

Indicadors hidrològics aplicats al seguiment de la biodiversitat al riu Tordera

Josep Mas-Pla i Anna Menció

Centre de Geologia i Cartografia Ambientals (GEOCAMB) i Àrea de Geodinàmica, Departament de Ciències Ambientals. Universitat de Girona

Resum

L'ús dels indicadors ha esdevingut una eina de gestió hidrològica mercès a l'aplicació de la Directiva marc de l'aigua. La complexitat dels sistemes hidrològics requereix indicadors que representin la idiosincrasia del sistema fluvial i puguin ser analitzats amb els indicadors biològics; en aquest cas, els resultants de les tasques de l'Observatori de la Tordera.

Aquests indicadors es basen en dades meteorològiques, cabals, nivells hidràulics a l'aqüífer al·luvial i en l'hidroquímica de l'aigua superficial. Els resultats mostren: a) la variabilitat de les precipitacions que no permet utilitzar valors mitjans mensuals per interpretar l'estat hídric de la conca, b) l'escassa capacitat de regulació del cabal per part dels aquífers, així com la dificultat d'assolir el cabal de manteniment, i c) la influència dels abocaments procedents de les EDAR en l'assoliment d'un cabal mínim i en les concentracions de nutrients.

Paraules clau

Indicadors, hidrologia, cabal, Tordera

Resumen

Indicadores hidrológicos aplicados al seguimiento de la biodiversidad en el río Tordera

El uso de indicadores se ha convertido en una herramienta de gestión hidrológica como resultado de la aplicación de la Directiva Marco del Agua. La complejidad de los sistemas hidrológicos requiere indicadores que representen la idiosincrasia del sistema fluvial y puedan ser analizados con los indicadores biológicos; en este caso, los resultantes de las tareas del Observatorio del Tordera.

Los indicadores propuestos se basan en datos meteorológicos, caudales, niveles hidráulicos y el quimismo del agua. Los resultados muestran: a) la variabilidad de las precipitaciones que no permite utilizar los valores medios mensuales para interpretar el estado hídrico de la cuenca, b) la escasa capacidad de regulación del caudal por parte de los acuíferos, así como la dificultad en cumplir los caudales ecológicos, y c) la influencia de los vertidos procedentes de las EDAR en alcanzar un caudal mínimo y en las concentraciones de nutrientes.

Palabras clave

Indicadores, hidrología, caudal, Tordera

Summary

Water indicators applied to biodiversity monitoring on the Tordera river

The use of indicators has become a water management tool thanks to the application of the Water Framework Directive. The complexity of water systems calls for indicators that represent the peculiarity of the fluvial system and which can be analysed by means of biological indicators; in this case the findings of the work of the Tordera Observatory.

These indicators are based on meteorological data, channel runoff, hydraulic levels in the alluvial aquifer and the hydrochemistry of surface water. The findings show: a) the variability of precipitation, which does not allow for the use of monthly average values to interpret the hydric state of the basin, b) the limited capacity to regulate the channel runoff of the aquifers as well as the difficulty in achieving the maintenance runoff, and c) the influence of waste derived from the wastewater treatment plan to achieve a minimum runoff and concentrate nutrients.

Keywords

Indicators, hydrology, channel runoff, Tordera

Introducció

Els indicadors ambientals basats en dades biològiques s'apliquen habitualment en el control de la qualitat de les masses d'aigua, i han esdevingut essencials en la gestió de l'aigua. No obstant això, la complexitat dels sistemes hidrològics requereix la integració de paràmetres hidromorfològics i biològics per a una anàlisi completa de l'estat de l'aigua estatus (POFF *et al.*, 1997; SEAR,

1999 i RICHTER *et al.*, 2003). Actualment, la Directiva Marc de l'aigua (DMA, 2000/60/CE; MAS-PLA, 2006) demana als estats membres el desenvolupament d'indicadors que siguin coherents amb la idiosincràsia dels seus rius, zones humides i altres masses d'aigua continentals.

En aquest sentit, el projecte de l'Observatori de la Tordera ha proposat un seguit d'indicadors hidrològics per caracteritzar els trams del riu. Aquests resultats s'integraran a una base de dades

