

ESTUDI HIDROLÒGIC DE LA TORDERA: ELEMENTS PER AL SEGUIMENT DE LA BIODIVERSITAT I LA GESTIÓ DE L'AIGUA

JOSEP MAS-PLA*^{} I ANNA MENCÍO***

* Centre de Geologia i Cartografia Ambientals (GEOCAMB) i Àrea de Geodinàmica, Departament de Ciències Ambientals, Universitat de Girona, Campus de Montilivi, 17071 Girona.

** Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Barcelona.

MAS-PLA, J. I MENCÍO, A. (2008). «Estudi hidrològic de la Tordera: elements per al seguiment de la biodiversitat i la gestió de l'aigua». A: BOADA, M., MAYO, S. & MANEJA, R. [Cur.]. *Els sistemes socioecològics de la conca de la Tordera*. Barcelona: Institució Catalana d'Història Natural, p. 245-274. ISBN: 978-84-7283-983-0

Resum

El seguiment de la biodiversitat en espais fluvials requereix una base hidrològica de referència que permeti, en zones amb una alta influència humana, identificar quines pressions actuen damunt el medi fluvial i en condicionen l'estat ecològic. En aquest capítol, es presenta la metodologia d'indicadors emprada a l'Observatori de la Tordera amb aquesta finalitat. El treball desenvolupat ha consistit en una avaluació del règim de precipitacions (amb dades del Servei Meteorològic de Catalunya), dels cabals diaris (amb dades de l'Agència Catalana de l'Aigua), de la relació riu-aquífer i de l'hydroquímisme a les aigües superficials (amb dades de camp pròpies) a nivell mensual. Els resultats mostren que en el període 2003-2005, de caràcter sec, el cabal de manteniment a la Tordera, pres com a valor de referència, s'ha incomplert a nivell anual un 50 % dels dies a l'estació d'aforament de Sant Celoni i un 30 % a l'estació d'aforament de Fogars de la Selva; amb un percentatge superior als mesos d'estiu. Les causes n'han estat, addicionalment a la sequera, les derivacions de cabal superficial per a reg i les extraccions dels aquífers; si bé el retorn d'aigua regenerada a la llera aporta un percentatge significatiu del cabal registrat. En aquest sentit, la relació riu-aquífer es caracteritza pel seu continuat caràcter influent en la majoria dels trams mostrejats. Les dades de l'hydroquímisme mostren els punts del riu on tenen lloc diferents tipologies de pressió sobre la qualitat de l'aigua. Finalment, aquest capítol presenta una síntesi de l'estat hidrològic de la Tordera amb la voluntat de complementar altres indicadors biològics i aportar elements per a la gestió de l'aigua.

PARAULES CLAU: hidrologia, indicadors, cabal, nivell freàtic, nitrats, estat hidrològic.

Abstract

Monitoring biodiversity in fluvial areas needs a hydrologic background that allows identifying pressures and impacts upon the ecohydrological dynamics, specifically in those areas where human occupation is intense. In this chapter we introduce four indicators that has been applied by the Observatori de la Tordera in order to characterize stream hydrology. These indicators are the following: 1) rainfall monthly evolution using data from the Servei Meteorològic de Catalunya, 2) daily discharge, using data from the Agència Catalana de l'Aigua, 3) stream-aquifer relationship, and 4) hydrochemistry of surface water; the last two items are based on field data from monthly surveys. Results point out that during the 2003-05 period, which where characterized by low rainfall rates, maintenance discharge in the Tordera river has not been accomplished 50% of the days at the Sant Celoni gauging station, and a 30% at the Fogars station. Unaccomplishment percentages are even higher in summer. In addition to the scarce rainfall, such low discharge values are significantly affected by surface water capture and groundwater withdrawal; even though treated wastewater returns account for a considerable flow percentage. In this sense, stream-aquifer relationship defines a "loosing stream" dynamics in most of the sampling reaches, which confirms the effects of ground water pumping upon the stream discharge. Hydrochemical data show the effect of human pressures on water quality. Finally, we present a synthesis of the hydrological status of the Tordera river with the aim to contribute, jointly with biological indicators, to water management and biological preservation.

KEYWORDS: hydrology, indicator, flow, groundwater level, nitrate, hydrological status

1. INTRODUCCIÓ

El seguiment de la biodiversitat a la conca de la Tordera té lloc en un àmbit de tipus fluvial que comprèn des dels trams més ben preservats del Montseny fins a les zones amb major influència antròpica dels cursos mitjà i baix del riu. Des de la perspectiva hidrològica, la Tordera presenta una important influència humana, la qual afecta una gran part del seu traçat, concretament des de Sant Esteve de Palautordera fins a la desembocadura. Aquest impacte té efectes importants sobre la quantitat i la qualitat de l'aigua. Ambdós aspectes són determinants de l'estat ambiental del riu, en els termes de la Directiva Marc de l'Aigua (DMA, CE 2000/60) i, més important, constitueixen una limitació al desenvolupament dels ecosistemes i a la possibilitat que assoleixin uns nivells de qualitat satisfactoris (Mas-Pla, 2006).

Per arribar al bon estat ecològic del riu, segons obliga la DMA, és necessària una modificació dels usos de l'aigua i de la seva gestió: cal entendre que la natura és un usuari més dels recursos hídrics, si no el primer, i cal atorgar-li aquell cabal amb la qualitat adient per a satisfer-ne les necessitats (Poff *et al.*, 1997). Òbviament, això suposa un conflicte amb els usos actuals, els quals hauran d'adaptar-se mitjançant polítiques d'estalvi i sanejament que conduixin a una gestió òptima de la conca.

L'objectiu de l'Observatori, en tant que estació de seguiment de la biodiversitat, consisteix a monitoritzar els diferents factors que defineixen els ecosistemes a la Tordera. El factor hidrològic, pel fet de tractar-se d'un sistema fluvial, és rellevant en molts àmbits, des de la seva quantitat/qualitat fins a la demanda que ha de satisfer (Sear *et al.*, 1999; Sophocleous, 2002; Richter *et al.*, 2003; Hancock *et al.*, 2005, entre altres). En aquest apartat es fa esment dels elements estrictament hidrològics referents a les aigües superficials (cabal, qualitat) i subterrànies (nivell freàtic). Atès que l'explotació del recurs afecta tant les aigües superficials com les subterrànies, entenem que no es poden deslligar en aquest estudi i cal reconèixer que formen part d'un únic recurs (Winter *et al.*, 1998). Així, la relació riu-aquífer és especialment important en l'avaluació dels recursos hidrològics a la Tordera i de l'estat ecològic del riu. Amb el seguiment hidrològic de l'Observatori, iniciat l'any 2003, es pretén, doncs, fer la descripció de l'estat de l'aigua a la Tordera i la seva evolució amb la finalitat que sigui indicativa dels processos hidrològics actuant, així com de les pressions antròpiques que hi tenen lloc. Mitjançant l'ús d'indicadors hidrològics, s'aporten dades que complementen la interpretació d'altres paràmetres/indicadors de caire biològic i, alhora, constitueixen elements per a una gestió de l'aigua orientada a la preservació i millora dels hàbitats fluvials.

En aquest capítol, es descriuen les tasques desenvolupades en els aspectes esmentats, concretament:

- Una descripció de la proposta metodològica desenvolupada per al seguiment hidrològic de la Tordera, en la qual es defineixen el tractament de les dades i un seguit d'indicadors hidrològics amb l'objectiu de normalitzar qualitativament les mesures de camp.
- La caracterització hidrològica de la conca de la Tordera, en els aspectes descrits relacionats amb els objectius de l'Observatori, i la seva interpretació segons els indicadors definits.
- Una anàlisi de determinats aspectes de la dinàmica hidrològica de la conca, els quals s'han desenvolupat paral·lelament a les tasques de seguiment i que aporten un coneixement més complet de la hidrologia de la Tordera.

2. PROPOSTA METODOLÒGICA

L'àmbit de l'estudi comprèn la conca de la Tordera, amb el seguiment del riu pel que fa als seus trams mitjà i baix, i la riera d'Arbúcies, segons la zonificació de base de l'Observatori.

Els elements del seguiment hidrològic fan referència a l'evolució de la precipitació mensual, com a referent de l'estat hídic del període, l'estudi dels cabals anuals, de la seva distribució i variabilitat, l'estudi de l'evolució del nivell freàtic a l'aqüífer al·luvial de la Tordera com a referent de la relació riu-aqüífer, i l'estudi de la qualitat de les aigües superficials (analítica dels elements majoritaris i nutrients) mitjançant mostres mensuals a diferents punts del riu Tordera i de la riera d'Arbúcies. També s'han aplicat consideracions de caire geològic i hidrològic per caracteritzar el medi fluvial de la Tordera.

2.1. TRACTAMENT DE LES DADES METEOROLÒGIQUES

Les dades meteorològiques de temperatura i precipitació procedeixen del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC; <http://www.meteocat.com>). El tractament realitzat consisteix en una anàlisi exploratòria bàsica. A més, els valors de temperatura i de precipitació permeten calcular els valors d'evapotranspiració real (mètodes de Turc i Coutagne) o potencial (mètode de Thornthwaite).

CÀLCUL DE L'INDICADOR

La precipitació pot considerar-se la variable més directa amb referència a l'estat hídic del sistema i a la disponibilitat o manca momentània d'aigua. Si bé l'estat hidrològic, pròpiament dit, d'un tram de llera depèn d'un cicle hidrològic molt més complex (cabal d'esgotament, relació riu-aqüífer, extraccions antròpiques...), el valor de la precipitació és un indicatiu general de les entrades d'aigua del sistema i, alhora, permet comparar mesos i estacions de diversos anys.

Com a indicador, presenta l'inconvenient que no és extrapolable espacialment; és a dir, cal atribuir la seva representativitat a la subconca més propera a l'observatori meteorològic. En aquest sentit, els observatoris del SMC utilitzats són Montseny-Tagamanent (990 m s. n. m.; inici del registre: any 1996), Corredor-Dosrius (460 m; any 1996), Santa Maria de Palautordera (215 m; any 2000) i Malgrat de Mar (3 m; any 1990).

Es pren la relació entre la precipitació mensual i la precipitació mensual mitjana des de l'inici del registre de dades a l'observatori. Si la precipitació ha estat més elevada de la mitjana, el valor de l'indicador serà superior a 1,0, i si ha estat menor, l'indicador tindrà un valor inferior a 1,0. No obstant això, per a establir les categories d'estat per a la precipitació, es té en compte el coeficient de variació de les dades mensuals; és a dir, la relació entre la desviació estàndard (s) normalitzada a la mitjana dels valors (m). Els valors de referència per a l'indicador s'estableixen segons les categories expressades a la taula 1.

TAULA 1. Indicador referent a la precipitació.

Condicció	Valor de l'indicador	Estat
$P > \mu + \frac{1}{2} \sigma$	$P/\mu > 1 + \frac{1}{2} \sigma/\mu$	Excel·lent
$\mu - \frac{1}{2} \sigma = P = \mu + \frac{1}{2} \sigma$	$1 - \frac{1}{2} \sigma/\mu = P/\mu = 1 + \frac{1}{2} \sigma/\mu$	Acceptable
$\mu - \sigma = P < \mu - \frac{1}{2} \sigma$	$1 - \sigma/\mu = P/\mu < 1 - \frac{1}{2} \sigma/\mu$	Mediocre
$P < \mu - \sigma$	$P/\mu < 1 - \sigma/\mu$	Dolent

2.2. TRACTAMENT DE LES DADES DE CABAL

Les dades de cabal, cedides per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), es tracten de forma estadística per a poder avaluar el comportament d'un any concret respecte als anteriors i observar, a més, l'evolució temporal dels cabals. De les dues estacions d'aforament (EA) disponibles als trams mitjà (EA15 Sant Celoni) i baix (EA89 Fogars de la Selva), només l'EA15 restà disponible des de la riuada de maig de 2004. Malauradament, aquesta «torderada» produí danys molt severos a l'EA89 Fogars de la Selva, la qual ha restat inutilitzada durant la resta del període 2003-2005. Cal advertir que les mesures de cabal presenten deficiències en ambdues estacions, en particular per als cabals alts a EA15 i per als cabals baixos a EA 89 (ACA-PEF, 2003).

D'altra banda, no existeixen registres continus i calibrats dels cabals procedents del vessant meridional del Montseny, des de la riera del Pertegàs fins a la de Breda, ni del massís del Montnegre (Vallgorguina, Olzinelles...), les quals, pel percentatge de conca que drenen, representen un percentatge elevat de les aportacions de cabal. Només es disposa de dades a les rieres d'Arbúcies (EA56) i de Santa Coloma (EA81), que no s'han inclòs en aquest estudi. Conseqüentment, només és possible realitzar un seguiment temporal del cabal.

