calidad que tendrá que cumplir cada tipo de río. Los ríos y arroyos de cabecera de la serranía bética occidental parecen constituir una excepción dentro del entorno mediterráneo al que pertenecen debido a su elevada aportación específica media anual (CEDEX, 2005), de tal modo que el organismo encargado de la gestión de la cuenca del Guadalquivir los incluye en un tipo específico: ríos de serranías húmedas (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, 2005) y según la Orden ARM/2656/2008 corresponden al tipo 20 (ríos de serranías béticas húmedas), que incluye, básicamente, las cabeceras de los ríos Guadalete, Barbate, Palmones, Hozgarganta y Genal.

Una vez establecida la tipología, el estado o potencial ecológico de cada tipo de río se clasificará de acuerdo con las cinco categorías antes citadas, en función de determinados elementos de calidad biológicos, hidromorfológicos o fisicoquímicos. Uno de los elementos más utilizados para evaluar el estado ecológico de los ríos es la fauna bentónica de invertebrados, mediante la utilización de índices calibrados específicamente para cada tipo de río. En este estudio se calibran dos índices biológicos cualitativos basados en macroinvertebrados, el IBMWP (*Iberian Biomonitoring Working Party*) y el IMMI-L (*Iberian Mediterranean Multimetric Index*), según las normas marcadas por la DMA, a partir de la riqueza biológica que alberga una serie de localidades de referencia localizadas en el interior del parque natural Los Alcornocales. El principal objetivo es cuestionar la idoneidad de los instrumentos de gestión actuales (índices y umbrales) y proponer un cambio en el valor de referencia y en los umbrales de las clases de calidad. Asimismo, comparamos los resultados obtenidos con los propuestos para los diferentes tipos de ríos de la península ibérica.

## Material y métodos

### Área de estudio

El estudio fue realizado en algunos cursos fluviales del parque natural Los Alcornocales, que es un espacio protegido ubicado en el sistema montañoso más suroccidental de Europa, cerca del estrecho

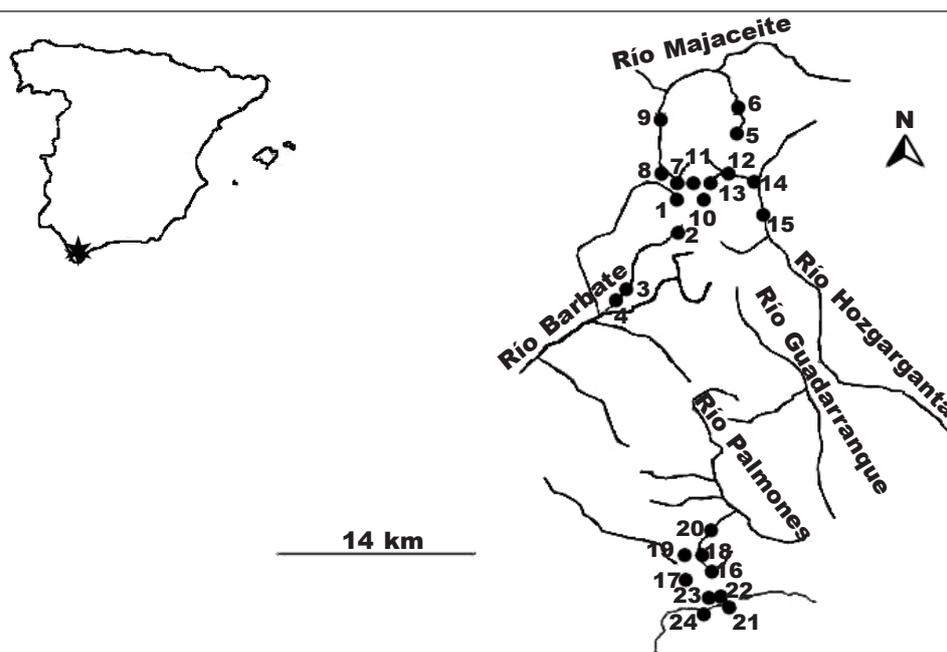


Fig. 1. Localización del área de estudio en la península ibérica, donde se muestra la red hidrográfica que drena el parque natural Los Alcornocales. La denominación de cada localidad muestreada está indicada en la tabla 1.

Fig. 1. Location of the study area in the context of the Iberian peninsula, showing the river system that drains Los Alcornocales Natural Park. The designation of each sampling site is indicated in table 1.

de Gibraltar (fig. 1). Es un sistema de mediana altitud, con cumbres que alcanzan alrededor de 800 m s.n.m. El material litológico predominante son areniscas silíceas (areniscas del Aljibe) con un alto contenido de cemento ferruginoso. La temperatura es la típica del clima mediterráneo, pero atenuada por la influencia del Atlántico y el Mediterráneo. La humedad relativa del aire es elevada, con un valor medio mensual próximo al 75% (Almazán, 1991) y las nieblas persisten incluso en verano, especialmente en los valles altos conocidos localmente como *canutos*, lo que produce un microclima que minimiza la sequía estival. Las lluvias son abundantes, incluso torrenciales, y superan los 1.400 mm anuales (Capel-Molina, 1987). La vegetación está dominada por bosques de alcornoque (*Quercus suber*), bosques de quejigo andaluz (*Quercus canariensis*) en las umbrías y matorral mediterráneo en las cumbres (p. ej. *Erica* sp. y *Cistus* sp.). En los valles altos se ha desarrollado un bosque de ribera único en Europa, compuesto por vegetación relictas del Terciario: *Laurus nobilis*, *Rhododendron ponticum*, *Frangula alnus*, *Ilex aquifolium* y especies poco comunes de helechos como *Psilotum nudum* y *Culcita macrocarpa*, entre otras.