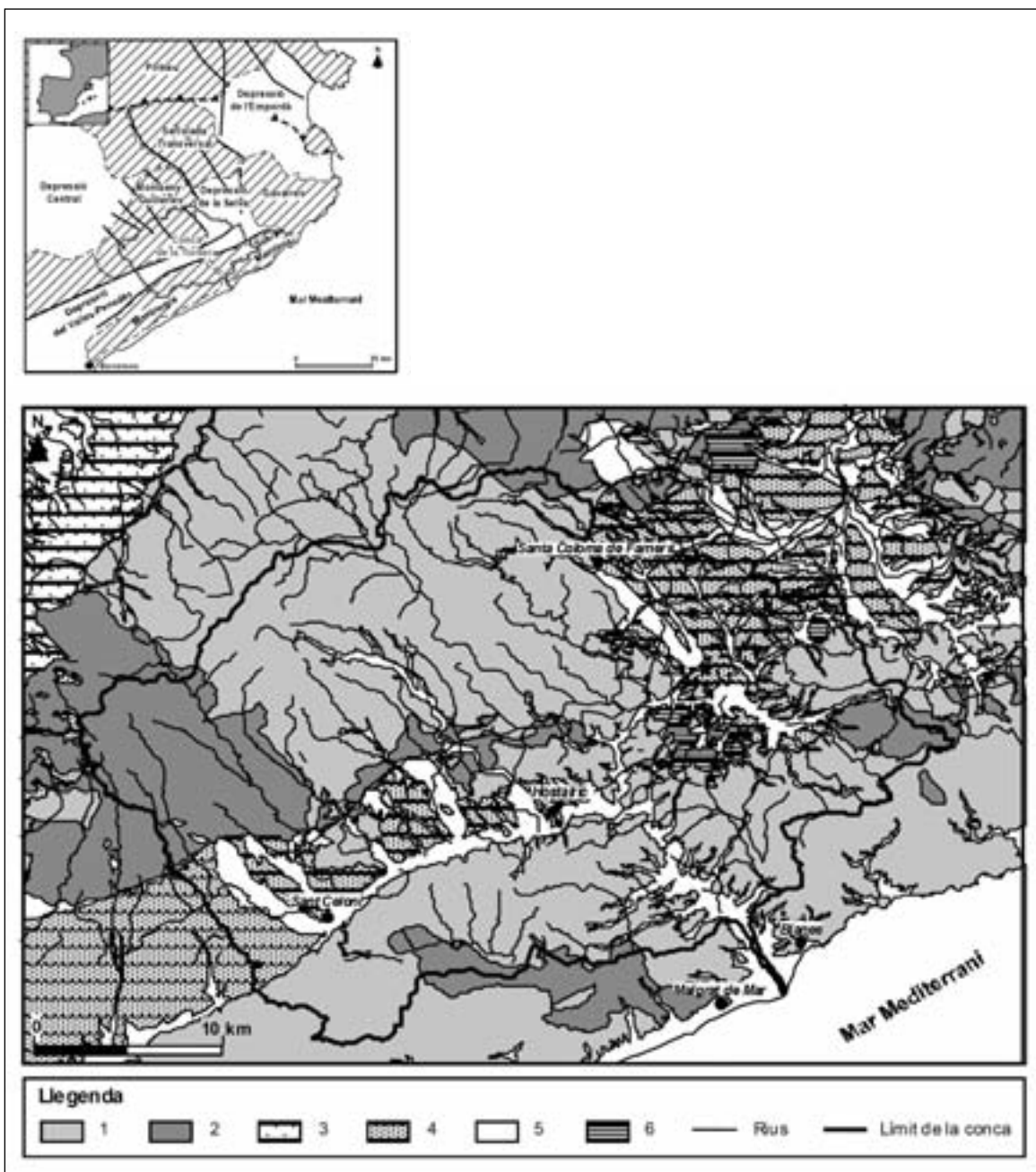


Figura 1. Situació morfoestructural i esquema geològic de la conca de la Tordera. *Llegenda:* Roques ígnies (1) i metamòrfiques (2) del paleozoic; roques sedimentàries del paleogen (3) i neogen (4); formacions al·luvials i fluviodeltaiques del quaternari (5), afloraments volcànics del neogen i quaternari (6).

d'indicadors biològics amb l'objectiu de registrar el màxim nombre de dades que permeti identificar canvis ambientals a la conca de la Tordera que afectin la seva biodiversitat.

La conca de la Tordera se situa a les conques internes de Catalunya (fig. 1). Té una superfície de 894 quilòmetres quadrats. Els períodes de sequera que han tingut lloc des de la dècada de 1990 han modificat el comportament del cabal, el règim hidrològic i l'habitual distribució estacional del cabal d'àmbits mediterranis. En aquest context de variabilitat, l'avaluació de la dinàmica hidrològica emprant indicadors ambientals de periodicitat mensual esdevé un suport a la interpretació de les dades biològiques i els indicadors que se'n deriven.

En aquesta contribució presentem els mètodes emprats per definir els indicadors hidrològics definits a la Tordera amb una doble finalitat: a) caracteritzar l'evolució hidrològica del sistema entre els anys 2003 i 2006, i b) elaborar una base de dades hidrològiques de referència per a altres indicadors. Així, descrivim aquests indicadors com un exemple d'estat hidrològic d'un riu mediterrani sotmès a una intensa pressió antròpica.

Context geològic

La conca de la Tordera se situa en el sistema dels Catalànids, amb capçaleres als massissos del

Metodologia

Els indicadors es basen en quatre variables hidrològiques: precipitació, cabal, nivell freàtic i químis-me de l'aigua superficial, que es registren amb periodicitat mensual. Les dades de precipitació s'obtenen de la web del Servei de Meteorologia de Catalunya i les dades de cabals se sol·liciten a l'Agència Catalana de l'Aigua. Les mesures de nivell hidràulic a l'aqüífer superficial de la Tordera i les mostres d'aigua superficial es recullen directament a punts definits que concorden amb els trams de control biològic de la Tordera.

Indicador de la precipitació

La funció proposada de l'indicador es basa en la relació entre la precipitació mensual (P) i la precipitació mensual mitjana (Pm) a cada observatori meteorològic. Les classes de l'indicador es defineixen segons la desviació standard (σ) de la precipitació mensual (taula 1).

Indicador del cabal

L'avaluació del cabal relaciona el cabal mensual real amb el valor del cabal de manteniment definit per a cada tram de la Tordera en el corresponent Pla sectorial de l'Agència Catalana de l'Aigua

Taula 1. Classes de l'indicador de precipitació definides a la Tordera

Condició	Valor de la classe	Estatut
$P > P_m + \frac{1}{2} \sigma$	$P/P_m > 1 + \frac{1}{2} \sigma/P_m$	Excel·lent
$P_m - \frac{1}{2} \sigma \leq P \leq P_m + \frac{1}{2} \sigma$	$1 - \frac{1}{2} \sigma/P_m \leq P/P_m \leq 1 + \frac{1}{2} \sigma/P_m$	Acceptable
$P_m - \sigma \leq P < P_m - \frac{1}{2} \sigma$	$1 - \sigma/P_m \leq P/P_m < 1 - \frac{1}{2} \sigma/P_m$	Mediocre
$P_m - \sigma < P$	$1 - \sigma/P_m < P/P_m$	Dolent

Montseny i el Montnegre i la part septentrional de la depressió del Vallès (fig. 1). L'estructura tectònica regional determina la forma de la conca i de la xarxa de drenatge. Els sediments dipositats en el curs mitjà de la Tordera constitueixen un dipòsit al·luvial estret, d'uns quinze metres de fondària. En el curs baix, a la zona deltaica, el gruix mitjà dels dipòsits al·luvials és de quaranta metres, si bé pot arribar a 75 metres prop de la línia de costa (ACA-GEOSERVEI, 2000).