El tractament estadístic exploratori s'aplica als cabals mitjans diaris i consisteix en el càlcul de les mitjanes, desviacions estàndard, error de la mitjana, coeficient de variació i en el càlcul dels percentils a nivell mensual i anual.

En particular, l'estimació dels percentils és d'especial interès per comparar el cabal registrat durant un període amb les necessitats hidrològiques de cada tram. Aquestes necessitats, anomenades cabals de manteniment o ecològics, han estat calculades per a diferents trams de la Tordera (ACA, 2005), de manera que es disposa d'una estimació de referència. Mitjançant els percentils s'obtenen dades de la probabilitat d'assolir aquest cabal a escala mensual, estacional o anual, i són un indicador del règim hidrològic existent. Aquest règim freqüencial és representatiu de les condicions meteorològiques concretes i de les extraccions realitzades. Per tant, i des de la perspectiva de gestió, aporta informació quantitativa sobre el volum de cabal que caldria alliberar de l'ús humà per assolir els objectius ambientals.

CÀLCUL DE L'INDICADOR

En les condicions d'antropització en què es troba la Tordera, és pràcticament impossible definir, almenys per als darrers anys (des de 1990), quin és el «cabal mitjà» de

referència; que sigui representatiu d'un cert estat natural de la Conca. Per aquesta raó, la referència de l'indicador proposat es fa en relació amb el cabal de manteniment definit en el Pla sectorial de cabals de manteniment de les conques internes de Catalunya (ACA, 2005). S'entén que aquest cabal de manteniment és el valor adequat perquè el riu desenvolupi les seves funcions ecològiques amb una mínima garantia. Si el cabal és inferior, la causa pot ser deguda a un període de sequera (causa natural) o a derivacions o extraccions de cabal elevades (causa antròpica).

L'anàlisi del compliment del cabal de manteniment es fa en relació amb la distribució dels percentils corresponents a la distribució dels cabals mitjans diaris, mensuals o anuals. El valor del percentil ens indica la probabilitat que el cabal del riu presenti un valor inferior o igual al cabal corresponent a aquest percentil. Per tant, si hom coneix la distribució mensual a posteriori, es pot calcular quin percentatge de dies el cabal real ha estat igual o inferior al de manteniment. Els valors de referència per a l'indicador s'estableixen segons les següents categories (taula 2), en que Q_{mant} és el valor del cabal de manteniment segons l'ACA (2005); així, per exemple, $Q(0,40)$ és el valor del cabal corresponent al percentil 0,40 (40 %) en la distribució mensual, anual o plurianual. Aquestes categories són, doncs, aplicables a qualsevol període temporal.

TAULA 2.- Indicador referent al cabal.

Condicció	Estat
$Q_{\text{mant}} < Q(0,20)$	Excel·lent
$Q(0,20) = Q_{\text{mant}} > Q(0,40)$	Acceptable
$Q(0,40) = Q_{\text{mant}} > Q(0,75)$	Mediocre
$Q_{\text{mant}} = Q(0,75)$	Dolent

2.3. TRACTAMENT DE LES DADES DE NIVELL HIDRÀULIC

La mesura del nivell hidràulic indica el volum de recursos emmagatzemats en el subsòl i, cosa més important, la relació de flux entre aigües superficials i subterrànies en aquífers lliures. Des de la perspectiva ambiental i dels objectius de l'Observatori, fem especial èmfasi en aquesta relació, en tant que revela el fet que el comportament de l'aquífer al·luvial superior és determinant en la regulació del cabal superficial. En el cas de la Tordera, amb unes extraccions molt elevades, és conegut que aquestes produeixen una disminució del nivell freàtic, forcen la infiltració de l'aigua superficial i, consegüentment, impedeixen l'alimentació del cabal superficial a partir d'aigües subterrànies (ACA-GeoServei, 2000). Consegüentment, la posició del nivell freàtic a les captacions superficials properes al riu respecte a la cota de la llera indicarà la relació influent o efluent entre riu i aquífer (Winter *et al.*, 1998; Alley *et al.*, 2002). Aquesta relació és una referència per a la interpretació de les dades de cabal i hidroquímiques i també per a la comprovació de la influència de les extraccions subterrànies en el cabal superficial.

En aquest sentit, la simple representació gràfica del nivell freàtic (referit a la seva alçada topogràfica respecte al nivell del mar) en relació amb la cota topogràfica de la

llera al punt més proper indicarà aquest tipus de dinàmica. Atesa la precisió de la topografia 1:5.000 consultada, en molts casos s'assumeix un error topogràfic de $\pm 1,0$ m en la interpretació.

CÀLCUL DE L'INDICADOR

La relació riu-aquífer és un dels paràmetres que millor defineix l'estat hidrològic d'un riu. Si bé aquesta relació, per causes naturals marcadament estacionals, pot ser tant de caràcter influent com efluent, la seva modificació denota la presència d'influència antròpica i, per tant, d'un desequilibri en la dinàmica natural del riu. En condicions de cabal elevat, per exemple durant un període de precipitació intensa, el riu sol presentar una dinàmica *influent*; és a dir, l'aigua del riu s'infiltra a l'aquífer. Contràriament, en períodes de precipitació escassa, és l'aquífer el que proporciona aigua al riu, establint una relació de tipus *efluent*. El cabal d'esgotament del riu consisteix, habitualment, en les aportacions d'aigües subterrànies al flux superficial.

No obstant això, la persistència d'un comportament influent denota la infiltració d'aigua del riu derivada de la captació d'aigües subterrànies mitjançant captacions, les quals amb el seu con de depressió afecten la llera i en capturen el cabal. Aquesta situació condueix a la pèrdua de cabal superficial, a la impossibilitat de rebre aportacions subterrànies i, consegüentment, a l'alteració de la qualitat ecològica d'aquest tram de riu. En sentit oposat, la derivació de cabal superficial mitjançant sèquies i canals de reg o de distribució condueix a una pèrdua de recursos subterranis, atès que força una dinàmica efluent.

Cal distingir, doncs, si la situació es dona de forma natural o induïda. En el cas de la Tordera, on les derivacions d'aigües superficials i les captacions d'aigües subterrànies són intenses, la presència d'un nivell freàtic baix és sovint indicadora de la pèrdua de recursos superficials i, per tant, d'una limitació en la qualitat ambiental del riu.

L'indicador que es proposa consisteix a avaluar la diferència entre el nivell hidràulic en el piezòmetre, o pou de control situat en la formació al·luvial en contacte hidràulic amb el riu, i la cota topogràfica de la llera en el punt més proper al piezòmetre. És a dir, mesurar l'alçada del nivell freàtic en relació amb el nivell d'aigua al riu. Així, una diferència positiva indicarà una dinàmica efluent, i una diferència negativa, influent. Les categories de l'indicador s'expressen a la taula 3, on DNH representa la diferència definida.

TAULA 3. Indicador referent al nivell freàtic.

Situació	Hivern	Estiu
Efluència, $\Delta NF = 1,0$ m	Excel·lent	Excel·lent
Efluència, $1,0 > \Delta NF = 0,0$ m	Acceptable	Acceptable
Influència, $0,0 > \Delta NF = -1,0$ m	Acceptable	Mediocre
Influència, $\Delta NF < -1,0$ m	Mediocre	Dolent

En el càlcul d'aquest indicador s'han de considerar les dinàmiques estacionals. Entendrem que una dinàmica influent és habitual, i per tant acceptable, durant els mesos d'hivern (d'octubre a abril); mentre que a l'estiu (de maig a setembre) és indicativa d'extraccions significatives d'aigua subterrània que no permeten desenvolupar un cabal d'esgotament apropiat, i per tant indicadora d'una qualitat deficient.

En relació amb la dinàmica efluent, aquesta indica una bona situació hidràulica als aqüífers (nivells freàtics alts), i per tant denotarà un estat acceptable del sistema. En períodes d'hivern, si la precipitació és escassa, una dinàmica efluent no indica forçosament un estat dolent, malgrat que les derivacions de cabal superficial puguin afavorir-la.

2.4. TRACTAMENT DE LES DADES HIDROQUÍMIQUES

La distribució espacial i temporal de les dades hidroquímiques a la Tordera, sobre la base dels elements majoritaris i els compostos de nitrogen, és especialment rellevant per constatar la influència de les distintes pressions que tenen lloc a les aigües superficials, havent de considerar tant les variabilitats espacials com les temporals.

Concretament, la variabilitat espacial dels paràmetres o espècies químiques aporta informació de les aportacions de càrrega dissolta o de processos de dilució al llarg del curs del riu. Per a definir aquesta relació, és habitual emprar la mitjana anual de la variable a cada punt de mostreig juntament amb les barres d'error associades.

Un dels conceptes que s'ha considerat en els estudis a la Tordera és el *factor de dilució* entre la càrrega hidroquímica del riu i el cabal. En principi, hom pot intuir que, en períodes de cabal alt, la dilució dels elements/compostos abocats serà eficient i, contràriament, la seva concentració serà més elevada en períodes de sequera. Si és així, aquest factor de dilució esdevé una variable rellevant de control i de gestió de la qualitat hidroquímica del riu, atès que definiria el cabal necessari per obtenir una concentració adequada d'elements/compostos no desitjats. No obstant això, aquest principi pot ésser vàlid en tant que els elements/compostos siguin de caràcter conservatiu. Llebot (2005) observa una relació decreixent de la conductivitat amb el cabal, la qual no és evident entre els compostos de nitrogen i el cabal, argumentant que les reaccions pròpies del cicle del nitrogen a l'àmbit fluvial influeixen més en la seva concentració que la dilució que pot exercir el cabal del riu. Amb tot, entenem que la relació entre quimisme i cabal s'ha de considerar un element metodològic d'interès en les tasques de l'Observatori.

La determinació de la variabilitat temporal és, a més, un dels objectius del caràcter mensual de la presa de mostres. Com a riu mediterrani de cabal variable (Munné i Prat, 2004), l'estacionalitat determina la dinàmica hidrològica i ecològica, la qual cosa atorga un especial interès als canvis al llarg del temps. Per aquest motiu, és apropiat representar per a cada punt la variabilitat de cada un dels paràmetres mesurats a escala mensual cercant tendències estacionals que reflecteixin la persistència de pressions als diversos trams de la conca.

CÀLCUL DE L'INDICADOR

L'ús de les dades hidroquímiques com a referents a la qualitat de les aigües ha estat definit i aplicat metòdicament en els treballs de Prat *et al.* (2002, entre altres informes), en els quals determinen els valors de referència corresponents a la presència de nutrients nitrogenats en relació amb la qualitat de les aigües del riu. Els rangs establerts són els següents (taula 4):

Complementàriament, Llorens (2004) presenta l'ús d'indicadors similars en els que als combina les concentracions de nitrat i amoni a les aigües superficials, relacionats amb les aportacions a la llera d'estacions de tractament d'aigües residuals.

TAULA 4. Interpretació dels rangs de nutrients nitrogenats en aigües superficials (Prat *et al.*, 2002).

Concentració	Descripció	Indicador
Amoni (N-NH₄, mg/l)		
< 0,1	Aigües netes	Excel·lent
0,1 – 0,4	Aigües amb possibles símptomes d'estrès en funció del pH i del temps de residència.	Acceptable
0,5 – 0,9	Aigües amb elevada probabilitat de presentar desequilibris en els ecosistemes.	Mediocre
1 – 4	Aigües amb un gran estrès.	Dolent
> 4	Aigües molt contaminades amb un alt grau de toxicitat.	Dolent
Nitrit (N-NO₂, mg/l)		
< 0,03	Aigües netes.	Excel·lent
0,03-0,3	Aigües amb elevada probabilitat de presentar desequilibris en els ecosistemes.	Mediocre
> 0,3	Aigües amb un gran estrès.	Dolent
Nitrat (N-NO₃, mg/l)		
< 0,67	Aigües netes.	Excel·lent
0,67 - 10	Aigües amb elevada probabilitat de presentar desequilibris en els ecosistemes.	Mediocre
> 10	Aigües que poden presentar elevats símptomes d'eutrofització.	Dolent

3. RESULTATS DEL SEGUIMENT HIDROLÒGIC

Durant el període 2003-2005, s'ha dut a terme un control mensual del nivell piezomètric i del químic a diferents punts del riu Tordera i de la riera d'Arbúcies. La ubicació (coordenades, altitud...) dels punts de mostreig es veu a la figura 1. Tanmateix s'han sol·licitat les dades de cabals a l'ACA i s'han obtingut les dades de precipitació de la web del SMC.