En este espacio natural estos cursos están ocupados por especies de macroinvertebrados de gran interés por su singularidad o su reducida área de dis-

tribución, como lo demuestran los estudios realizados sobre odonatos, tricópteros y coleópteros (Burmeister, 1983; Fery & Fresneda, 1988; Ruiz García, 1994; Agüero-Pelegrín et al., 1998; Castro & Delgado, 1999; González & Ruiz, 2001; Ferreras-Romero & Cano-Villegas, 2004; Ruiz-García et al., 2013).

#### Métodos

Los macroinvertebrados fueron muestreados en 24 localidades correspondientes a cinco cuencas diferentes: Barbate, Guadalete, Hozgarganta, Palmones y Jara (tabla 1). Las localidades seleccionadas fueron muestreadas tres veces: en invierno (10 II–6 III), al inicio de verano (24 VI–8 VII) y en otoño (17 XI–16 XII) de 2003; en cinco localidades de la vertiente norte de la sierra de Ojén la muestra de invierno fue tomada el 9 de marzo de 2004. Para la extracción de la entomofauna se utilizó una red de mano con una abertura de 0,25 x 0,25 m y un tamaño de malla de 250 µm. En primer lugar, se seleccionó un tramo de 100 m en el que se hacía un recorrido inicial para localizar todos los tipos de hábitat presentes, incluida la vegetación de macrófitos acuáticos, e identificar los diferentes microhábitats que debían muestrearse. En cada toma de muestras, gran parte de la extracción de macroinvertebrados fue realizada mediante la agitación del sustrato

Tabla 1. Coordenadas y algunas características de las 24 localidades estudiadas (sistema de referencia: ETRS89; huso: 30S): UTM. Coordenadas UTM; Cf. Cuenca fluvial; Eh. Estado hidrológico (P. Permanente, I. Intermitente, E. Efímero); D. Área de drenaje, en km<sup>2</sup>; A. Altitud; OS. Orden Strahler.

*Table 1. Coordinates and characteristics of the 24 sampling sites (reference system: ETRS89; huso: 30S): UTM. UTM coordinates; Cf. River basin; Eh. Hydrological status (P. Permanente, I. Intermittent, E. Ephemeral); D. Drainage area, in km<sup>2</sup>; A. Altitude; OS. Strahler Order.*

Lugar de muestreo	UTM		Cf	Eh	D	A	OS
	X	Y					
Canuto de Puerto Oscuro (1)	264113	4044674	Barbate	P	2,57	580	1
Canuto del Montero (2)	265470	4041028	Barbate	P	5,38	550	1
Río Rocinejo 1 (3)	262479	4038591	Barbate	I	20,65	100	2
Río Rocinejo 2 (4)	260529	4038041	Barbate	E	26,32	70	2
Canuto Albina de las Flores (5)	271406	4053202	Guadalete	P	3,14	330	1
G <sup>a</sup> Albina de las Flores (6)	271496	4054207	Guadalete	P	23,39	250	2
Canuto del Aljibe (7)	264526	4047071	Guadalete	P	4,72	440	1
Canuto del Caballo (8)	263422	4046834	Guadalete	P	0,72	410	1
G <sup>a</sup> del Caballo (9)	264525	4051431	Guadalete	P	12,49	140	2
Canuto de los Sauces (10)	267405	4044314	Hozgarganta	P	0,23	742	1
Canuto del Moral (11)	266894	4046282	Hozgarganta	P	0,20	800	1
G <sup>a</sup> La Saucedá (12)	268087	4045122	Hozgarganta	P	2,46	590	2
G <sup>a</sup> Pasada Llana (13)	268459	4045811	Hozgarganta	P	3,67	501	2
Diego Duro (14)	274200	4044258	Hozgarganta	P	111,72	165	4
Puente de Las Cañillas (15)	274281	4042984	Hozgarganta	P	115,21	160	4
Canuto del Gandelar (16)	269988	3999640	Palmones	P	1,28	530	1
Canuto Pinito (17)	267004	4001010	Palmones	P	0,17	370	1
G <sup>a</sup> del Gandelar (18)	268311	4002361	Palmones	P	13,45	220	2
G <sup>a</sup> de Cebrillo (19)	267654	4003272	Palmones	I	7,46	200	2
G <sup>a</sup> del Tiradero (20)	267917	4004953	Palmones	P	26,67	180	3
A <sup>o</sup> de los Molinos (21)	269242	3997679	Jara	P	3,15	380	1
A <sup>o</sup> de la Verruga (22)	268213	3997893	Jara	P	1,52	330	1
A <sup>o</sup> del Chivato (23)	267506	3998308	Jara	P	1,52	260	1
G <sup>a</sup> de los Molinos (24)	268111	3997103	Jara	P	8,59	206	2

con los pies (*kicking*). El muestreo terminó cuando dejaron de detectarse nuevos taxones (Alba-Tercedor, 1996). Por último, el material recolectado se fijó en alcohol al 70% para su identificación en el laboratorio a nivel de familia, que es el nivel taxonómico necesario para la aplicación de los índices biológicos empleados.