Taula 2. Classes de l'indicador de cabal definides a la Tordera. Q_{mant} fa referència al cabal de manteniment i $Q(0,20)$ indica el cabal corresponent al percentil 0,2 o 20%

Condició	Estatut
$Q_{mant} < Q(0,20)$	Excel·lent
$Q(0,20) \geq Q_{mant} > Q(0,40)$	Acceptable
$Q(0,40) \geq Q_{mant} > Q(0,75)$	Mediocre
$Q_{mant} \geq Q(0,75)$	Dolent

Taula 3. Classes de l'indicador de relació riu-aquífer definides a la Tordera. NF indica la diferència de nivell entre la cota de la llera i el nivell freàtic

Condicció	Hivern	Estiu
Riu efluent, $NF \geq 1,0$ m	Excel·lent	Excel·lent
Riu efluent, $1,0 > NF \geq 0,0$ m	Acceptable	Acceptable
Riu influent, $0,0 > NF \geq -1,0$ m	Acceptable	Mediocre
Riu influent, $NF < -1,0$ m	Mediocre	Dolent

Taula 4. Classes de l'indicador hidroquímic definides a la Tordera

Classe	Concentració	Descripció	Indicador
Amoni (NH₄, mg/L)			
1	< 0,13	Aigües netes	Excel·lent
2	0,13 – 0,51	Aigües amb possibles símptomes d'estrès en funció del pH i del temps de residència	Acceptable
3	0,51 – 1,16	Aigües amb elevada probabilitat de presentar desequilibris en el funcionament de l'ecosistema	Mediocre
4	1,16 – 5,14	Aigües amb un gran estrès	Dolent
5	> 5,14	Aigües molt contaminades amb un alt grau de toxicitat	Dolent
Nitrit (NO₂, mg/L)			
	< 0,1		Excel·lent
N	0,1 - 1,0	Aigües amb elevada probabilitat de presentar desequilibris en el funcionament de l'ecosistema	Mediocre
NN	> 1,0	Aigües amb un gran estrès	Dolent
Nitrat (NO₃, mg/L)			
	< 3		Excel·lent
N	3 – 45	Aigües amb elevada probabilitat de presentar desequilibris en el funcionament de l'ecosistema. Presència d'abocaments propers d'aigües residuals o lixivats laterals	Mediocre
NN	> 45	Aigües que poden presentar elevats símptomes d'eutrofització	Dolent

(ACA, 2004). Aquest indicador només es calcula per als trams amb estació d'aforament: Sant Celoni i Fogars de la Selva. Així, les classes de l'indicador es defineixen segons el percentil del cabal diari mitjà mensual que compleix el valor del cabal de manteniment (Q_{mant}), és a dir, la probabilitat d'excès per a aquell mes concret (taula 2).

Indicador de la relació riu-aquífer

En estudis hidrològics, ja és ben entès que tant l'aigua superficial com la subterrània constitueixen un únic recurs, amb una interacció estreta entre el riu i l'aquífer (WINTER *et al.*, 1998). En sis-

temes al·luvials, aquesta relació es considera fonamental per al desenvolupament dels ecosistemes a través d'una xarxa complexa de relacions ecohidrològiques (POFF *et al.*, 1997; SEAR, 1999).

En el cas del projecte de la Tordera, aquesta interacció es controla amb la mesura del nivell hidràulic a divuit pous de l'aquífer al·luvial de la Tordera, el qual està connectat hidràulicament amb el riu. Hem simplificat la interacció riu-aquífer com la diferència de nivell entre la cota de la llera i el nivell freàtic (ΔNF), i les classes de l'indicador s'han establert segons valors arbitraris (taula 3). Atesa la variabilitat estacional de la dinàmica hidrològica, s'han distingit diferents indicadors per a l'hivern (d'octubre a abril) i l'estiu (de juny a setembre).

Indicador de la concentració de nutrients (hidroquimisme)

L'anàlisi dels elements majoritaris a les aigües superficials proporciona informació sobre les pressions humanes sobre el medi fluvial. Aquesta analítica hidroquímica, mesurada a disset punts des de Viladecans, a la sortida del massís del Montseny, fins a Malgrat, revela la influència del retorn d'aigües residuals urbanes o industrials. Concretament, les concentracions de clorur i de sulfat es relacionen amb l'activitat industrial i les dels composts de nitrogen, amb els abocaments d'aigües residuals depurades a la llera (MAS-PLA, 2005). L'indicador proposat es relaciona amb la concentració dels composts de nitrogen, atès que reflecteixen nivells de toxicitat i eutrofització. Així, les classes de l'indicador s'estableixen d'acord amb els treballs previs de PRAT *et al.*, (2001) (taula 4).

Resultats

Indicador de la precipitació

Les dades de la pluja mensual des de 2003 fins a 2006 procedeixen del Servei Meteorològic de Catalunya, concretament dels observatoris de Malgrat (3 msnm), Palautordera (215 metres), Corredor-Dosrius (460 metres) i Montseny-Tagamanent (990 metres). Les dades i els valors de l'indicador per a l'observatori de Montseny-Tagamanent són representatives de la variabilitat mensual, així com dels darrers períodes de sequera (2004-05) que han condicionat la hidrologia de la conca (fig. 2).