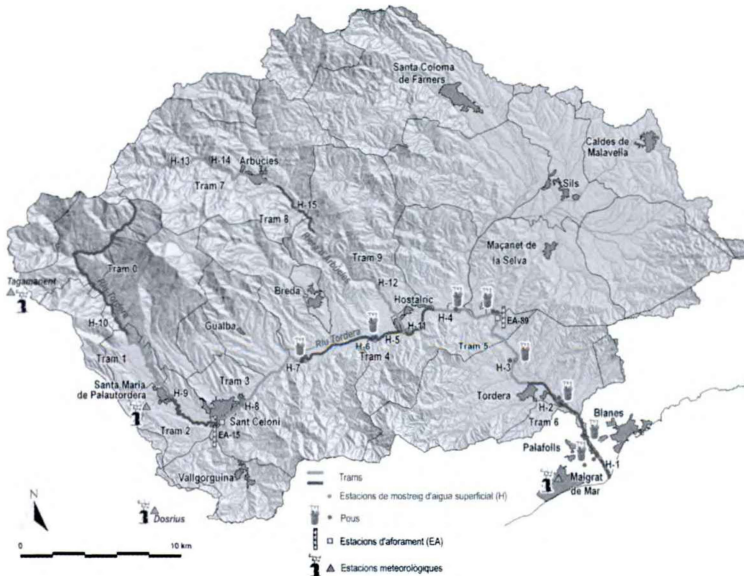


FIGURA 1. Situació dels punts de seguiment hidrològic a la conca de la Tordera.

3.1. RESULTATS DE LES DADES METEOROLÒGIQUES

L'emmarcament del context hidrològic de les variables referents al comportament del riu i dels aquífers es porta a terme a partir de la distribució de les precipitacions en els quatre observatoris del SMC inclosos o propers a la conca de la Tordera. La figura 2 mostra la precipitació mitjana mensual a la Conca en el període 2003-2005, obtinguda com la mitjana aritmètica de les dades mensuals disponibles dels quatre observatoris. En aquesta figura, es fa palesa la manca de precipitacions durant el període de primavera-estiu del 2003 i, cosa més important, durant el període de sequera que s'inicià l'estiu del 2004 i persistí fins a la tardor del 2005. L'any 2003 fou el més plujós (759 mm), mentre que els anys 2004 i 2005 presentaren pluges totals inferiors (586 i 630 mm, respectivament). Cal destacar les abundants precipitacions de tardor del 2003 i del 2005.

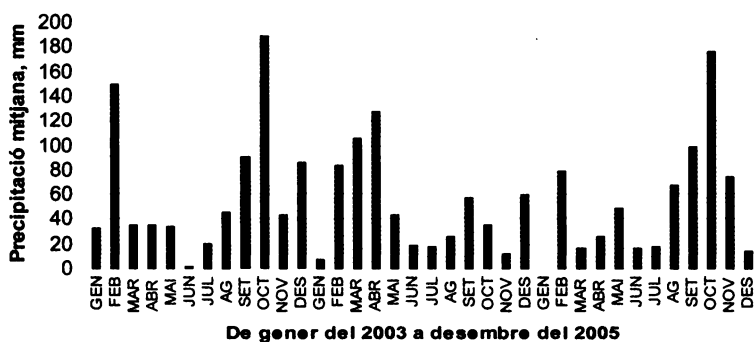


FIGURA 2. Distribució de la precipitació mitjana mensual a la conca de la Tordera, 2003-2005.

TAULA 5. Indicadors referents a la precipitació, 2003-2005.

Any 2003													
Observatori/Mes:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Montseny	M	E	A	D	M	M	A	A	A	E	M	A	
Corredor	D	M	M	D	M	M							
Palautordera	M	E	A	A	M	M	A	M	D	E	A	A	
Malgrat	A	E	A	A	M	M	M	E	E	E	M	E	
Any 2004													
Observatori/Mes:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Montseny	D	E	E	E	A	D	D	D	D	D	D	M	
Corredor	D	E	E	E	M	D	M	D	M	D	D	D	
Palautordera					D	D	M	D	M	D	D	A	
Malgrat	D	E	E	E									
Any 2005													
Observatori/Mes:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Montseny	M	A	A	M	M	A	A	A	E	E	A	D	
Corredor	D	A	M	M	A	M	D	A	E	E	A	D	
Palautordera	D	A	D	M	A	A	A	A	M	A	E	D	
Malgrat	D	D	D	D	A	M	M	E	E	E	E	M	

Llegenda indicadors: E: Excel·lent, A: Acceptable, M: Mediocre, D: Dolent.

La comparació de la precipitació mensual a cada observatori en relació amb la mitjana de valors corresponents al registre de l'estació es mostren amb el valor de l'indicador referent a la precipitació (taula 5).

3.2. RESULTATS DE LES DADES DE CABALS

Les dades referents als cabals mitjans diaris del període 2003-2005 de les estacions d'aforament de l'ACA EA15 Sant Celoni i EA89 Fogars de la Selva s'han representat a la figura 3. En aquesta figura, s'identifica l'estiatge sever de la Tordera, amb valors propers i inferiors a 0,01 m³/s durant l'estiu a EA15. També s'observa clarament la disminució de cabals diaris durant el període de sequera 2004-2005. D'altra banda, el fort descens de cabal diari, amb un caràcter convex molt marcat que s'inicia a la primavera (abril), denota un comportament hidrològic influenciat per una disminució forçada del cabal, ja sigui per derivacions d'aigües superficials com per l'afavoriment de la infiltració des de la llera per captació d'aigües subterrànies.



FIGURA 3. Evolució del cabal mitjà diari a les estacions EA15 i EA89, 2003-05.

Les dades estadístiques es presenten a la taula 6. En comparació amb el període 1991-2005, els cabals corresponents als anys 2003-2004 a l'EA15 mostren un valor mitjà similar, però una mitjana més alta com a resposta als alts cabals del primer semestre. En contrast, el 2005 ha acusat la sequera i té una mitjana i una mediana inferior a les dels quinze anys anteriors.

TAULA 6. Estadístics del cabal mitjà diari, 2003-2005.

	EA15 Sant Celoni				EA89 Fogars de la Selva			
	1991-2005	2003	2004	2005	1991-2003	2003	2004	2005
Dades, n	4530	365	366	365	4243	364	134	—
Mitjana, μ	0,611	0,619	0,674	0,254	7,108	4,675	5,139	—
Mediana, M	0,172	0,276	0,337	0,177	1,589	1,733	2,262	—
Desviació st., σ	1,617	1,008	0,992	0,371	76,838	10,328	11,291	—
Error, σ/vn	0,024	0,053	0,052	0,019	1,180	0,541	0,975	—
C.V.= σ/μ	2,649	1,627	1,472	1,461	10,811	2,209	2,197	—

A nivell mensual, els anys de seguiment han presentat un cabal sensiblement menor que el cabal mitjà mensual del període 1990-2005, essent més acusat durant l'estiu del 2003 i el període de sequera estiu 2004-tardor 2005 (figura 4). Aquesta informació dels valors de cabals al llarg de l'any i de la seva comparació amb el valor mitjà dels darrers anys permet emmarcar el context hidrològic i constitueix una referència en la interpretació d'altres indicadors en el seguiment de la biodiversitat que puguin tenir una dependència amb el cabal.

No obstant això, la interpretació ecològica dels cabals en un règim altament influenciat per derivacions i captacions d'aigua cal fer-la comparant-los amb un valor de referència, com el cabal de manteniment, i la freqüència en què aquest s'ha assolit. La probabilitat de l'ocurrència d'un cabal està més correctament expressada a través dels percentils que per la mitjana, atesa la no-normalitat estadística habitual de les dades de cabals.

Així, l'evolució dels percentils durant el període de seguiment s'ha avaluat de tres maneres diferents: 1) emprant totes les dades dels cabals mitjans diaris del període 1990-2005; 2) emprant totes les dades dels cabals mitjans diaris a cada un dels anys naturals del període, i 3) emprant les dades corresponents als mesos d'estiu (de juny a setembre). Els resultats es mostren a la figura 5, en la qual la banda horitzontal indica el rang de cabals de manteniment definits per cada estació (ACA, 2005). Aquest rang és de 0,204 a 0,305 m³/s a EA15 i de 0,458-0,686 m³/s a EA89. Els resultats d'aquests gràfics mostren que, a nivell anual, l'assoliment del cabal de manteniment és proper al 50 % dels dies a EA15 i al 70 % dels dies a EA89. Aquest càlcul revela el nivell d'explotació al qual està sotmesa la Tordera i quins efectes té aquest fet en el compliment dels cabals de manteniment. També informa del volum de cabal que caldria alliberar al medi fluvial

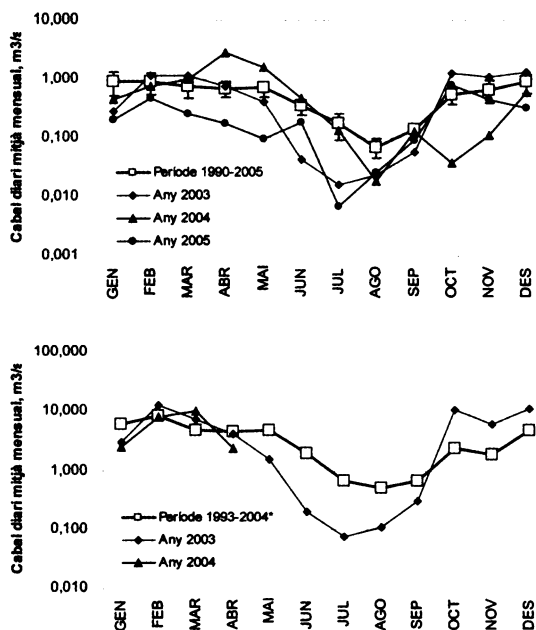


FIGURA 4. Distribució dels cabals mitjans mensuals EA15 Sant Celoni i EA89 Fogars de la Selva, 2003-2005.

al, com a estalvi en l'explotació, per tal que el percentatge de dies en els quals el cabal és igual o superior al cabal de manteniment fos acceptable per assolir-ne el bon estat ecològic del medi fluvial.

Els gràfics de la figura 5 corresponents a l'estiu indiquen que aquests mesos són els que presenten un menor compliment de dies en els quals s'assoleix el cabal de manteniment (inferior al 20 % en ambdues estacions), fet que d'altra banda és habitual en rius mediterranis.

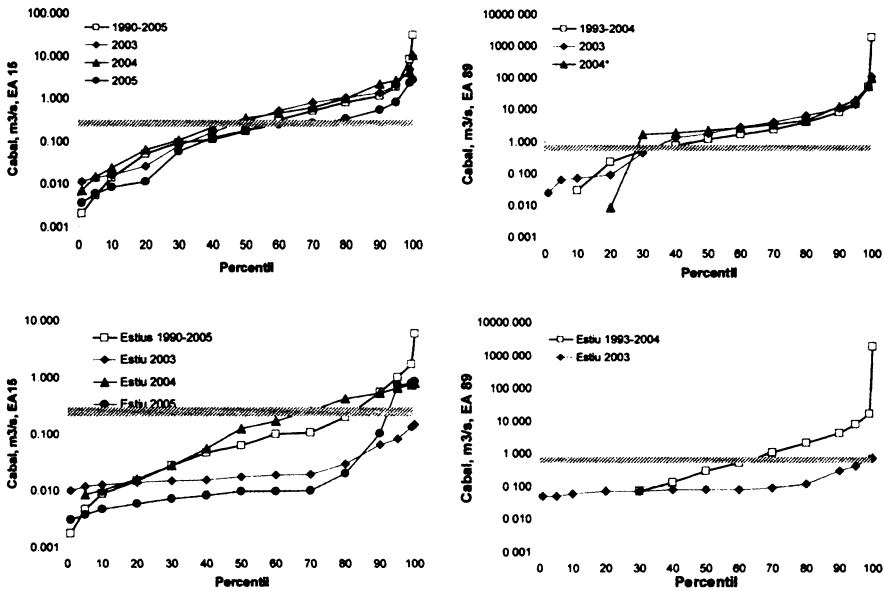


FIGURA 5. Distribució dels percentils del cabal diari mitjà a EA15 Sant Celoni i EA89 Fogars, anualment i durant els mesos d'estiu. Les bandes horitzontals indiquen el rang de cabal de manteniment definit en aquest tram fluvial (ACA, 2005).

La qüestió és si aquests cabals tan baixos són conseqüència de l'evolució hidrològica natural de l'esgotament del cabal o estan influenciats per les extraccions antròpiques i en quin grau. A les figures 3 i 4 s'observava un decreixement convex del cabal a partir del mes d'abril, el qual s'ha atribuït a les extraccions d'aigua del medi. Sala (2005) mostrà que aquest comportament de l'hidrograma està directament relacionat amb la captació d'aigua, com s'exposarà més endavant. En conseqüència, la distribució dels percentils esdevé una eina per a la determinació del compliment dels objectius de cabal i alhora aporta criteris per orientar el manteniment del cabal, tant en el volum requerit com en els mesos en què serà més necessari.