La DMA establece la necesidad de calcular el estado ecológico de una masa de agua a partir de la desviación de la calidad con respecto a unas condiciones de referencia muy parecidas al estado natural para cada tipo (DOCE, 2000). Para estable-

cer la condición de referencia de las 24 localidades seleccionadas a priori hemos seguido el método propuesto por Sánchez-Montoya et al. (2009) para ríos mediterráneos de la península ibérica. Para calcular la calidad se utilizó el índice IBMWP (Alba-Tercedor et al., 2004), ampliamente utilizado en España, y el índice multimétrico IMM<sub>i</sub>-L, diseñado para los ríos mediterráneos españoles, especialmente para los temporales (Munné & Prat, 2009). El valor de referencia para cada índice se obtuvo calculando la mediana de los 24 valores medios, obtenidos a partir de los valores registrados en los

Tabla 2. Cumplimiento de los criterios de referencia en las 24 localidades seleccionadas, según la metodología propuesta por Sánchez-Montoya et al. (2009): C. Criterios cumplidos; N. Número de localidades.

*Table 2. Compliance with the reference criteria in the 24 selected localities according to the methods proposed by Sánchez-Montoya et al. (2009): C. Achieved criteria; N. Number of locations.*

Grados de alteración	C	N
Tramos no alterados o mínimamente alterados	20	24
Tramos poco alterados	16–19	0
Tramos alterados	≤ 15	0

tres muestreos estacionales efectuados en cada una de las 24 estaciones de referencia seleccionadas. El valor de los umbrales de calidad depende de la dispersión de los valores de referencia y de la relación de cada índice con el gradiente de alteración ambiental. El percentil 25 de los valores utilizados para calcular el valor de referencia se considera un valor representativo de estado poco alterado

con respecto a las condiciones de referencia y se utiliza como umbral entre las clases de calidad muy bueno y bueno (European Commission, 2005; Pollards & Van den Bund, 2005). En el caso del índice multimétrico, hemos supuesto la existencia de una relación lineal entre los valores del índice y el gradiente de alteración ambiental, por lo que el resto de umbrales de calidad se han obtenido dividiendo los valores de referencia por debajo del percentil 25 en bandas iguales. El índice IBMWP no tiene una relación lineal con los gradientes de alteración que se refleje en los intervalos de corte que definen las distintas clases del estado ecológico (Alba-Tercedor et al., 2004). La relación es polinómica y también la han descrito Munné & Prat (2009). Sin embargo, aplicando la metodología del modelo predictivo MEDPACS, Poquet et al. (2009) observaron una relación lineal entre el gradiente de presión y los EQR (valores observados y esperados de IBMWP) en los ríos mediterráneos. A pesar de ello, el Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino español, en la instrucción de planificación aprobada por la Orden Ministerial ARM/2656/2008, asumió que el índice IBMWP tiene una relación lineal con la alteración ambiental. Por ello, la acotación de los umbrales de calidad por debajo de muy bueno y bueno se ha realizado de dos modos diferentes: polinómico y lineal. Cuando consideramos que la relación del índice IBMWP con el gradiente de alteración no es lineal, los umbrales de las clases de calidad se establecieron según Alba-Tercedor et al. (2004). En caso contrario, se siguió el mismo protocolo que para el índice multimétrico.

Tabla 3. Valores medios de los índices IBMWP y IMMi-L calculados a partir de los tres muestreos estacionales: \* Presencia de especies exóticas (*P. clarkii*).

*Table 3. Mean values of IBMWP and IMMi-L indices calculated from three seasonal samplings: \* Presence of exotic species (P. clarkii).*

Localidades	IBMWP	IMMi-L	Localidades	IBMWP	IMMi-L
Canuto de Puerto Oscuro	175,6	19,59	G <sup>a</sup> Pasada Llana	166	20,63
Canuto del Montero	198,3	23,31	Diego Duro	166	19,10
Río Rocinejo 1	137	17,59	Puente de Las Cañillas *	133,3	18,21
Río Rocinejo 2	138	15,75	Canuto del Gandelar	165,6	18,26
Canuto Albina de las Flores	116,6	13,72	Canuto Pinito	173,3	20,59
G <sup>a</sup> Albina de las Flores	137	16,07	G <sup>a</sup> del Gandelar	162	17,45
Canuto del Aljibe	226,3	26,92	G <sup>a</sup> de Cebrillo	172,3	19,38
Canuto del Caballo	222,3	24,44	G <sup>a</sup> del Tiradero	131,3	14,99
G <sup>a</sup> del Caballo *	183,6	24,53	A <sup>o</sup> de los Molinos	162	17,19
Canuto de los Sauces	126,3	18,70	A <sup>o</sup> de la Verruga	168,6	19,45
Canuto del Moral	101,6	14,51	A <sup>o</sup> del Chivato	143,6	15,24
G <sup>a</sup> La Saucedá	166,6	19,59	G <sup>a</sup> de los Molinos	173,6	18,60