Indicador del cabal

En aquest estudi presentem les dades de l'estació d'aforament a Sant Celoni, la qual ofereix un regis-

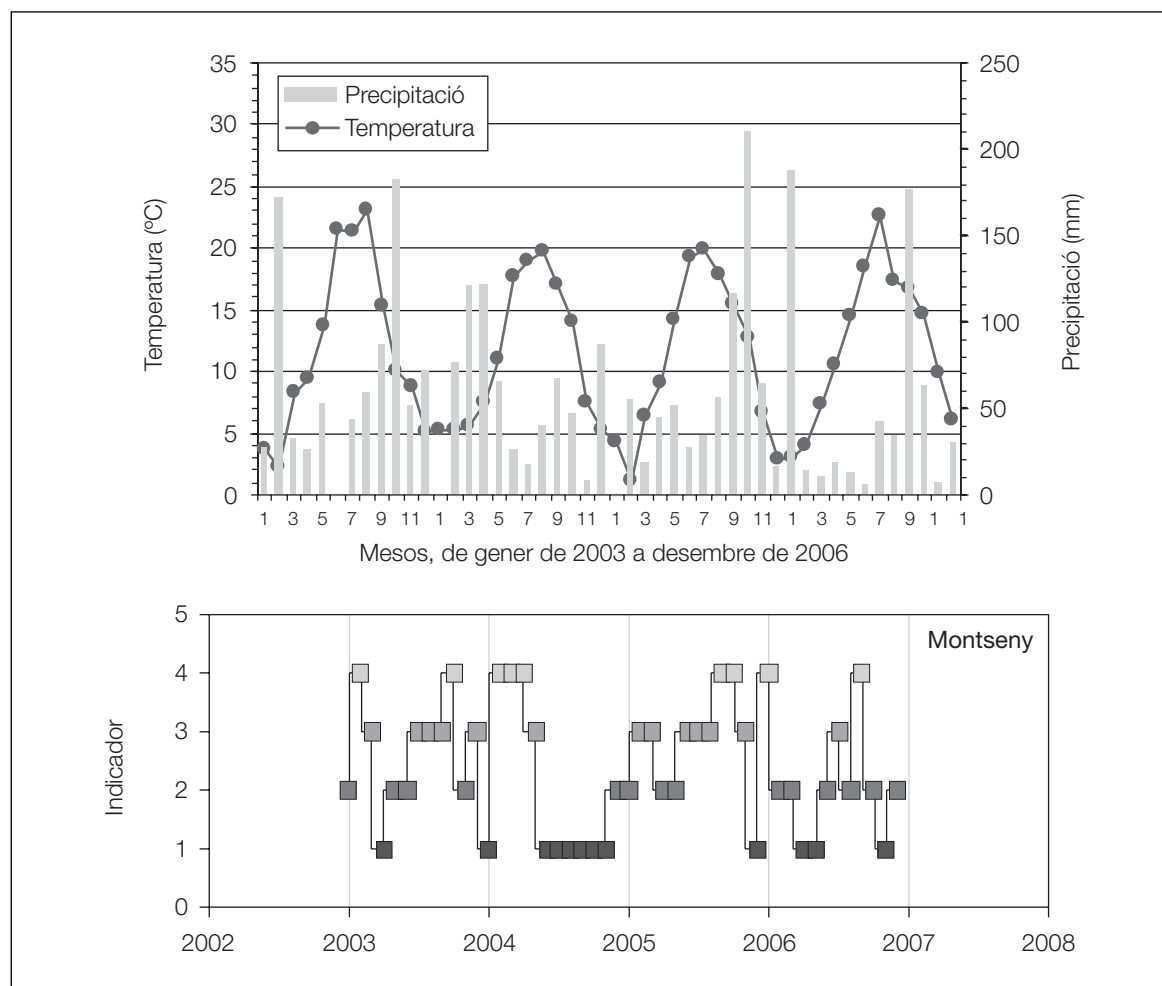


Figura 2. Evolució de la temperatura i la precipitació i valors de l'indicador de la precipitació a l'observatori del Montseny-Tagamanent. Els valors de l'indicador són: (1) dolent, (2) mediocre, (3) acceptable, (4) excel·lent.