L'aplicació de l'indicador de cabal a nivell mensual amb referència al percentatge de dies que s'assoleix el cabal de manteniment complementa l'anàlisi de cabals en els termes expressats. Els resultats de l'aplicació d'aquest indicador es mostren a la taula 7 per al període 1990-2005 i per a cada un dels anys del període de seguiment.

Per als anys de seguiment 2003-2005, s'observa que l'indicador de cabal és coherent amb els períodes de sequera i amb l'alta variabilitat hidrològica registrada en aquests tres anys; variabilitat que, d'altra banda, contrasta amb el valor mitjà de l'indi-

TAULA 7. Indicador referent al cabal a les EA15 Sant Celoni i EA89 Fogars de la Selva, 2003-2005.

	<i>Indicador de cabal EA15 Sant Celoni</i>				<i>Indicador de cabal EA89 Fogars de la Selva</i>		
	<i>1990-2005</i>	<i>2003</i>	<i>2004</i>	<i>2005</i>	<i>1990-2005</i>	<i>2003</i>	<i>2004</i>
GEN	Acceptable	Dolent	Excel·lent	Dolent	Excel·lent	Excel·lent	Excel·lent
FEB	Mediocre	Mediocre	Mediocre	Acceptable	Excel·lent	Excel·lent	Excel·lent
MAR	Mediocre	Excel·lent	Excel·lent	Dolent	Excel·lent	Excel·lent	Excel·lent
ABR	Mediocre	Excel·lent	Excel·lent	Dolent	Excel·lent	Excel·lent	
MAI	Mediocre	Mediocre	Excel·lent	Dolent	Excel·lent	Excel·lent	
JUN	Mediocre	Dolent	Excel·lent	Dolent	Mediocre	Dolent	
JUL	Dolent	Dolent	Dolent	Dolent	Mediocre	Dolent	
AGO	Dolent	Dolent	Dolent	Dolent	Dolent	Dolent	
SEP	Dolent	Dolent	Dolent	Dolent	Mediocre	Mediocre	
OCT	Mediocre	Mediocre	Dolent	Acceptable	Acceptable	Acceptable	
NOV	Mediocre	Excel·lent	Dolent	Acceptable	Acceptable	Excel·lent	
DES	Acceptable	Excel·lent	Acceptable	Mediocre	Excel·lent	Excel·lent	

cador durant el període 1990-2005, especialment a l'EA15 Sant Celoni. En aquesta EA, l'assoliment dels cabals de manteniment és «mediocre»-«dolent» la major part de l'any en el període 1990-2005, mentre que en el període 2003-2005 ha oscil·lat entre «excel·lent» i «dolent», sense gaires mesos amb qualificadors intermedis («acceptable»-«mediocre»). Aquest fet indica, primerament, l'existència de pressions damunt el règim fluvial del tram mitjà de la conca que impedeixen assolir el cabal de manteniment amb plena satisfacció. En segon lloc, suggereix que l'elevada variabilitat de cabals ocorreguts en el termini de seguiment podrà reflectir-se en els indicadors biològics més sensibles a les variacions de cabal.

3.3. RESULTATS DE LES DADES DE NIVELL HIDRÀULIC

L'evolució del nivell freàtic als piezòmetres de control del període 2003-2005 es mostra a la figura 6, en la qual, per a cada zona, s'ha representat amb una línia la cota de la llera en el punt més proper. En la comparació entre les dades de nivell freàtic i la cota de la llera, cal recordar la influència de la restitució topogràfica en l'anàlisi dels resultats, per la qual cosa cal considerar que pot haver-hi un marge d'error (sobretot, en la cota de la llera) de $\pm 1,0$ m.

La precipitació qualificada «d'excel·lent»-«acceptable» a la conca de la Tordera durant els primers mesos del 2003 i la tardor-hivern del 2004 queda representada en l'evolució freàtica que mostren els pous de la majoria de les zones que permeten una recuperació del nivell freàtic del descens estival, excepte en els entorns de Tordera i Hostalric, on el caràcter industrial i urbà de les extraccions, continu durant tot l'any a diferència de les captacions agràries, manté el nivell freàtic en una posició gairebé constant. En termes generals, els pous ubicats a l'aquífer superficial lliure de la Tordera mostren un caràcter influent del riu durant el període de seguiment; és a dir, la infiltració d'aigua té lloc des de la llera cap a l'aquífer, cosa que provoca la recàrrega dels recursos subterranis induïda per la seva elevada captació. Puntualment, i en determinats pous, s'ha reconegut una relació efluent (zones de Fogars de la Selva, el Perxistor, i la Batllòria).

Pel que fa a la intensa sequera del 2004 al 2005, s'ha traduït en un progressiu descens del nivell freàtic que no ha permès recuperar cotes de nivell similars a la dels hiverns anteriors. S'observa, doncs, que ha dominat el caràcter influent. Només els pous més propers al riu a la zona de la Batllòria han presentat una recuperació significativa dels nivells a partir de l'estiu. La captació contínua d'aigua subterrània i la seva afecció en els recursos disponibles en pot ser la causa. Les dades del mes de gener de 2006, en comparació amb les del novembre, ja mostren la resposta a les precipitacions i a la infiltració derivada del mateix riu.

Cal tanmateix interpretar les dades en funció del possible error en l'assignació de cotes topogràfiques, tant dels pous com de la llera més propera. Malgrat aquest marge

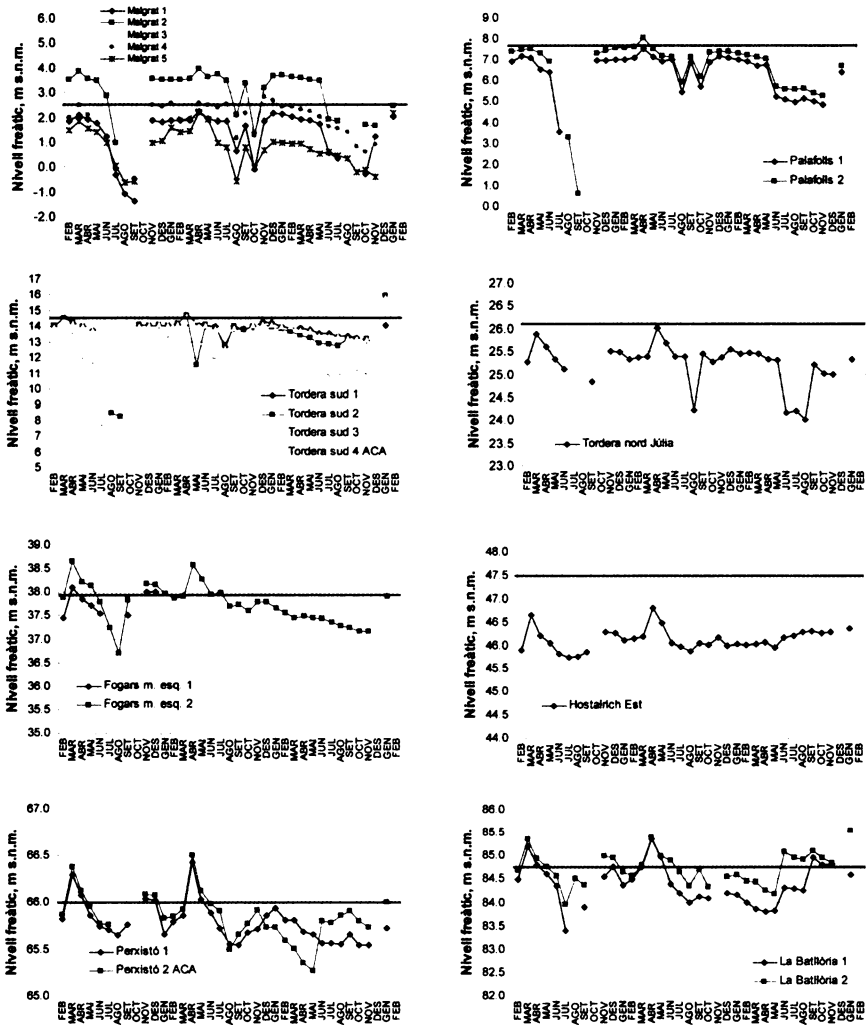


FIGURA 6. Evolució del nivell hidràulic dels trams mitjà i baix de la Tordera en el període 2003-2005, fins a gener del 2006.

d'error, la dinàmica influent continuaria essent dominant en el tram baix de la Tordera i a l'entorn d'Hostalric. En zones amb menor pressió industrial o agrícola (Fogars de la Selva, el Perxistor i la Batllòria), aquesta podria variar i augmentar el nombre de mesos amb relacions efluents, les quals són més ben valorades en l'indicador definit.

Els resultats corresponents a aquest indicador es mostren a la taula 8. En destaca el caràcter especialment «dolent» dels mesos d'estiu, quan té lloc la infiltració de l'escorrimient superficial cap a l'aquífer, fent disminuir l'aigua disponible a la llera per a l'activitat ecosistèmica.

3.4. RESULTATS DE LES DADES HIDROQUÍMIQUES

L'evolució hidroquímica al llarg de la Tordera mostra una variabilitat espacial que reflecteix les aportacions antròpiques al cabal del riu. Considerant només els elements majoritaris dissolts en l'aigua i els nutrients nitrogenats, és possible caracteritzar l'origen d'aquestes aportacions i valorar-ne l'impacte en funció de les concentracions assolides. L'ús d'indicadors, com el proposat per als compostos de nitrogen per Prat *et al.* (2002), permet valorar l'abast de la pressió humana en el quimisme de les aigües del riu i els hàbitats associats.

L'evolució espacial dels elements majoritaris al llarg dels punts de mostreig de la Tordera es mostra a la figura 7, en la qual s'han separat les dades corresponents a 2003-2004 i les del 2005, ateses les característiques de sequera que va caracteritzar aquest darrer any. Malgrat tot, és complex caracteritzar l'efecte de la manca de precipitacions en el quimisme del riu, atès que un augment de cabal en períodes humits no es tradueix en tots els casos en una dilució directa i efectiva d'un determinat compost.

El comportament de la conductivitat, com a referent del total de sòlids en dissolució, és indicatiu del canvi de quimisme al llarg del curs del riu (figura 7). Des dels dos punts situats a la sortida del massís del Montseny (Viladecans, Santa Maria de Palautordera) on la conductivitat és baixa i extremament constant ($\approx 105\text{-}130 \mu\text{S}/\text{cm}$) s'observa un augment progressiu especialment associat a les zones de major activitat humana: Sant Celoni i Hostalric, principalment. Alguns condicionants hidrològics, com les aportacions de tributaris, concretament la riera de Santa Coloma, entre els punts d'Hostalric E i Tordera N, suposen una dilució del quimisme. La contribució de la riera d'Arbúcies, malgrat el seu cabal i la seva baixa conductivitat, no hi apareix reflectida, ateses les aportacions procedents dels polígons industrials i de l'estació depuradora d'Hostalric, propers a la unió dels dos cursos d'aigua. Tanmateix, a la zona del gorg del Perxistor té lloc una disminució de la conductivitat, reflectida en la majoria dels elements, atribuïble a una major aportació d'aigua subterrània a la llera resultant de la disminució significativa de la secció transversal de l'aquífer al·luvial.

El seguiment d'elements específics permet determinar l'origen de les aportacions. Concretament, l'evolució espacial del clorur i el sulfat ha estat relacionada amb aquells trams on les aportacions d'origen industrial són més rellevants. Els compostos de nitrogen, d'altra banda, reflecteixen les aportacions procedents d'aigua regenerada a les estacions depuradores (EDAR) dels municipis. La presència de clorur i sulfat és, doncs, especialment notable als trams propers a Sant Celoni i Hostalric, mentre que l'amoni, el nitrit i el nitrat són especialment elevats al tram Sant Celoni-la Batllòria (EDAR de Palautordera i Sant Celoni) i Malgrat (EDAR de Tordera i Blanes).

TAULA 8. Indicador referent al nivell hidràulic.