## Resultados

Las 24 localidades seleccionadas cumplieron todos los criterios de referencia (tabla 2). Los valores medios obtenidos para los dos índices utilizados en cada una de las localidades estudiadas están recogidos en la tabla 3. Todas las localidades mostraron valores de IBMWP superiores a 100 en todos los muestreos, con la excepción de tres cauces de pequeñas dimensiones en los que en una ocasión (invierno en los tres casos) no se alcanzó este valor. Tampoco se ha detectado la presencia generalizada de especies exóticas, con la excepción de dos localidades donde fue recolectado *Procambarus clarkii*, con escasa abundancia. El alto valor de los índices analizados indica que la presencia del cangrejo rojo no tiene efectos destacables en la fauna de macroinvertebrados de estas localidades.

El análisis estadístico de los valores medios obtenidos para los índices está recogido en la tabla 4. A partir del valor de la mediana y el percentil 25, y siguiendo la metodología indicada en el apartado de métodos, se han calculado los umbrales de las distintas clases de calidad (tabla 5) para ambos índices, expresados en valores de los índices y valores EQR; en el caso del IBMWP, tanto aquellos obtenidos con gradiente polinómico (\*) como lineal.

Los umbrales de las clases de calidad del índice IBMWP fueron más bajos que los del índice IMMi-L debido a la alta dispersión de los valores de referencia. Por otro lado, la variabilidad de los valores EQR de referencia respecto a la mediana fue parecida en ambos índices y su distribución, casi simétrica en el caso del índice IMMi-L (fig. 2).

Al comparar los umbrales de calidad obtenidos en este estudio con los propuestos en otras publicaciones para distintos ríos españoles (tabla 6), apreciamos que los valores EQR de IBMWP\* se corresponden perfectamente con las clases de calidad propuestas para los ríos de cabecera silíceas (Alba-Tercedor et al., 2004) y los pequeños ríos mediterráneos temporales de baja altitud (Munné & Prat, 2009),

Tabla 4. Resumen estadístico obtenido a partir de los valores medios de los índices IBMWP e IMMi-L.

*Table 4. Statistical summary obtained from the average values of the IBMWP and IMMi-L indices.*

Estadístico	IBMWP	IMMi-L
N	24	24
Mínimo	101,6	13,72
Máximo	226,3	26,92
Media	160,28	18,91
Desviación estándar	30,26	3,32
Mediana	165,8	18,65
Percentil 25	137	16,35
Percentil 75	173,52	20,34

excepto para el umbral de calidad entre bueno y muy bueno, cuando consideramos la existencia de una relación polinómica entre este índice y el gradiente de alteración ambiental. Sin embargo, cuando esta relación es lineal, la calibración del índice coincide con la propuesta para los ríos de tipo 24 (gargantas de Gredos-Béjar) y 25 (ríos de montaña húmeda silícea). Por otro lado, los valores EQR obtenidos para el índice IMMi-L coinciden con los umbrales entre muy bueno y bueno y entre bueno y moderado calculados por Munné & Prat (2009) para el tipo R-M1. Además, desde el punto de vista de la gestión, es interesante diferenciar entre los valores del índice y los EQR, puesto que un mismo EQR se traducirá en un valor distinto del índice en función del valor de referencia.

Tabla 5. Umbrales para las clases de calidad de los índices IBMWP e IMMi-L calculados para los cursos de agua del parque natural Los Alcornocales: \* Clases de calidad de IBMWP suponiendo la existencia de una relación no lineal con el gradiente de alteración ambiental calculado según Alba-Tercedor et al. (2004).

*Table 5. Thresholds for quality classes of IBMWP and IMMi-L indices calculated for the waterways of the Los Alcornocales natural park: \* Quality classes of IBMWP assuming a nonlinear relationship with the disturbance gradient calculated according to Alba-Tercedor et al. (2004).*

Clases de calidad	IBMWP*	EQR	IBMWP	EQR	IMMi-L	EQR
Bueno-Muy bueno	137	0,83	137	0,83	16,35	0,88
Moderado-Bueno	83,57	0,50	102,75	0,62	12,26	0,66
Deficiente-Moderado	49,32	0,30	68,5	0,41	8,17	0,44
Malo-Deficiente	20,55	0,12	34,25	0,21	4,09	0,22

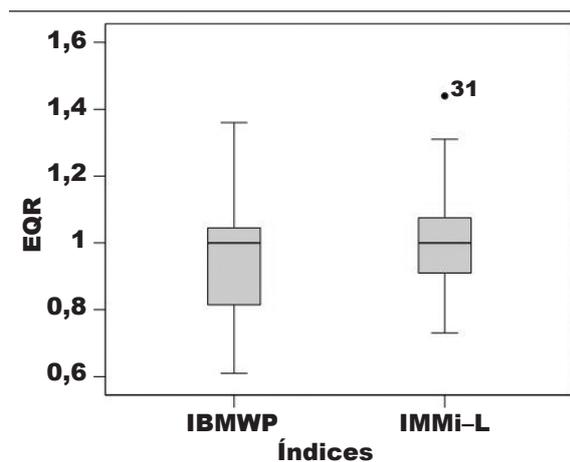


Fig. 2. Diagrama de cajas que representa la distribución de los valores de referencia EQR para los índices IBMWP e IMMi-L. Cada caja muestra la mediana, los percentiles 75 y 25 y los valores máximo y mínimo. La localidad Canuto del Aljibe (31) presentó un valor EQR anormalmente elevado con respecto a las demás.