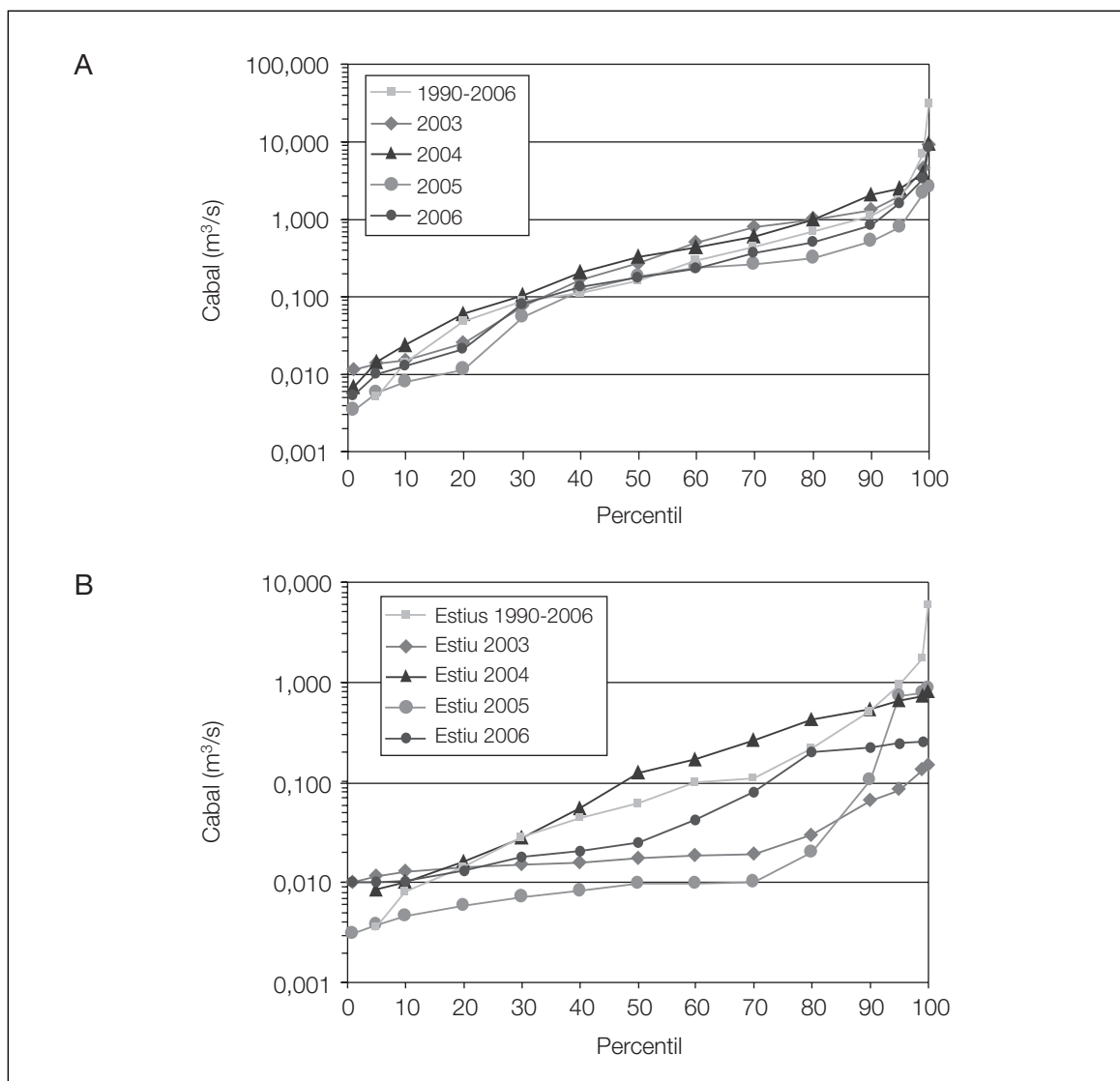


Figura 3. Distribució dels percentils anual (A) i a l'estiu (B) a l'estació d'aforament de Sant Celoni.

tre dels cabals mitjans diaris del període estudiat. El cabal de la Tordera a aquest punt està afectat per la derivació per a reg de Palautordera ($0,09 \text{ m}^3/\text{s}$) que pot arribar a capturar tot el cabal en períodes de sequera, i de les aportacions de l'EDAR de Santa Maria de Palautordera. Aquestes aportacions, juntament amb el flux de base i les aportacions dels afluents procedents dels turons al peu del Montseny i de Montnegre, determinen el cabal en aquest punt.

Per descriure la variabilitat del cabal en aquest punt s'ha emprat la corba de percentils, indicador de la probabilitat d'excedència d'un determinat cabal, i s'ha comparat amb el valor del cabal de manteniment ($Q_{\text{mant}} = 0,204$ a $0,305 \text{ m}^3/\text{s}$, segons ACA (2004)). Els resultats del període 1990-2006 indiquen que un 55-60% dels dies no s'assolí el

valor de Q_{mant} , i mostren una variabilitat del 10% en els estadístics anuals. Aquests percentatges augmenten durant els mesos d'estiu (de juny a setembre), quan la probabilitat d'excedència del Q_{mant} és només d'un 10-25% dels dies (fig. 3). Els valors de l'indicador mostren l'estacionalitat del cabal i els efectes del període de sequera 2004-05 (fig. 4).

Indicador de la relació riu-aqüífer

L'evolució del nivell freàtic respecte a la cota de la llera en aquests darrers anys revela una situació de riu influent ben establerta als trams mitjà i baix de la Tordera. Les dades de nivell hidràulic i els corresponents valors de l'indicador a la

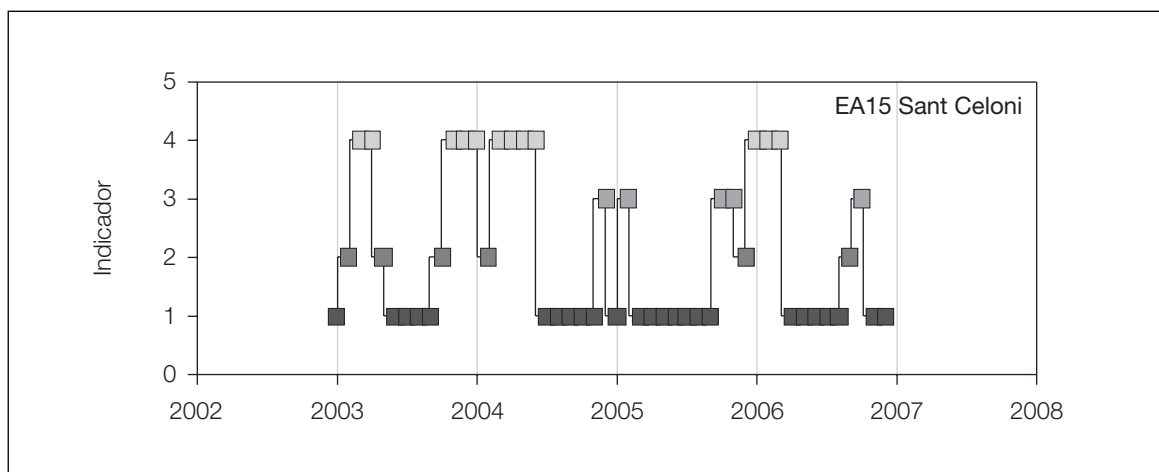


Figura 4. Valors de l'indicador de cabal a l'estació d'aforament de Sant Celoni. Els valors de l'indicador són: (1) dolent, (2) mediocre, (3) acceptable, (4) excel·lent.