Nom	Cota riu	2003												2004												2005												2006											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1												
Malgrat 1	2,5	A	A	A	M	D	D	D	D			A	A	A	A	A	M	M	M	D	M	M	A	A	A	A	A	A	M	D			D	M	M	A													
Malgrat 2	2,5	E	E	E	A	A	D					E	E	E	E	E	E	E	A	M	A	M	A	E	E	E	E	E	A	M			D	A	A	A													
Malgrat 3	2,5	A	A	A	A	M	D					A	A	A	A	A	A	A	A	M	A	M	A	A	A	A	A	A	A	M			D	M	M	A													
Malgrat 4	2,5	A	A	A					D			A	A	A	A	A	A	M	A	D	M	M	A	A	A	A	A	A	M	M	M	D	D	M	M	M													
Malgrat 5 - interior	2,5	M	A	A	D	D	D	D	D			M	M	A	M	M	A	M	D	D	D	D	M	M	M	M	M	M	D	D	D	D	D	M	M	A													
Palafolls 1	7,6	A	A	A	D	D	D					A	A	A	A	A	M	M	M	D	M	M	A	A	A	A	A	A	M	D	D	D	D	M	M	M													
Palafolls 2	7,6	A	A	A	M	M		D	D			A	A	A	A	A	M	M	M	D	M	M	A	A	A	A	A	A	M	D	D	D	D	M	M	A													
Tordera sud 1	14,5	A	A	A	M	M						A	A	A	A	A	M	M	M	D	M	A	A	A	A	A	A	A	M	M	M	D	D	M	M	A													
Tordera sud 2	14,5	A	A	A	M	D		D	D			A	A	A	A	A	D	M	M	D	M	A	A	A	A	A	A	A	M	D	D	D	D	M	M	E													
Tordera sud 3	14,5	A	A	A	M	M						A	A	A	A	A	M	M	M	D	M	M	A	A	A	A	A	A	M	D	D	D	D	M	M	E													
Tordera sud 4	14,5	A	A	A	D	D	D	D	D			M	M	M	M	M	A	M	D	D	D	D	M	M	M	M	M	M	D	D	D	D	D	M	M	M													
Tordera - Júlia	26,3	M	A	A	M	D			D			A	A	A	A	A	M	M	M	D	M	M	A	A	A	A	A	A	M	D	D	D	D	M	M	A													
Fogars M. esquerra 1	37,9	A	A	A	M	M			M			A	A																																				
Fogars M. esquerra 2	37,9	A	A	A	A	M	M	D	M			A	A	A	A	A	A	A	A	M	M	A	A	A	A	A	A	A	M	M	M	M	M	M	A	A	A												
Hostalric Est	47,5	M	A	M	D	D	D	D	D			M	M	M	M	M	A	D	D	D	D	D	M	M	M	M	M	M	D	D	D	D	D	M	M	M													
Can Perxistor 1	66	A	A	A	M	M	M	M	M			A	A	A	A	A	A	M	M	M	M	M	A	A	A	A	A	A	M	M	M	M	M	M	A	A	A												
Can Perxistor 2 - ACA	66	A	A	A	M	M	M					A	A	A	A	A	A	M	M	M	M	M	A	A	A	A	A	A	M	M	M	M	M	M	M	A	A	A											
La Batllòria 1	84,5	A	E	A	A	A	M		M			A	A	A	A	E	A	A	A	M	A	A			A	A	A	A	M	A	A	A	A	A	A	A													
La Batllòria 2	85	A	A	A	M	M	D	M	M			A	A	A	A	A	M	M	M	M	M	M	A			A	A	A	A	M	A	M	M	A	A	A	A												

Llegenda Indicadors: E: Excel·lent, A: Acceptable, M: Mediocre, D: Dolent.

Cota del riu expressa l'altitud de la llera en el punt més proper als pous, en m. s. n. m.

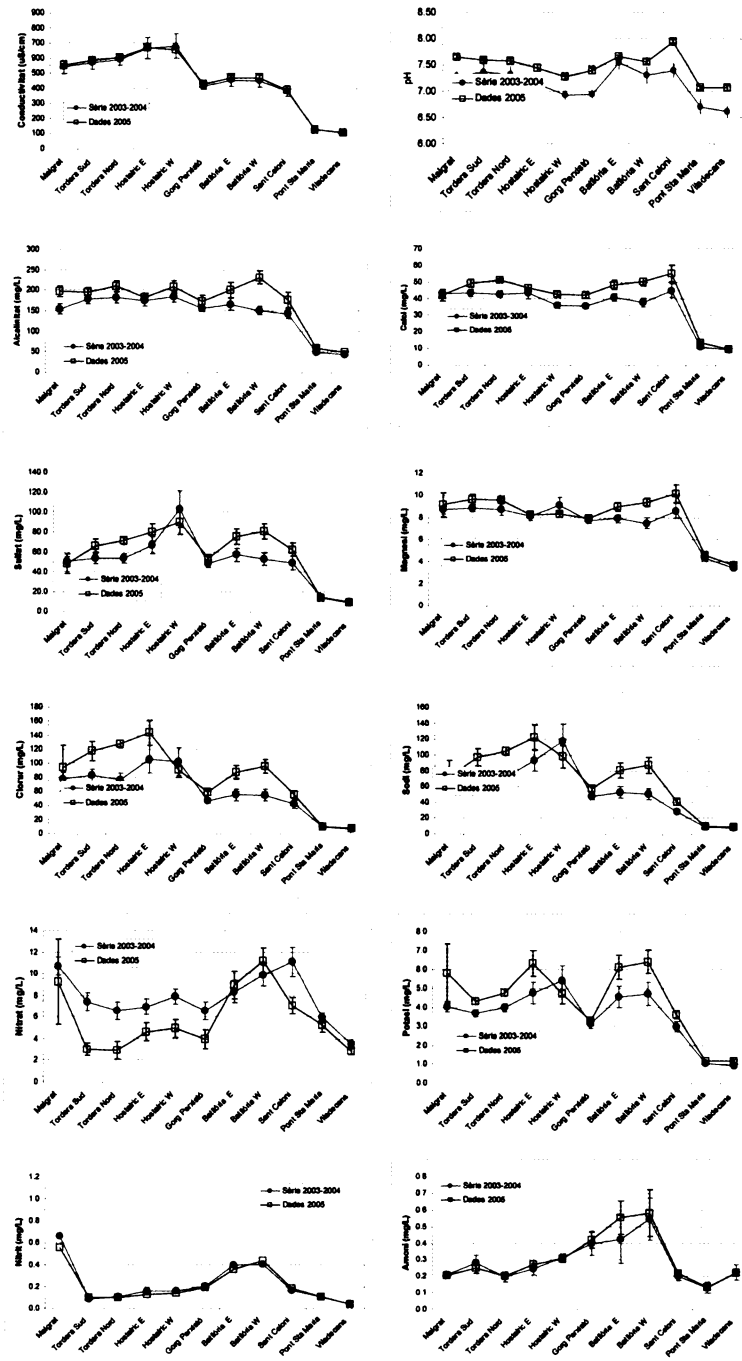


FIGURA 7. Evolució espacial de l'hydroquimisme en el curs de la Tordera.

En el context dels darrers anys, en els quals s'han succeït períodes de sequera significatius, és interessant mostrar l'evolució temporal de determinats paràmetres (conductivitat) i compostos (sulfat, nitrat, amoni; figura 8). En aquest seguiment temporal, però, cal remarcar que, en alguns casos, la mostra pot correspondre amb imminent posterioritat o anterioritat a uns dies plujosos, la qual cosa implica que els valors de químisme no siguin completament coherents amb la precipitació mitjana mensual, expressada a les figures 2 i 8. En tot cas, la conductivitat elèctrica és el paràmetre que millor correlaciona amb el moment hidrològic definit per la precipitació i el cabal superficial. Els valors elevats de conductivitat s'associen als períodes secs i els valors menors als períodes humits, indicant una relació de dilució a la Tordera. Durant el primer semestre del 2005, bàsicament amb precipitació escassa, la conductivitat esdevé uniforme, amb valors mitjans coherents amb un règim de cabals entre 0,1 i 1,0 m³/s (segons EA15, figures 3 i 8).

Entre les diferents estacions, destaca la baixa conductivitat a Viladecans i la seva uniformitat temporal. Les altres estacions presenten una major afecció antròpica, tant pel règim d'extraccions d'aigua superficial o subterrània com pels abocaments d'aigües procedents de diferents activitats, i consegüentment una major variabilitat temporal. Si hom pren el sulfat —que presenta una variabilitat temporal molt similar al clorur— com un indicador dels abocaments antròpics, es fa palesa la semblança de comportament entre el curs mitjà i baix de la Tordera, amb algunes excepcions a l'estació de Malgrat de Mar atribuïbles a la complexitat de la relació riu-aqüífer i dels abocaments en aquest tram (figura 8). La relació amb el cabal és tanmateix clara, observant-se com les escasses precipitacions del primer semestre de 2005 atorguen una major variabilitat a la sèrie temporal.

La resposta dels nutrients, especialment el nitrat com a producte final de l'oxidació del nitrogen orgànic, és una mica diferent a la d'elements de caràcter més conservatiu (clorur, sulfat) descrits. L'evolució temporal del nitrat a la Tordera (figura 8) mostra una marcada variabilitat estacional, especialment observable en el tram mitjà atès que el tram baix (des del colze de Fogars de la Selva fins al mar) sol restar sec durant el període estival. Aquesta variabilitat es caracteritza per un descens de la concentració de nitrat a la primavera i a l'estiu, quan l'assimilació biològica per la flora de la zona de ribera és màxima. Aquesta variabilitat temporal es repeteix també en el període de sequera del 2005, en què, malgrat la baixa precipitació a la tardor anterior, va mantenir un cabal mínim. L'evolució de l'amoni mostra un caràcter més variable que el nitrat, atesa la seva transformació cap a compostos oxidats. Amb tot, segueix un comportament estacional similar al del nitrat.

L'aplicació de l'indicador fa referència a les concentracions de nutrients. En particular, s'observa que les concentracions d'amoni són inferiors a 0,5 mg/l NH₄ (0,39 mg/l N-NH₄), exceptuant alguns valors puntuals més elevats al punt de mostreig de la Batllòria i que les concentracions de nitrat no superen habitualment els 20 mg/l NO₃ (4,52 mg/l N-NO₃). Així, en relació amb els valors de l'indicador (taula 4), els resultats al curs de la Tordera són que les aigües són «acceptables» (51,8 %) i «excel·lents» (45,3 %) pel que fa a l'amoni, i majoritàriament «mediocres» (80,4 %) en relació amb el nitrat (taula 9). Notem que, en el cas del nitrat, la qualitat és independent del punt de mostreig i els valors d'«excel·lent» coincideixen en els mesos estivals. Tanmateix l'amoni ha assolit el qualificatiu d'«acceptable» durant el 2005, en relació amb el període de sequera en el qual el percentatge de cabal procedent d'aigua regenerada o altres efluents ha estat superior que en períodes anteriors (2004) més humits.

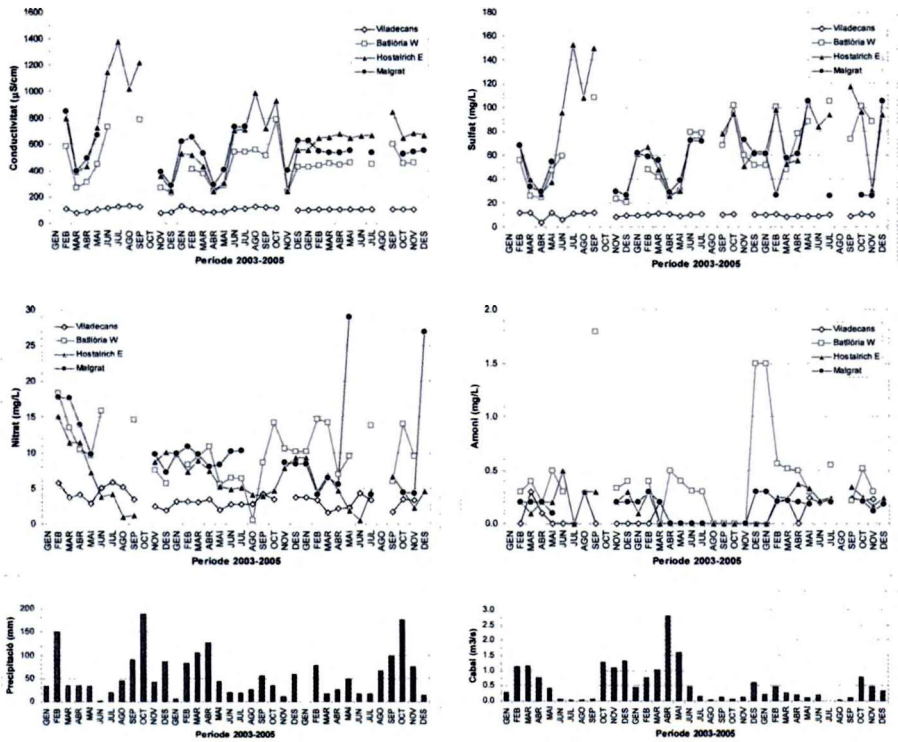


FIGURA 8. Evolució mensual de la conductivitat i de les concentracions de sulfat, nitrat i amoni a distints punts de la Tordera en el període 2003-2005.