*Fig. 2. Box plot diagram representing the distribution of the EQR reference values for the indices IBMWP and IMMi-L. Each box shows the median, the percentiles 75 and 25 and the maximum and minimum values. The locality Canuto del Aljibe (31) showed an outlier value.*

En este sentido, observamos que los umbrales de las clases de calidad del índice IBMWP\* polinómico obtenidos en este estudio son más elevados que los propuestos para los ríos de cabeceras silíceas (Sil/cab). Por el contrario, cuando la calibración es lineal, los umbrales del índice son más bajos que los propuestos para los ríos 24 y 25, y son parecidos a los valores de los ríos tipo 8 (ríos de baja montaña mediterránea silícea).

## Discusión

El territorio contenido en el parque natural Los Alcornocales constituye una unidad ambiental homogénea desde los puntos de vista climático y geológico, con una composición litológica que comprende casi exclusivamente areniscas silíceas (areniscas del Aljibe) y una precipitación media anual superior a 1.000 mm que ha permitido el desarrollo de una densa cubierta vegetal en muy buen estado de conservación. Estas altas precipitaciones permiten la formación de pequeños cursos de agua que, a pesar de la fuerte estacionalidad, mantienen agua corriente durante todo el año. Aunque en la DMA no se han considerado las cuencas menores de 10 km<sup>2</sup> de superficie, pensamos que estos pequeños cursos de agua deben

tenerse en cuenta en la gestión, ya que constituyen enclaves únicos para la fauna acuática que podrían explicar la mayor parte de la biodiversidad presente en la cuenca (Clarke et al., 2008; Morrissey & De Kerckhove, 2009), de tal modo que la conservación deficiente de uno de estos cauces implicaría la pérdida de una diversidad única en toda la red fluvial (Finn et al., 2011; Murría et al., 2013).

Los umbrales de las clases de calidad del índice IMMi-L calculados en este estudio son mayores que los del IBMWP, lo que significa que el primero es más exigente en cuanto al acotamiento de las clases de calidad. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Munné & Prat (2009) en la evaluación de la calidad del agua en los ríos mediterráneos españoles mediante índices multimétricos. Además, los umbrales de las clases de calidad obtenidos en el área estudiada coinciden con los propuestos por estos autores para otros ríos mediterráneos (especialmente R-M1), lo que parece confirmar la idoneidad de este índice como instrumento de gestión del estado ecológico del agua en esta zona.

Si consideramos los umbrales entre muy bueno y bueno y entre bueno y moderado para el índice IBMWP, podemos apreciar que los valores EQR obtenidos se aproximan más a los tipos atlánticos (tipos 24 y 25) que a los mediterráneos (tipos 6, 8 y 11); sin embargo, los valores de referencia y los umbrales de calidad acotados para estos ríos atlánticos son demasiado elevados para aplicarlos a los cursos de agua estudiados. Por otro lado, cuando consideramos los valores del índice IBMWP y no los EQR, encontramos que los umbrales son parecidos a los de los ríos de baja montaña mediterránea silícea (tipo 8), sin embargo los valores EQR propios de esos ríos no coinciden con los calculados en este estudio. Además, al comparar la relación entre el valor de referencia y los umbrales del índice obtenemos unos cocientes ligeramente inferiores para el índice calibrado en este estudio con respecto a los del tipo 8, lo que implica que nuestro índice es ligeramente más exigente en el establecimiento de las clases de calidad. No obstante, el principal inconveniente para aplicar la calibración del tipo 8 en nuestra área de estudio es el elevado valor de referencia propuesto para los ríos de baja montaña mediterránea silícea.

Estos resultados parecen indicar que las cuencas estudiadas necesitarían una gestión diferenciada, en cuanto a criterios de calidad, con respecto al resto de las cuencas mediterráneas circundantes. Los futuros planes hidrológicos de las subcuencas andaluzas Guadalete-Barbate y Mediterránea, basándose en el borrador de informe sobre la interpolación del IBMWP en los tipos de masas de agua en los que no se dispone de información de estaciones de referencia (versión 5.2), asignarán a los ríos del tipo 20 un valor de referencia de 115 para dicho índice, valor muy inferior al calculado para estos cursos en el presente estudio. Según nuestros datos, este valor de referencia sería claramente insuficiente para mantener la calidad ecológica óptima de los ríos y arroyos estudiados, pues todas las localidades consideradas en este estudio, que tienen una superficie de drenaje