Batl·lòria i a Hostalric il·lustren aquesta situació (fig. 5 i 6). Els períodes plujosos no produeixen una recàrrega suficient de l'aquífer ni permeten recuperar valors del flux de base des dels aquífers lliures superficials de la Tordera cap al riu. La captació d'aigua subterrània des de les formacions al·luvials genera un descens del nivell freàtic molt estès que controla la dinàmica influent de la Tordera.

Indicador de l'hidroquimisme

L'evolució dels valors de nitrat i amoni és indicadora dels nivells de toxicitat i eutrofització de les aigües superficials. Cal tenir present que les aportacions procedents dels EDAR i de les indústries poden representar un 20% del cabal mitjà anual i fins a un 55% del cabal en els mesos d'estiu de la Tordera (NEGRE *et al.*, 2004). Malgrat això, els

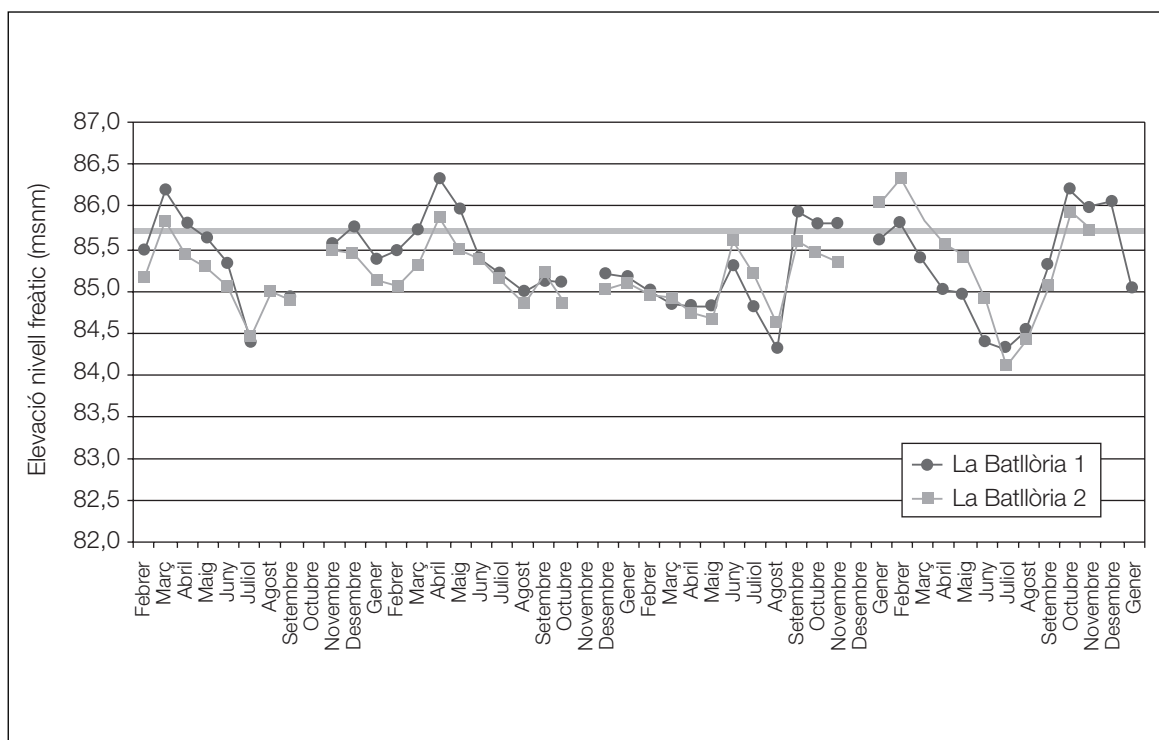


Figura 5. Posició del nivell freàtic en el període 2003-2006 al tram mitjà de la Tordera a dos pous de la Batllòria. La línia sòlida representa la cota de la llera més propera al pou de referència.

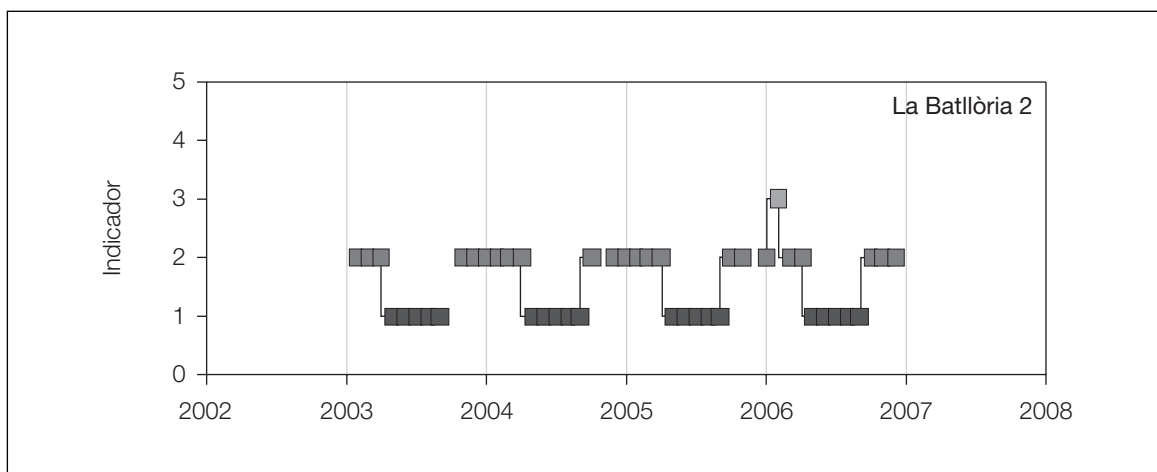


Figura 6. Valors de l'indicador de la relació riu-aqüífer durant 2003-2006 al tram mitjà de la Tordera a un pou de la Batllòria. Els valors de l'indicador són: (1) dolent, (2) mediocre, (3) acceptable, (4) excel·lent.

valors dels indicadors se situen entre «excel·lent» i «mediocre» en tot el curs de la Tordera des de Viladecans fins a Malgrat de Mar (fig. 7) (vegeu la taula 4 per a l'equivalència concentració-indicador).