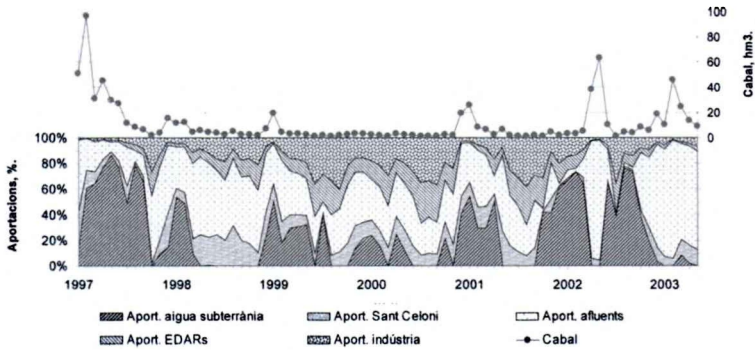


FIGURA 9. Balanç hidrològic mensual al tram mitjà de la Tordera diferenciant els percentatges de les aportacions de cada una de les procedències (segons Negre, 2004). El gràfic superior mostra les aportacions, en hm³/mes, a l'EA de Fogars de la Selva (dades de l'ACA).

A la riera d'Arbúcies, els paràmetres hidroquímics reflecteixen la menor pressió humana damunt el medi fluvial. Els sis punts de seguiment, des del molí del Regàs fins a la confluència amb la Tordera a Hostalric, mostren una baixa variabilitat hidroquímica, amb valors de conductivitat de $177 \pm 3,7 \mu\text{S/cm}$ al Regàs i $282 \pm 5,6 \mu\text{S/cm}$ a Hostalric. Les concentracions dels elements/compostos majoritaris són a tota la riera lleugerament superiors als mesurats a Viladecans a la Tordera (excepte alcalinitat i calci, que són similars), assenyalant el caràcter poc alterat de la seva qualitat. La diferència de conductivitat entre el curs alt de la riera d'Arbúcies (Regàs) i el curs alt de la Tordera (Viladecans) s'atribueix a la distinta litologia dominant a cada una de les subconques, metamòrfica al massís del Montseny i granítica a les Guilleries.

Els indicadors per a la riera d'Arbúcies es mostren a la taula 10, la qual es caracteritza pel qualificatiu d'«excel·lent» respecte a amoni i nitrit. Pel que fa al nitrat, aquest sol ésser «excel·lent» en el tram anterior a Arbúcies i «mediocre» aigües avall d'aquesta població on, a causa de la influència dels abocaments d'aigua regenerada, presenta concentracions mitjaneres d'uns 8 mg/l NO_3 ($1,81 \text{ mg/l N-NO}_3$), properes al límit satisfactori d'aquest qualificatiu.

4. ALTRES RESULTATS

Durant el període de seguiment hidrològic, s'han desenvolupat diversos estudis monogràfics relacionats amb aquests aspectes i en l'àmbit d'interès de l'Observatori. Les aportacions d'aquests treballs han permès fonamentar algunes de les observacions derivades del seguiment i alhora que contribuir al coneixement de la hidrologia de la conca.

Una de les qüestions cabdals en qualsevol aproximació hidrològica a un riu amb una elevada influència antròpica és conèixer quina és la repercussió dels abocaments procedents d'activitats humanes, tant pel que fa a la modificació del cabal com a la seva qualitat hidroquímica. El primer punt, l'afectació en el cabal, va ésser estudiat per Negre (2004) i Negre *et al.* (2004) mitjançant un balanç hidrològic en el tram mitjà de la Tordera entre les estacions d'aforament de Sant Celoni i Fogars de la Selva des de gener del 1997 a maig del 2003. En aquest balanç, les entrades corresponen al cabal aforat a Sant Celoni, més les aportacions de les dues rieres aforades (Arbúcies i Santa Coloma), les altres rieres dels vessants del Montseny i el Montnegre i les aportacions procedents de les EDAR i de les indústries, obtingudes a partir de dades de l'Administració. Les sortides corresponen als cabals registrats a l'estació de Fogars de la Selva. El bescanvi d'aigua entre el riu i l'aqüífer esdevé la incògnita del balanç. Els detalls referents als càlculs de cada un dels factors del balanç estan descrits a les referències esmentades.

A la figura 9 es mostra la distribució dels percentatges, mes a mes, entre el 1997 i el 2003. S'hi observa la rellevant contribució d'aigua subterrània al primer semestre de l'any i la seva relació amb les crescudes de la Tordera, la qual cosa correspon a la resposta integral del sistema hidrològic en un moment determinat de recàrrega. L'altre fet rellevant és la important contribució procedent del retorn de les aigües domèstiques i industrials, que en èpoques de sequera (com va ser el període 1997-2002), i especialment durant el segon semestre de l'any, pot assolir percentatges superiors al 40 % del cabal total.

TAULA 9. Indicador referent a l'hidroquimisme a la Tordera.

	2003										2004										2005																
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
NH₄																																					
1	Malgrat de Mar	A	A	A	E	E	E				A	A	A	A	E	E	E	E				E	A	A	A	A	A	A	E	A				E			
2	Tordera Sud (EDAR)	A	A	E	A	E	E				A	A	E	A	A	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A	A	A	A	E	A			A	A	E	
3	Tordera N - Júlia	A	A	A	E	E	E		A		A	E	E	A	A	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A	A	A	E	A			A	A	E		
4	Hostalric E	A	E	A	A	A	E	A	A		A	A	E	A	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
5	Hostalric W	A	A	A	A	E	A	A	A		A	A	A	A	E	A	A	E	E	E	E	E	A	E	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
6	Gorg del Perxistor	A	A	A	A	E	E	E	E		A	A	M	M	E	E	A	E	E	E	E	E	E	E	M	M	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
7b	La Batllòria-post clav. E			E								A	A	E	E	A	A	A	E	E	A	E	D	D	A	A	M	A	A	A	A	A	A	A	A		
7a	La Batllòria W	A	A	A	A	A			D		A	A	E	A	E	A	A	A	E	E	E	E	E	D	E	A	A	A	A	E	A			A	A	E	
8	Sant Celoni - Central	A	A	E	A	A	E	A	A		A	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A	A	A	A	A	E	A	A	A	A	A	A	A	
9	Pont Santa Maria	E	A	E	E	E					E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A	A	A	A	A	E	A	A	A	A	A	A	A	
10	Viladecans	E	A	E	E	E	E	A	E		E	E	E	A	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A	A	A	E	A	A	A	A	A	A	A	A	
NO₂																																					
1	Malgrat de Mar	M	M		E	E	E				M	E	M	M	M		D	M	M				E	M	M	M	M		M	E	M				M		
2	Tordera sud (EDAR)	M	M		E	E	E				M	E	E	M	M		E	E	E	E	E	E	M	E	E	E	E		E	E	E		E	E	M		
3	Tordera N - Júlia	M			M	E	E		E		M	E	M	M	M		M	E	E	E	E	E	E	E	M	M		M	M	M		E	M	E	E		
4	Hostalric E	M			M	M	E	E	E		M	E	M	M	M		M	E	E	M	E	E	E	E	M	M		M	M	M		E	M	E	E		
5	Hostalric W	M	M		M	E	E	E	M		M	M	M	E	E		M	E	E	E	M	E	E	M	M	M	M		M	M	M		E	M	E	E	
6	Gorg del Perxistor	M			M	M	E	E	E		M	E	M	M	M		M	M	M	M	M	M	E	M	M	M	M		M	M	M		M	M	E	E	
7b	La Batllòria-post clav. E												M	M	M		M	M	M	M	D	E	M	M	M	M		M	M	M		M	M	M	E		
7a	La Batllòria W	M	M		M	D			M		M	M	E	M	M		M	E	M	M	M	D	E	M	E	M	M		M	M	M		E	M	M	E	
8	Sant Celoni - Central	M	M		M	M	E	E	E		M	M	M	E	M		M	M	M	E	M	E	M	M	M	M	M		M	M	M		M	M	E	M	
9	Pont de Santa Maria	E	M		M	M					M	M	E	E	E		E	E	E	E	E	E	E	E	M	M		E	E	M		E	E	M	E	M	
10	Viladecans	E	E		E	E	E	E	E		E	E	E	E	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E		E	E	E		E	E	E	E	E	
NO₃																																					
1	Malgrat de Mar	M	M	M	M	E	E				M	M	M	M	M		M	M	M				M	M	M	M	M		M	E	M				M		
2	Tordera Sud (EDAR)	M	M	M	M	M					M	M	M	M	M		M	M	M	M	E	E	E	M	M	M	E	M	E	E	E		E	E	M		
3	Tordera N - Júlia	M	M	M	M	M	E		E		M	M	M	M	M		M	M	M	E	E	E	M	M	M	E	M	M	E	E	E		E	E	E		
4	Hostalric E	M	M	M	M	M	M	E	E		M	M	M	M	M		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		M	M	M		E	M	E	E		
5	Hostalric W	M	M	M	M	M	E	M			M	M	M	M	M		M	M	M	M	M	E	M	M	M	M		M	M	M		E	M	M	M	M	
6	Gorg del Perxistor	M	M	M	M	M	E	E	E		M	M	M	M	M		M	M	M	E	M	M	M	M	M	M		M	M	M		E	M	E	M	M	
7b	La Batllòria-post clav. E				E								M	M	M		M	M	M	M	E	M	M	M	M		M	M	M		M	M	M	M	M	M	
7a	La Batllòria W	M	M	M	M	M			M		M	M	E	M	M		M	M	M	E	M	M	M	M	E	M	M		M	M	M		M	M	E	M	E
8	Sant Celoni - Central	M	M	M	M	M	E	E	E		M	M	M	M	M		M	M	M	E	M	M	M	M	M	M		M	M	M		M	M	M	E	M	M
9	Pont de Santa Maria	M	M	M	M	M					M	M	M	M	M		M	M	M	E	M	M		M	M	M	M		M	M	M		E	M	M	M	M
10	Viladecans	M	M	M	E	M	M	M	M		E	E	M	M	M		E	E	E	E	M	M		M	M	M	E	E	E		M	M		E	M		M

TAULA 10. Indicador referent a l'hidroquimisme a la riera d'Arbúcies.

		2004										2005													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N-NH4																									
11	R. Arbúcies-Hostalric			E	E		A	E		E	E	E	E	E	A	A	A	A	A	A		A	A	A	
12	Grions	A	E	E	E		A	E		E	E	E	E	E	A	A	M	A	A	A		A	A	A	
13	Rieral	A	A	M	E		A	A		E	E	E	A	A	A	A	A	E	A		A	E	A		
14	Arbúcies post EDAR	M	M	M	A		E	E															E		
15	Els Vinyets - Pipes	E	E	E	E		E	E		E	E	E	E	E	E	A	A	E	E		E	E			
16	Moli del Regàs			E	E		E			E					E					E		E	E		
NO2																									
11	R. Arbúcies-Hostalric			E			E	E		E	E	E	E	E	M	M	M	M	M	M		M	M	E	
12	Grions	E	E	E			E	E		E	E	E	E	E	M	M	M	M	M	M		M	M	E	
13	Rieral	E	E	E			E	E		M	E	E	E	E	M	M	M	E	M	M		M	M	E	
14	Arbúcies post EDAR	E	E	M			E	E																	
15	Els Vinyets - Pipes	E	E	E			E	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E	E		E	E			
16	Moli del Regàs			E			E			E					E					E		E	E		
NO3																									
11	R. Arbúcies-Hostalric			M	M		M	M		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		M	M	M	
12	Grions	M	M	M	M		M	M		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		M	M	M	
13	Rieral	M	M	M	M		M	M		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		M	M	M	
14	Arbúcies post EDAR	M	M	M	M		E	E																	
15	Els Vinyets - Pipes	E	E	E	E		M	M		M	E	M	M	M	E	E	E	E	M	E		E	E		
16	Moli del Regàs			E	E		E			E					E					E		E	E		

L'evolució de les dades piezomètriques registrades per l'ACA en els punts de control a l'aqüífer al·luvial superficial del tram mitjà de la Tordera amb referència a la cota de la llera més propera coincideix amb el signe del bescanvi calculat en el balanç. És a dir, en general, durant el primer semestre de l'any, el nivell freàtic sol ser superior a la cota de la llera, i dona lloc a una alimentació del cabal superficial, i durant el segon semestre es dona la situació inversa. Aquesta coherència entre el resultat del balanç i l'evolució piezomètrica confirma la validesa del balanç realitzat i de les seves tendències. La magnitud estimada del bescanvi riu-aqüífer està condicionada per la precisió de les dades utilitzades.

Aquest balanç il·lustra la dependència de l'estat hidrològic de la Tordera de les aportacions antròpiques, tant en quantitat com en qualitat, i la rellevància que el sanejament i la gestió d'aquestes aigües té en l'assoliment dels objectius definits a la DMA.