Tabla 6. Comparación de los umbrales de clases de calidad calculados en el presente estudio con los obtenidos por otros autores para ríos españoles. Entre paréntesis se muestran los valores EQR. \* Clases de calidad de IBMWP suponiendo la existencia de una relación no lineal con el gradiente de alteración ambiental calculado según Alba–Tercedor et al. (2004): Valor. Valores de referencia; Mb/B. Muy bueno/bueno; B/M. Bueno/moderado;; M/D. Moderado/deficiente; D/M. Deficiente/malo; Sil/cab. Pequeños arroyos silíceos de cabecera; MEDPACS. Mediterranean prediction and classification system; Tipo 6. Ríos silíceos del piedemonte de Sierra Morena; Tipo 8. Ríos de la baja montaña mediterránea silícea; Tipo 11. Ríos de montaña mediterránea silícea; Tipo 18. Ríos costeros mediterráneos; Tipo 24. Gargantas de Gredos–Béjar; Tipo 25. Ríos de montaña húmeda silícea; R–M1. Pequeños ríos de mediana altitud; R–M5. Pequeños ríos temporales de baja altitud; SBH. Pequeños ríos de las sierras béticas húmedas.

*Table 6. Comparison of quality class thresholds calculated in this study with those obtained by other authors for Spanish rivers. The EQR values are shown in parenthesis. \* Quality classes of IBMWP assuming a nonlinear relationship with the disturbance gradient calculated according to Alba–Tercedor et al. (2004): Valor. Reference values; Mb/B. Very good/good; B/M. Good/moderate; M/D. Moderate/deficient; D/M. Deficiente/poor; Sil/cab. Siliceous headwater streams; MEDPACS. Mediterranean prediction and classification system; Tipo 6. Siliceous rivers in the foothills of Sierra Morena; Tipo 8. Mediterranean low mountain siliceous rivers; Tipo 11. Mediterranean mountain siliceous rivers; Tipo 18. Mediterranean coastal rivers; Tipo 24. Gredos–Béjar gorges; Tipo 25. Wet, siliceous mountain rivers; R–M1. Mid–altitude small rivers; R–M5. Low altitude, temporal rivers; SBH. Small rivers and streams in the wet Betic mountains.*

Índice	Tipo	Valor	Mb/B	B/M	M/D	D/M	Fuente
IBMWP*	Sil/Cab	130	109(0,84)	66(0,51)	39(0,30)	16(0,12)	Alba–Tercedor et al. (2004)
IBMWP	MEDPACS	–	(0,91)	(0,68)	(0,45)	(0,22)	Poquet et al. (2009)
IBMWP	Tipo 6	147,5	115(0,78)	87(0,59)	57,5(0,39)	29,5(0,20)	Orden ARM/2656/2008
IBMWP	Tipo 8	171	135(0,79)	100,9(0,59)	68,4(0,40)	34,2(0,20)	Orden ARM/2656/2008
IBMWP	Tipo 11	180	140,4(0,78)	106,2(0,59)	70,2(0,39)	36(0,20)	Orden ARM/2656/2008
IBMWP	Tipo 18	112	103(0,92)	77,3(0,69)	53,8(0,48)	25,8(0,23)	Orden ARM/2656/2008
IBMWP	Tipo 24	210	178,5(0,85)	134,4(0,64)	88,2(0,42)	44,1(0,21)	Orden ARM/2656/2008
IBMWP	Tipo 25	178	149,5(0,84)	112,1(0,63)	74,8(0,42)	37,4(0,21)	Orden ARM/2656/2008
IBMWP*	R–M1	–	(0,78)	(0,48)	–	–	Munné & Prat (2009)
IBMWP*	R–M5	–	(0,80)	(0,50)	(0,30)	(0,10)	Munné & Prat (2009)
IBMWP*	SBH	166	137(0,83)	83,6(0,50)	49,3(0,30)	20,5(0,12)	Este trabajo
IBMWP	SBH	166	137(0,83)	102,8(0,62)	68,5(0,41)	34,2(0,21)	Este trabajo
IMMi–L	R–M1	–	(0,89)	(0,66)	–	–	Munné & Prat (2009)
IMMi–L	R–M5	–	(0,90)	(0,70)	(0,50)	(0,20)	Munné & Prat (2009)
IMMi–L	SBH	18,65	16,3(0,88)	12,2(0,66)	8,2(0,44)	4,1(0,22)	Este trabajo

superior a 10 km<sup>2</sup>, muestran un valor del IBMWP superior a 115. No obstante, el área estudiada solo representa una parte de las cabeceras húmedas del sur de la península. Sería necesario extender la red de referencia al resto de las cuencas (Guadalete y Genal) para disponer de la información correspondiente a los otros tipos de cuencas existentes en estas sierras húmedas del suroeste peninsular.