Frequència i factors de correlació entre els indicadors

La freqüència en què apareixen parells de valors entre els indicadors de precipitació, relació riu-aquífer i hidroquimisme i l'indicador de cabal mostra la dominància que exerceixen els valors de cabal «dolents» ($Q_{\text{mant}} \geq Q(0,75)$) i la quasi persistent situació de riu influent. La taula 5 s'ha elaborat a la zona de la Batllòria, on els valors de cabal de Sant Celoni es consideren representatius. No obstant això, els indicadors d'hydroquimisme són habitualment bons malgrat els baixos cabals. Això suggereix que una dilució deficient de les aportacions antròpiques a la llera pels cabals naturals no condiciona l'estat hidroquímic del riu, atès que l'eliminació de nutrients per a la vegetació de ribera és efectiva i manté uns correctes nivells de nitrat i amoni.

Finalment, els factors de correlació entre els distints parells d'indicadors a la zona de la Batllòria presenten una correspondència molt baixa (taula 6) i evidencien un alt nivell d'independència que no permet representar la variabilitat existent. Aquesta situació reforça el fet de controlar les diverses variables hidrològiques amb la finalitat d'aportar una descripció completa de l'estat del riu, ja que una sola de les variables no és suficient

com a referència qualitativa per als indicadors biològics i la valoració ambiental del riu.

Conclusions

Les dades hidrològiques a nivell mensual analitzades durant el període 2003-2006 a la conca de la Tordera aporten una caracterització de la dinàmica fluvial i de les pressions humanes, la qual pot ser extrapolada a la interpretació de variables biològiques en el context de l'Observatori de la Tordera. Es conclou, doncs, que:

- La variabilitat de la precipitació mensual fa que no sigui apropiat emprar dades mitjanes de períodes anteriors com a representatives de l'estacionalitat hidrològica de la conca.
- L'escàs acompliment del cabal de manteniment queda reflectit en l'anàlisi estadística dels cabals reals, que esdevé una de les exigències més difícils en l'assoliment del bon estat hidrològic.
- La dinàmica de riu influent dominant durant aquest període indica l'impacte que les derivacions de cabal i les extraccions d'aigua subterrània tenen en la dinàmica fluvial.
- El bon estat hidroquímic de l'aigua superficial suggereix una eliminació eficient de nitrogen per processos biològics, atès que la dilució per cabals naturals és limitada.

Finalment, aquests indicadors sintetitzen la complexitat de la dinàmica fluvial en l'intent de proporcionar una descripció dels impactes sobre el riu i contribuir a aportar criteris de gestió locals. Tanmateix, entenem que poden ser potencialment útils per a la interpretació dels indicadors biològics,