Llebot (2005) va tractar la influència d'aquesta dinàmica hidrològica amb significat petja antròpica en la qualitat de les aigües. Basant-se en les dades mensuals de quimisme de l'ACA des del 1974 fins al 2004, pogué observar les variacions en diferents paràmetres significatius al llarg d'aquest període durant el qual va tenir lloc, especialment a la dècada dels anys 1990, la incorporació al pla de sanejament de la Tordera de les EDAR municipals. Els resultats anuals mitjans per a tota la Tordera mostren un increment del pH, de l'ordre de 0,5 unitats de pH, a partir del 1995; un increment continu d'oxigen dissolt durant tota la dècada del 1990, i un augment del nitrat, també a partir del 1990, amb un màxim en els primers anys de la dècada i l'establiment d'un valor estable de nitrat a partir del 1995 fins a l'actualitat, superior al valor mitjà anterior al 1990 (figura 10).

L'evolució temporal d'aquests components s'atribueix a la resposta del sistema fluvial a l'abocament d'aigües regenerades al riu, riques en nutrients, que permeten, d'una banda, una recuperació dels hàbitats de ribera, especialment de la vegetació, cosa que, juntament amb la progressiva eliminació de matèria orgànica de les aigües residuals, afavoreix l'augment d'oxigen dissolt a l'aigua. L'augment notable de la concentra-

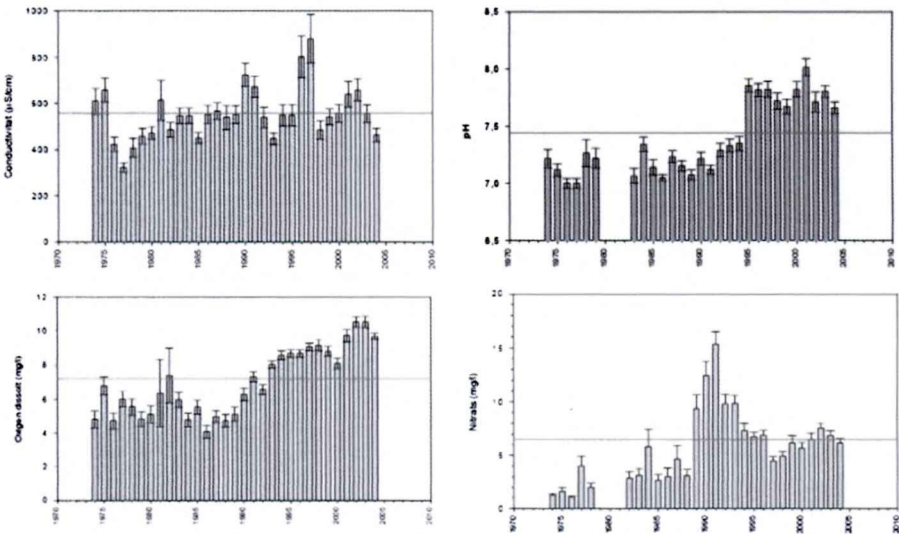


FIGURA 10. Evolució de la conductivitat, pH, oxigen dissolt i nitrat a la Tordera (segons dades de l'ACA).

ció de nitrat entre el 1989 i el 1993 s'interpreta com l'efecte dels abocaments de les primeres depuradores de la conca, els nutrients de les quals no eren assimilats pels organismes, especialment la vegetació. La posterior davallada de la concentració de nitrat respondria a l'increment de la vegetació relacionada amb una millora del medi biològic i, per tant, a una major demanda de nutrient, la qual ha romàs estable des del 1993 fins avui. Aquesta hipòtesi interpretativa assenyala l'assimilació per la dinàmica ecològica d'aquest hàbitat fluvial dels abocaments d'aigua regenerada al riu, modificant el quimisme tant de l'aigua superficial com de la mateixa estructura de la vegetació.

En relació amb la dependència de les concentracions amb el cabal, Llebot (2005) mostra com la conductivitat a les estacions de seguiment hidroquímic de l'ACA properes a les estacions d'aforament de Sant Celoni i Fogars de la Selva presenta una disminució a l'augment de cabal; si bé a la primera estació es constata com els cabals baixos mostren una gran dispersió dels valors de conductivitat i els cabals alts solen presentar valors de conductivitat més baixa i amb una menor variabilitat. Aquesta relació és observable contrastant la dada de conductivitat amb el cabal diari corresponent al dia de la mesura, però esdevé inapreciable si s'utilitzen mitjanes mensuals. Pel que fa al nitrat, no ha estat possible identificar aquest efecte de dilució del cabal en la seva concentració, cosa que s'atribueix al fet que els distints processos i reaccions que afecten el cicle del nitrogen determinen la concentració del nitrat per damunt dels efectes de dilució.

Finalment, Sala (2005) investiga l'estat hidromorfològic de la Tordera emprant variables geomorfològiques i hidrològiques i emfasitzant l'interès dels processos geodinàmics en la interpretació de l'estat d'un tram fluvial. Basant-se en els requeriments de la DMA i en els treballs de Rosgen (1994) i FISRWG (1998), descriu, per a diferents trams, les característiques morfològiques de la zona de ribera (secció, pendent, materials/granulometria, usos dels marges) i la seva hidrologia (coeficient de Manning, cabal màxim a la secció de la zona de ribera, dinàmica sedimentària: erosió de marges o incisió de la llera, formació de barres i relació riu-aquífer), les quals són coherents i complementen els paràmetres establerts en els annexos de la DMA. Aquesta anàlisi exhaustiva en vint-i-un punts d'observació permet identificar aspectes modificats de la hidromorfologia natural d'un riu que dificulten l'assoliment d'un estat hidrològic adequat

En relació amb els factors hidrològics, Sala (2005) també analitza les corbes d'esgotament dels hidrogrames registrats a les EA de Sant Celoni i Fogars de la Selva, observant comportaments anòmals en l'evolució del cabal (figura 11). Aquests comportaments

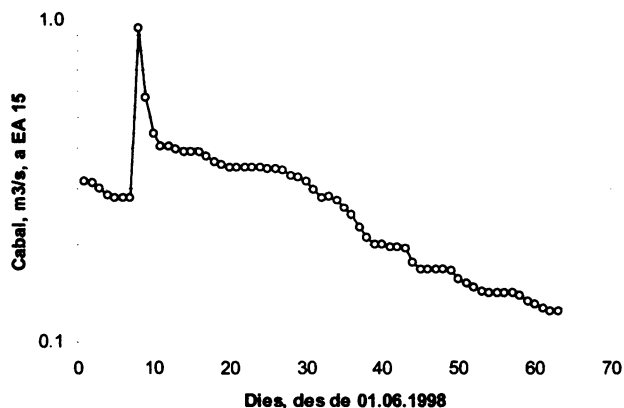


FIGURA 11. Representació de l'hidrograma de juny de 1998 a l'EA15 Sant Celoni, de l'evolució aproximada de la corba d'esgotament i del descens anòmal produït per les captacions.

consisteixen en una disminució progressiva del cabal superior a l'esperada en el comportament natural d'una conca i atribuïble a l'efecte de les extraccions d'aigua subterrània damunt el cabal del riu. La incorporació d'aquest factor addicional a l'equació que descriu l'esgotament (recessió) del cabal —equació de Maillet— permet modelar aquest fenomen i presentar una aproximació al volum d'aigua subterrània extret i que no ha alimentat el cabal superficial del riu.

5. ESTAT HIDROÒGIC DE LA TORDERA: VALORACIÓ DELS RESULTATS

La valoració dels resultats de les distintes variables que conformen el seguiment hidrològic ha permès avaluar l'estat hidrològic a la Tordera, determinant l'afectació de les pressions humanes en la qualitat del sistema fluvial a cada tram del curs del riu.

Concretament, al curs alt del riu, en el tram comprès des de la capçalera fins al cim del Montseny i la presa de Viladecans, les afeccions al cabal són mínimes i aquest es comporta de forma natural. La baixa permeabilitat dels materials cristal·lins —ignis i metamòrfics— no permet l'existència de captacions significatives d'aigües subterrànies que influeixin en el cabal superficial del riu. En aquest aspecte, la derivació de cabal que té lloc a la presa de Viladecans és la pressió més important que s'exerceix damunt del règim fluvial, i fa que en períodes estivals el curs de la Tordera pugui esdevenir sec a partir d'aquest punt. Aquest és un fet rellevant, ja que condiciona que el tram inicial del curs mitjà del riu —des de Viladecans fins a pràcticament Sant Celoni— depengui a l'estiu de les aportacions dels afluents, de l'alimentació per un flux subterrani dels aquífers limitat per la baixa entitat hidrogeològica dels materials neògens que afloren en aquest tram de riu i dels abocaments d'aigües regenerades o de retorns de diversos usos.

La qualitat de l'aigua del riu, a Viladecans, està caracteritzada per una baixa conductivitat i un qualificatiu «mediocre» amb referència al nitrat, si bé els valors analítics se situen al límit inferior d'aquest qualificatiu i per aquest motiu i pel caràcter predominant sec del període 2003-05, pot considerar-se rigorós. Pel que fa als altres compostos de nitrogen, l'indicatiu és «excel·lent».

En el curs mitjà, l'anàlisi del cabal està representada per l'estació d'aforament EA15. Només un terç dels mesos del període 2003-2005 ha mostrat qualificatius «acceptable» o «excel·lent» de l'indicador corresponent, i és significatiu que en la meitat dels mesos, el 75 % del dies no han assolit el cabal de manteniment i, consegüentment, reben el qualificatiu de «dolent». A partir de l'EA15, la resta del curs mitjà rep aportacions notables de les rieres que aflueixen a la Tordera així com d'aigües regenerades procedents de les EDAR. Aquestes aportacions, que en principi tendrien a millorar la qualitat de l'indicador, es veuen contrarestades per la infiltració d'aigua superficial cap a l'aquífer, com ho mostren els indicadors referents al nivell hidràulic i la pèrdua de cabal corresponent que repercuteix en el desenvolupament de les seves funcions hidromorfològiques i ecològiques. Tanmateix en el seguiment setmanal que es féu durant l'estiu del 2004 es comprovà com, malgrat la sequera pròpia d'aquests mesos, es mantingué un petit cabal en aquest curs mitjà que evidencià la rellevància de les aportacions d'aigua regenerada a la llera (Llebot, 2005). No va ser així durant el 2005, quan la perllongada se-

quera donà lloc a un descens notable dels nivells hidràulics als aqüífers al·luvials i a una major infiltració de les aigües superficials.

Amb referència al quimisme, el curs mitjà presenta els increments més elevats de soluts atribuïbles tant a les concentracions d'activitats industrials com als abocaments d'aigua regenerada, indicats pels valors clorur, sulfat, sodi i potassi en el primer cas i pels compostos de nitrogen en el segon. Concretament, l'indicador referent a l'hidroquimisme atorga majoritàriament l'atribut «mediocre» al curs mitjà en relació amb el nitrat i el nitrit, i «excel·lent» (a algun punt com la Batllòria, «acceptable») per a l'amoni. Cal destacar la disminució generalitzada de la concentració de nitrat als mesos d'estiu, atribuïda a l'assimilació d'aquest nutrient per part de la vegetació.

El curs baix, des de Fogars de la Selva fins al mar, presenta una idiosincràsia pròpia atès que és on les pressions antròpiques es manifesten amb més intensitat, concretament la pèrdua per infiltració de l'aigua del riu a l'aqüífer i la contribució d'aportacions antròpiques al cabal.

Pel que fa al cabal, l'estació d'aforament EA89 a Fogars de la Selva quedà inservible arran de la riuada del mes de maig del 2004, raó per la qual no es disposa de dades d'indicadors de cabal, si bé durant els mesos anteriors del 2003 i el 2004 presenta uns atributs més ben qualificats que l'EA15 a Sant Celoni. Quant al nivell freàtic, domina el caràcter influent relacionat amb la intensa explotació d'aigua subterrània en els aqüífers al·luvials del curs baix, si bé aquest s'ha considerat «acceptable» durant els mesos d'hivern (en entendre que domina una dinàmica de recàrrega) i «mediocre»/«dolent» durant els mesos d'estiu i tardor, quan la diferència de nivell era significativa. Novament, l'efecte de la sequera ha controlat aquesta dinàmica durant 2004-2005.

Amb referència al quimisme, domina en aquest tram l'atribut «mediocre» com a conseqüència dels abocaments per part d'activitats antròpiques. No obstant això, aquestes no representen un increment en les concentracions dels diferents elements/compostos analitzats i es mantenen (i fins i tot disminueixen) les concentracions mesurades a la zona d'Hostalric. Només els compostos de nitrogen presenten un cert augment relacionat amb els abocaments de les estacions depuradores d'aigües residuals.

La taula 11 mostra una síntesi dels indicadors a cada un dels trams de la Tordera.