El tipo 20 (BOE, 2008, Orden ARM/2656/2008) constituye un conjunto muy heterogéneo de ríos y arroyos de cabecera cuya única afinidad es la elevada precipitación registrada en estas áreas, pero no tiene en cuenta que la composición lito-

lógica es muy diferente. En un estudio sobre la caracterización fisicoquímica de las localidades de referencia en cinco ecotipos de ríos mediterráneos, Sánchez–Montoya et al. (2012) encontraron que la conductividad y el pH eran los únicos parámetros significativamente más bajos en las cabeceras silíceas que en el resto de los ecotipos. Además, estos arroyos de cabecera silíceos albergan comunidades de macroinvertebrados significativamente diferentes del resto (Sánchez–Montoya et al., 2007). Si la conductividad es un parámetro tan decisivo en la tipificación de los ríos mediterráneos, resulta difícil aceptar un tipo único para los ríos de las serranías

béticas húmedas, donde se incluyen tramos marcadamente silíceos (p. ej., las sierras del Campo de Gibraltar y Aljibe) y otros marcadamente calcáreos (p. ej., la Sierra de Grazalema).

En resumen, hemos mostrado que el valor de referencia adoptado por la normativa para la elaboración de los planes hidrológicos de las cuencas mediterráneas andaluzas y la demarcación hidrográfica Guadalete-Barbate, que comprenden los ríos de las serranías béticas húmedas, es claramente insuficiente para asegurar el mantenimiento del buen estado ecológico de los sistemas fluviales del parque natural Los Alcornocales. Para gestionar este espacio natural debidamente, proponemos elevar dicho valor de referencia a 166 y adoptar los umbrales de las clases de calidad del índice IBMWP calculados en este trabajo. Por último, queremos destacar que el índice multimétrico IMMi-L, tal como lo hemos calibrado aquí, y utilizado junto con el anterior, puede ser un instrumento de gestión eficaz para asegurar el mantenimiento del buen estado ecológico de estos cursos de agua.

## Referencias

- Agüero-Pelegrín, M., Herrera Grao, A. F. & Ferreras Romero, M., 1998. Plecópteros y odonatos de la parte superior de la cuenca del río Hozgarganta. *Almoraima*, 19: 241–248.
- Alba-Tercedor, J., 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. In: *IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA)*: 203–213. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.
- Alba-Tercedor, J., Jáimez-Cuéllar, P., Álvarez, M., Avilés, J., Bonada, N., Casas, J., Mellado, A., Ortega, M., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Robles, S., Sáinz-Cantero, C. E., Sánchez-Ortega, A., Suárez, M. L., Toro, M., Vidal-Abarca, M. R., Vivas, S. & Zamora-Muñoz, C., 2004. Caracterización del estado ecológico de los ríos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP'). *Limnetica* 2002, 21(3–4): 175–185.
- Almazán, J. L., 1991. Proyecto de comunicación fija a través del Estrecho de Gibraltar. *Mapping*, 1: 20–31.
- BOE, 2007. Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica. BOE 162.
- 2008. Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica. BOE 229.
- Bonada, N., Prat, N., Munné, A., Rieradevall, M., Alba-Tercedor, J., Álvarez, M., Avilés, J., Casas, J., Jáimez-Cuéllar, P., Mellado, A., Moyà, G., Pardo, I., Robles, S., Ramón, G., Suárez, M. L., Toro, M., Vidal-Abarca, M. R., Vivas, S. & Zamora-Muñoz, C., 2004. Ensayo de una tipología de las cuencas mediterráneas del proyecto GUADALMED siguiendo las directrices de la directiva marco del Agua. *Limnetica* 2002, 21(3–4): 77–98.
- Burmeister, E. G., 1983. *Agabus (Gaurodytes) hozgargantae* sp. nov. aus Süds Spanien (Coleoptera, Dytiscidae). *Spixiana*, 6(2): 133–139.
- Capel-Molina, J. J., 1987. El clima en Andalucía. In: *Geografía de Andalucía II*: 99–185 (G. Cano, Coord.). Ed. Tartessos, Jerez.
- Castro, A. & Delgado J. A., 1999. *Hydrochus aljibensis*, a new species from the south of the Iberian Peninsula (Coleoptera, Hydrochidae). *Boletín de la Asociación española de Entomología*, 23(1–2): 25–28.
- Clarke, A., Macnally, R., Bond N. & Lake, P. S., 2008. Macroinvertebrate diversity in headwater streams: a review. *Freshwater Biology*, 53: 1707–1721.
- CEDEX, 2005. *Caracterización de los tipos de ríos y lagos*. Versión 1.0, Madrid.
- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, 2005. *Caracterización de la demarcación*. Informe Resumen de los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua. Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.
- DOCE, 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*. DOCE, L 327 de 22.12.00.
- European Commission, 2005. *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*. Guidance Document No. 14. Guidance on the Inter-calibration Process 2004–2006.
- Ferreras-Romero, M. & Cano-Villegas, F. J., 2004. Odonatos de cursos fluviales del parque natural Los Alcornocales (sur de España). *Boletín de la Asociación española de Entomología*, 28(3–4): 49–64.
- Fery, H. & Fresneda, J., 1988. *Deronectes algibensis* n. sp. vom äußersten Süden Spaniens (Coleoptera: Dytiscidae). *Entomologische Zeitschrift*, 98(23): 337–345.
- Finn, D. S., Bonada, N., Murria, C. & Hughes, J. M., 2011. Small but mighty: headwaters are vital to stream network biodiversity at two levels of organization. *Journal of the North American Benthological Society*, 30(4): 963–980.
- Friber, G. N., Bonada N., Bradle, D. C., Dunbar, M. J., Edwards, F. K., Grey, J., Hayes, R. B., Hildrew, A. G., Lamouroux, N., Trimmer, M. & Woodward, G., 2011. Biomonitoring of Human Impacts in Freshwater Ecosystems: The Good, the Bad and the Ugly. *Advances in Ecological Research*, 44: 1–68.
- González, M. A. & Ruiz, A., 2001. Une nouvelle espèce de Trichoptère du Sud de l'Espagne: *Allogamus gibraltarius* n. sp. (Trichoptera: Limnephilidae). *Annales de Limnologie*, 37(3): 219–221.
- González del Tánago, M. & García de Jalón, D., 2006. Propuesta de caracterización jerárquica de los ríos españoles para su clasificación según la Directiva Marco de la Unión Europea. *Limnetica*, 25(3): 693–712.
- Morrissey, M. B. & De Kerckhove, D. T., 2009. The maintenance of genetic variation due to asymmetric gene flow in dendritic metapopulations. *American Naturalist*, 174: 875–889.
- Murria, C., Bonada, N., Arnedo, M. A., Prat, N. & Vogler, A. P., 2013. Higher  $\beta$ - and  $\gamma$ -diversity at