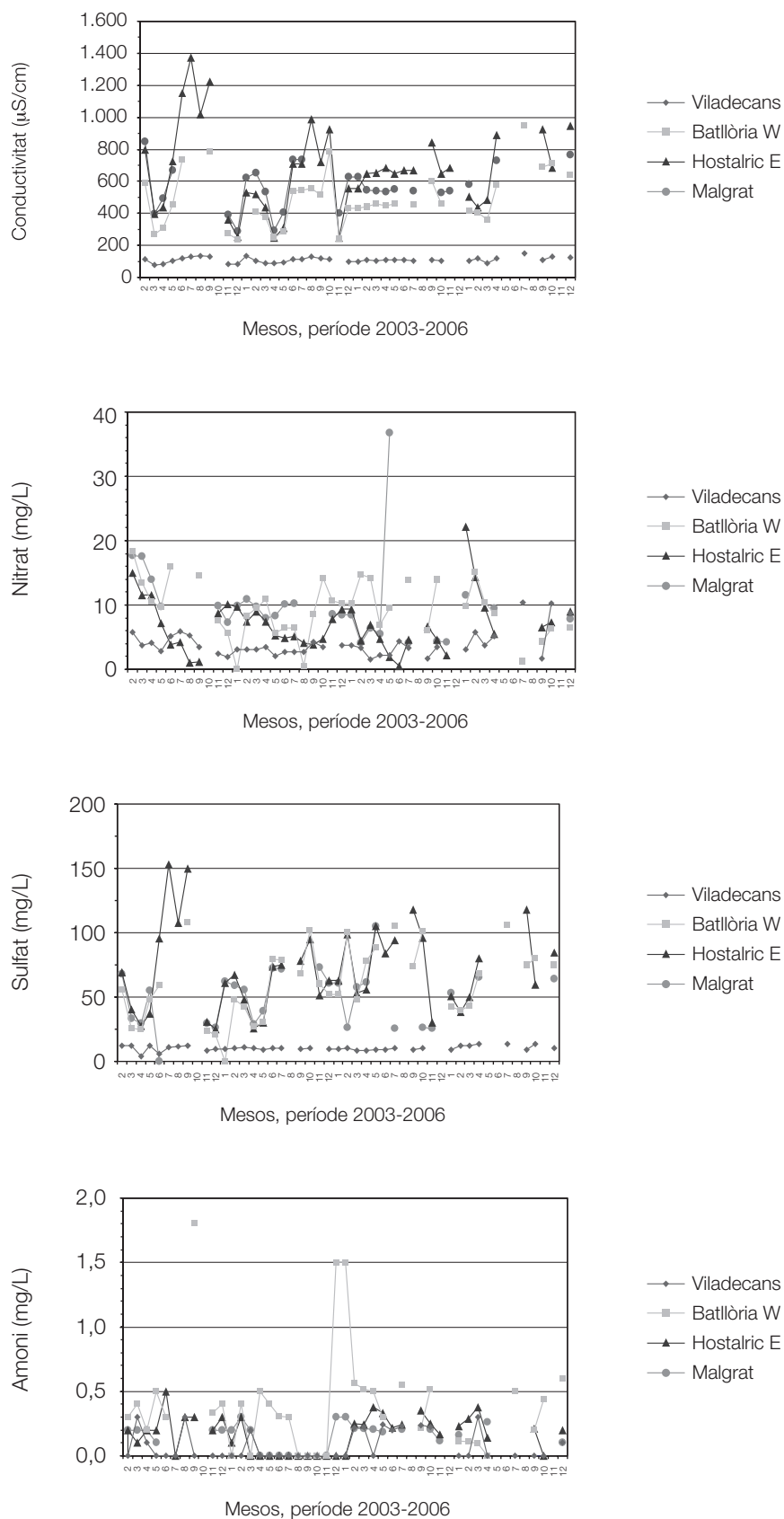


Figura 7. Concentracions de nitrat i amoni a diversos punts del curs de la Tordera.

Taula 5. Freqüència dels parells d'indicadors a la zona de la Batllòria

		Indicador del cabal a Sant Celoni						Indicador del cabal a Sant Celoni			
		Dolent	Mediocre	Acceptable	Excel·lent			Dolent	Mediocre	Acceptable	Excel·lent
Indicador de precipitació al Montseny	Dolent	9	0	0	3	Indicador NH ₄	Dolent	2	0	1	0
	Mediocre	8	1	4	1		Mediocre	0	0	0	0
	Acceptable	8	0	2	3		Acceptable	11	5	4	7
	Excel·lent	1	4	2	2		Excel·lent	7	0	2	2
		Indicador del cabal a Sant Celoni						Indicador del cabal a Sant Celoni			
		Dolent	Mediocre	Acceptable	Excel·lent			Dolent	Mediocre	Acceptable	Excel·lent
Indicador relació riu-aquífer	Dolent	14	2	0	5	Indicador NO ₃	Dolent	0	0	0	0
	Mediocre	10	4	7	4		Mediocre	19	5	8	8
	Acceptable	1	0	1	0		Acceptable	0	0	0	0
	Excel·lent	0	0	0	0		Excel·lent	6	0	0	1

Taula 6. Coeficient de correlació entre indicadors emprant la precipitació al Montseny, el cabal a Sant Celoni i la relació riu-aquífer i hidroquimisme a la Batllòria, en el període 2003-2006

	Precipitació	Cabal	Rel. riu-aquífer	NH ₄	NO ₃
Precipitació	1,000	0,212	-0,051	-0,175	-0,047
Cabal		1,000	0,122	0,030	-0,205
Rel. riu-aquífer			1,000	0,008	-0,227
NH ₄				1,000	0,086
NO ₃					1,000

ja que aporten el context hidrològic concret per a cada període de mostreig.

Agraïments

El projecte Observatori de la Tordera està finançat per l'Agència Catalana de l'Aigua i dirigit des de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Bibliografia

ACA (2004): *Pla Sectorial de Cabals de Manteniment a les Conques Internes de Catalunya*. Agència Catalana de l'Aigua.

ACA-GEOSERVEI (2000): *Actualització i cartografia hidrogeològica del sistema fluvio-deltaic del curs mitjà i baix del riu Tordera*. Agència Catalana de l'Aigua. Inèdit.

MAS-PLA, J. (2005): «Elements per a la gestió hidrològica al tram mig de la Tordera», dins *VI Trobada d'Estudiosos del Montseny*. Diputació de Barcelona, Monografia 41, p.157-161.

MAS-PLA, J., ed. (2006): *La Directiva Marc de l'Aigua a Catalunya: Conceptes, reptes i expectatives en la gestió dels recursos hídrics*. Publicacions del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (Generalitat de Catalunya).

NEGRE, C., MAS-PLA, J. i MENCÍO, A. (2004): «Valoració de les aportacions naturals i antròpiques al cabal en el curs mig del riu Tordera (CIC) i connotacions ambientals derivades», dins *IV Congrés Ibèric de Gestió i Planificació de l'Aigua*, Tortosa. 10 pàgines. CD. 2004.

POFF, N. L., ALLAN, J. D., BAIN, M. B., KARR, J. R., PRESTEGAAR, K. L., RICHTER, B. D. i STROMBERG, J. C. (1997): «The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration», dins *BioScience*, núm. 47, p. 769-784.

PRAT, N., MUNNÉ, A., RIERADEVALL, M., SOLÀ, C. i BONADA, N. (2001): *La qualitat ecològica del Llobregat, el Besòs, el Foix i la Tordera*. Informe de 1999. Diputació de Barcelona.

RICHTER, B. D., MATHEWS, R., HARRISON, D. L. i WIGINGTON, R. (2003): «Ecological sustainable water management: managing river flows for ecological integrity», dins *Ecological Applications*, núm. 13, p. 206-224.

SEAR, D. A., ARMITAGE, P. D. i DAWSON, F. H. (1999): «Groundwater dominated rivers», dins *Hydrological Processes*, núm. 13, p. 255-276.

WINTER, T. C., HARVEY, J. W., FRANKE, O. L. i ALLEY, W. M. (1998): *Ground Water and Surface Water: A Single Resource*. USGS Circular 1139.