Com s'ha exposat, l'exercici de seguiment dels indicadors durant 2003-2005 a escala mensual ha permès caracteritzar l'eix fluvial de la Tordera, en el qual destaquen la pressió sobre el cabal que exerceixen les derivacions d'aigües superficials i les captacions d'aigües subterrànies que afavoreixen la infiltració. Aquesta pressió impedeix assolir el cabal de manteniment amb la regularitat necessària per a la millora de l'estat hidrològic i ecològic del riu, especialment en els cursos mitjà i baix. Cal notar que les aportacions d'aigües regenerades poden significar un elevat percentatge del cabal superficial (Negre, 2004), la qual cosa manifesta la necessitat de retornar a l'àmbit fluvial el cabal natural del riu amb la finalitat d'incrementar el cabal i diluir el contingut hidroquímic de les aportacions antròpiques. Tanmateix el grau d'assoliment del cabal de manteniment i la relació del nivell hidràulic entre riu i aqüífer il·lustra a través dels respectius indicadors les pressions a l'estat hidrològic de la Tordera, la seva freqüència i la seva magnitud. Per exemple, les diferències entre els valors de cabals registrats i els considerats idonis, o mínims acceptables definits pel cabal de manteniment, són representatives del volum d'aigua destinat a ús consumptiu que caldria reduir per assolir una dinàmica hidrològica adequada. La reducció de la demanda en el volum apropiat derivat de l'anàlisi presentada pot ésser un pas endavant per a la gestió correcta dels recursos i l'assoliment d'un estat hidrològic acceptable a la Tordera (Mas-Pla, 2005)

TAULA 11. Síntesi dels indicadors hidrològics, per trams, a la Tordera, període 2003-2005.

Tram	Estació	Punt piezometria	Punt hidroquímisme	Indicador N. freàtic		Indicador hidroquímisme		
				Hivern	Estiu	N-NH4	N-NO2	N-NO3
1			10 - Viladecans			Excel·lent	Excel·lent	Mediocre
2	Extrem nord		9 - Pont Santa Maria			Excel·lent	Excel·lent	Mediocre
3		6	8 - Sant Celoni			Acceptable	Mediocre	Mediocre
4		17 - 18	7a - La Balllòria W	Acceptable	Mediocre	Acceptable	Mediocre	Mediocre
			7b - La Balllòria E			Acceptable	Mediocre	Mediocre
4	11	15 - 16	6 - El Perxistor	Acceptable	Mediocre	Acceptable	Mediocre	Mediocre
4 - 5			5 - Hostalric W			Acceptable	Mediocre	Mediocre
4 - 5		12	4 - Hostalric E	Acceptable	Dolent	Acceptable	Mediocre	Mediocre
5	Extrem sud		3 - Júlia	Acceptable	Mediocre / Dolent	Acceptable	Excel·lent / Mediocre	Mediocre
6		11	2 - Tordera sud	Acceptable	Mediocre / Dolent	Acceptable	Excel·lent / Mediocre	Mediocre
6	20	8 - 9 - 10 - 10b 1 a 7	1 - Malgrat de Mar	Acceptable	Mediocre / Dolent	Acceptable	Dolent	Mediocre

Tanmateix hi ha altres elements de caràcter geomorfològic que són imprescindibles per assolir el correcte comportament geodinàmic i hidrològic del curs fluvial. Determi-nades activitats han generat una transformació de la dinàmica i la morfologia fluvial so-vint irreversible, tant en els aspectes hidromòrfics com en els ecològics. Concretament, les extraccions d'àrids modificaren la morfologia i el traçat del curs a les darreres dèca-des i, actualment, la protecció de les zones industrials de l'erosió i la millora de la capa-citat de drenatge de la llera han causat una darrera alteració del medi fluvial. En l'estudi del seguiment hidrològic relacionat amb el manteniment de la biodiversitat i la gestió de l'aigua, considerem, doncs, que cal avaluar tant els elements dinàmics (els quals hem ta-xat amb els indicadors) com la qualitat dels elements morfològics, que constitueixen i defineixen el continent en el qual s'estableixen els hàbitats fluvials, i, per tant, també hauran de ser aspectes fonamentals en l'elaboració dels plans hidrològics de conca en el context de la DMA.

6. CONCLUSIONS

El seguiment hidrològic del riu Tordera, efectuat dins el marc de recerca de l'Obser-vatori, aporta una caracterització dels processos hidrològics per si mateixos, però alhora emfasitzant aquells aspectes que poden ésser útils en el seguiment de la biodiversitat i en la gestió de l'aigua. El treball efectuat dins el període 2003-2005 ha permès determi-nar una sèrie d'indicadors representatius de la quantitat i la qualitat de l'aigua de la Tordera i de la idiosincràsia hidrològica de la conca.

En aquest sentit, la metodologia de seguiment hidrològic proposada ha definit l'efecte de les pressions antròpiques sobre el cabal, la relació riu-aquífer i la qualitat hidroquímica de l'aigua (elements majoritaris/nutrients) i, mitjançant estudis monogrà-fics, ha avaluat i quantificat qüestions de caire més general que permetien aproximar amb més detall la dinàmica hidrològica del riu.

Adicionalment a les bases de dades a escala mensual generades durant aquest pe-riode d'estudi, les principals conclusions hidrològiques són:

- El baix compliment dels cabals de manteniment durant aquest període, especialment en els mesos estivals, en què la precipitació ha estat inferior a les mitjanes de la dar-

raera dècada. L'anàlisi dels percentils permet avaluar el grau de compliment, alhora que la distribució de freqüència mostra els dèficits hídrics que han impedit assolir-ne un major compliment. En aquest sentit, la rellevància de les aportacions antròpiques en el cabal del tram mitjà de la Tordera planteja l'intens control per part de les activitats antròpiques del sistema hidrològic i defineix l'origen d'algunes de les pressions, com és la qualitat hidroquímica de l'aigua.

- El seguiment hidroquímic revela els punts i els orígens del deteriorament de la qualitat de l'aigua, bàsicament de caire industrial i domèstic, els quals són presents en els trams mitjà i baix de la Tordera. Al llarg de l'estudi s'ha observat una variabilitat espacial de la concentració dels diferents elements/compostos. La variabilitat temporal ha estat relacionada amb el cabal o amb les reaccions pròpies de cada un d'ells, com és el cas del nitrogen i la disminució de la concentració de nitrat a l'estiu. La interpretació de l'evolució del quimisme de la conca des de la dècada del 1970 suggereix, en termes generals, l'adaptació per part del medi biològic als abocaments a la llera d'aigües urbanes regenerades a partir de l'aplicació dels plans de sanejament.
- Les captacions d'aigua subterrània tenen una repercussió directa en el cabal superficial del riu, atès que n'afavoreixen la infiltració i, consegüentment, provoquen la disminució del cabal destinat a funcions hidromorfològiques i ecològiques. La relació riu-aquífer, registrada mitjançant l'indicador del nivell hidràulic, mostra el caràcter dominantment influent del sistema, el qual no és favorable a l'assoliment d'un bon estat hídric. Tanmateix aquesta influència ha estat reconeguda en els hidrogrames, certificant que l'explotació dels aquífers exerceix una pressió directa en l'estat hidrològic del riu.

En síntesi, aquestes conclusions constitueixen una descripció de la dinàmica hidrològica de la Tordera, enfocades des de una visió integral del cicle de l'aigua, amb el component humà inclòs, i amb referència als aspectes ecohidrològics que poden abastar-se a través d'un seguiment periòdic de camp. L'estudi dels diferents paràmetres/indicadors descriu l'estat hidrològic mes a mes i ha de ser una referència per a contrastar altres indicadors biològics amb una variabilitat temporal superior, a nivell estacional o anual. L'avaluació quantitativa d'algunes variables (especialment el cabal) ha aportat resultats indicatius tant de les mancances de flux com de les seves causes. Aquests resultats aporten elements per a la redacció de plans de conca en els quals es consideri la preservació del funcionament hidrològic i ecosistèmic del medi fluvial, com indica la DMA, en la gestió de l'aigua.

AGRAÏMENTS

Agraïm a l'Agència Catalana de l'Aigua les facilitats atorgades per disposar de les dades hidrològiques, així com d'altra informació complementària referida a la Tordera. També apreciem la contribució del director, M. Boada, i dels coordinadors, X. Cazorla, M. Miralles i A. Urgell, de l'Observatori (2003-2007), així com de la resta dels investigadors, en la realització del seguiment hidrològic. Diversos estudiants de ciències ambientals de la UAB han col·laborat temporalment en aquest estudi i els reconeixem les aportacions, especialment R. Albiol, X. Escudero, C. Negre, C. Llebot i B. Sala. Finalment, J. Bach i D. Brusi han contribuït a la millora del text amb les seves revisions.

BIBLIOGRAFIA

- ACA-GEOSERVEI (2000). *Actualització i cartografia hidrogeològica del sistema fluvio-deltaic del curs mitjà i baix del riu Tordera*. Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya. Inèdit.
- ACA-PEF (2003). *Planificació de l'espai fluvial de la conca de la Tordera*. 3 volums. Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya. Inèdit
- ACA (2005). *Pla Sectorial de Cabals de Manteniment a les Conques Internes de Catalunya*. Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya. Inèdit. <<http://www.gencat.net/aca>>
- ALLEY, W. M.; HEALY, R. W.; LABAUGH, J. W.; REILLY, T. E. (2002). «Flow and storage in groundwater systems». *Science*, 296, p. 1985-1990.
- FEDERAL INTERAGENCY STREAM RESTORATION WORKING GROUP (FISRWG, 1998). *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*. GPO Item No. 0120-A; SuDocs No. A 57.6/2:EN 3/PT.653. <http://www.nrcs.usda.gov/technical/stream_restoration/newgra.html>
- HANCOCK, P. J.; BOULTON, A. J.; HUMPHREYS, W. F. (2005). «Aquifers and hyporheic zones: towards an ecological understanding of groundwater». *Hydrogeology Journal*, 13, p. 98-111.
- LLEBOT, C. (2005). *Caracterització hidrològica i hidroquímica (nutrients) del riu Tordera durant el període d'estiatge 2004*. Treball de final de carrera de ciències ambientals, UAB.
- LLORENS, E. (2004). *Desenvolupament d'un sistema expert com a eina per a una millor gestió de la qualitat de les aigües fluvials*. Tesi doctoral. UdG.
- MAS-PLA, J. (2005). «Elements per a la gestió hidrològica al tram mig de la Tordera». A: *VI Trobada d'Estudiosos del Montseny. Monografies*, 41, p. 157-161. Diputació de Barcelona.
- 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 de Catalunya. <<http://www.cat-sostenible.org>>
- MUNNÉ, A.; PRAT, N. (2004). «Defining river types in a mediterranean area: A methodology for the implementation of the EU Water Framework Directive». *Environmental Management*, 34(5), p. 711-729.
- NEGRE, C. (2004). *Avaluació de l'estat hidrològic de la Tordera. Imposicions antròpiques en el balanç hídric*. Treball de final de carrera de ciències ambientals, UAB.
- NEGRE, C.; MAS-PLA, J.; MENCÍO, A. (2004). «Valoració de les aportacions naturals i antròpiques al cabal en el curs mitjà del riu Tordera (CIC) i connotacions ambientals derivades». A: *IV Congrés Ibèric de Gestió i Planificació de l'Aigua*, Tortosa, 10 p. Cd.
- POFF, N. L.; ALLAN, J. D.; BAIN, M. B.; KARR, J. R.; PRESTEGAARD, K. L.; RICHTER, B. D.; SPEARKS, R. E.; STROMBERG, J. C. (1997). «The natural flow regime, A paradigm for river conservation and restoration». *BioScience*, 47(11), p. 769-784.
- PRAT, N.; A. MUNNÉ, C.; SOLÀ, R.; CASANOVAS, M.; VILA, M.; BONADA, N.; JUBANY, J.; MIRALLES, M.; PLA, M.; RIERADEVALL (2002). «La qualitat ecològica del Llobregat, el Besòs, el Foix i la Tordera. Informe 2000». *Estudis de la qualitat ecològica dels rius*, 10, 163 p. Àrea de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona.
- RICHTER, B. D.; MATTHEWS, R.; HARRISON, D. L.; WIGINGTON, R. (2003). «Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological identity». *Ecological Applications*, 13(1), p. 206-224.
- ROSGEN, D. L. (1994). «A classification of natural rivers». *Catena*, 22, p. 169-199.
- SALA, B. (2005). *Avaluació de l'estat hidromorfològic del riu Tordera*. Treball de final de carrera de ciències ambientals, UAB.
- SEAR, D. A.; ARMITAGE, P. D.; DAWSON, F. H. (1999). «Groundwater dominated rivers». *Hydrological Processes*, 13, p. 255-276.
- SOPHOCLEOS, M. (2002). «Interactions between groundwater and surface water: the state of science». *Hydrogeology Journal*, 10, p. 52-76.
- WINTER, T. C.; HARVEY, J. W.; FRANKE, O. L.; ALLEY, W. M. (1998). *Ground Water and Surface Water. A single resource*. US Geological Survey Circular 1139.