- species and genetic levels in headwaters than in mid-order streams in *Hydropsyche* (Trichoptera). *Freshwater Biology*, 58: 2226–2236.
- Munné, A. & Prat, N., 1999. *Regionalización de la cuenca del Ebro para el establecimiento de los objetivos del estado ecológico de sus ríos*. Informe para la Confederación Hidrográfica del Ebro (Oficina de Planificación Hidrológica). Zaragoza.
- 2004. Defining rives types in a Mediterranean area. A methodology for implementation of the UE Water Framework Directive. *Environmental Management*, 34(5): 711–729.
- 2009. Use of macroinvertebrate-based multimetric indices for water quality evaluation on Spanish Mediterranean rivers: an intercalibration approach with the IBMWP index. *Hydrobiologia*, 628: 203–225.
- Ortiz Casas, J. L., 2004. La directiva marco del agua (2000/60/ce): aspectos relevantes para el proyecto GUADALMED. *Limnetica* 2002, 21(3–4): 5–12.
- Pollards, P. & Van den Bund, W., 2005. *Template for the development of a boundary setting protocol for the purposes of the intercalibration exercise*. Common Implementation Strategy. Working Group A ECOSTAT. Version 1.2. 6 June 2005. Ispra.
- Poquet, J. M., Alba-Tercedor, J., Puntí, T., Sánchez-Montoya, M. M., Robles, S., Álvarez, M., Zamora-Muñoz, C., Sáinz-Cantero, C. E., Vidal-Abarca, M. R., Suárez, M. L., Toro, M., Pujante, A. M., Rieradevall, M. & Prat, N., 2009. The Mediterranean Prediction And Classification System (MEDPACS): an implementation of the RIVPACS/AUSRIVAS predictive approach for assessing Mediterranean aquatic macroinvertebrate communities. *Hydrobiologia*, 623: 153–17.
- Prat, N., 2004. El Proyecto GUADALMED. *Limnetica* 2002, 21(3–4): 1–3.
- Ruiz García, A., 1994. Primera cita de *Rhyacophila fonticola* Giuducelli, 1984 (Trichoptera: Rhyacophilidae) en la península ibérica. *Boletín de la Asociación española de Entomología*, 18(3–4): 105.
- Ruiz García, A., Márquez-Rodríguez, J. & Ferreras-Romero, M., 2013. Discovery of *Nyctiophylax* (Trichoptera: Polycentropodidae) in Europe, with the description of a new species. *Freshwater Science*, 32(1): 169–175.
- Sánchez-Montoya, M. M., Arce, M. I., Vidal-Abarca, M. R., Suárez, M. L., Prat, N. & Gómez, R., 2012. Establishing physico-chemical reference conditions in Mediterranean streams according to the European Water Framework Directive. *Water Research*, 46(7): 2257–2269.
- Sánchez-Montoya, M. M., Puntí, T., Suárez, M. L., Vidal-Abarca, M. R., Rieradevall, M., Poquet, J. M., Zamora-Muñoz, C., Robles, S., Álvarez, M., Alba-Tercedor, J., Toro, M., Pujante, A. M., Munné, A. & Prat, N., 2007. Concordance between ecotypes and macroinvertebrate assemblages in Mediterranean streams. *Freshwater Biology*, 52(11): 2240–2255.
- Sánchez-Montoya, M. M., Vidal-Abarca, M. R., Puntí, T., Poquet, J. M., Prat, N., Rieradevall, M., Alba-Tercedor, J., Zamora-Muñoz, C., Toro, M., Robles, S., Álvarez, M. & Suárez, M. L., 2009. Defining criteria to select reference sites in Mediterranean streams. *Hydrobiologia*, 619: 39–54.
- Vidal-Abarca, M. R., Montes, C., Suárez, M. L. & Ramírez Díaz, L., 1990. Sectorialización ecológica de cuencas fluviales: aplicación a la cuenca del río Segura (SE España). *Anales de Geografía*, 10: 149–182.
-

