

EFFECTE DEL TIPUS D'EMBASSAMENT EN EL RÈGIM DE CABALS MÍNIMS A LA CONCA DEL RIU EBRE

Autor: Marc Garrigó

Tutors: Dr. Albert Folch i Dr. Lluís Quer

2013

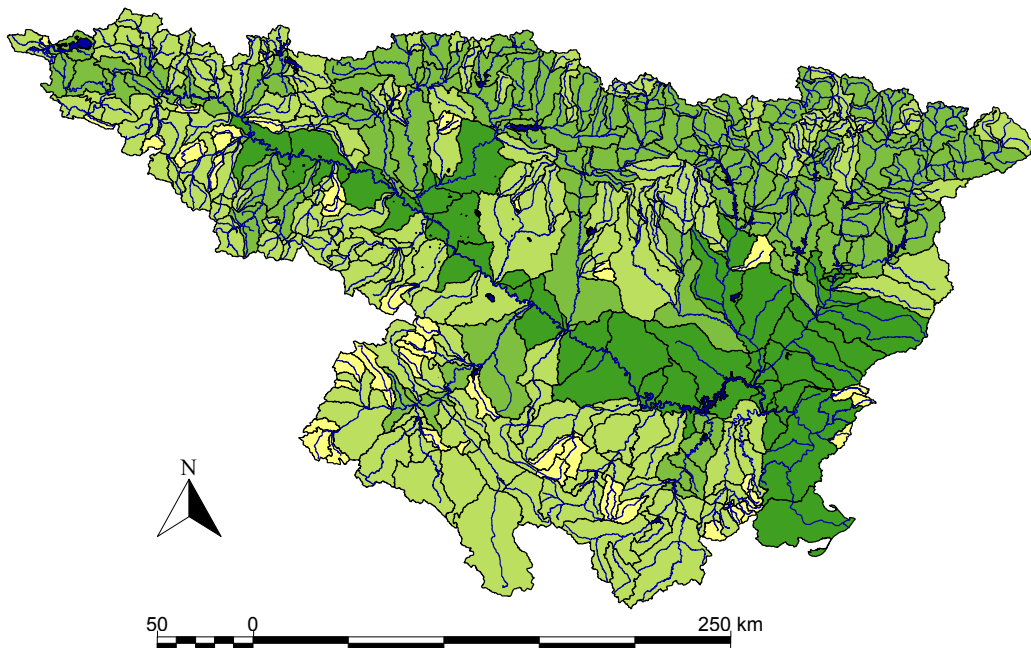


Fig. Portada: Conca de l'Ebre i representació del cabal mitjà estimat en règim natural per a cada subconca hidrogràfica d'aplicació del règim de cabals ecològics (Font: Pla de Conca de l'Ebre de 1998).

AGRAÏMENTS

En primer lloc, voldria expressar la meua gratitud als meus dos tutors: el Dr. Albert Folch, del departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i el Dr. Lluís Quer, del departament de Matemàtiques de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).

Gràcies, Albert, per proposar-me el tema del projecte i co-dirigir-me'l de forma desinteressada. T'agraeixo el temps dedicat, la confiança, i l'enorme paciència que has demostrat. Més enllà dels aspectes del treball, sovint m'has tractat més com a company que com a alumne i, la veritat, s'agraeix molt.

Lluís, moltes gràcies per accedir a dirigir-me el projecte i per la teua disponibilitat, especialment aquests darrers dies d'estiu. Gràcies per orientar-me en l'elecció i l'ús de les eines estadístiques, per la teua implicació en tots i cadascun dels aspectes del treball i, sobretot, per el bon tracte rebut.

Menció apart mereix la col·laboració del meu amic Àlex. No sé si ets conscient de la feina que m'has estalviat, però sense la teua ajuda amb el Matlab la cosa hagués estat força més complicada. Gràcies, "Nagru".

Finalment, voldria també donar les gràcies a la Belén, amiga, parella, i tot allò important que es pugui ser, per el seu suport i consell.

A tots vosaltres, moltes gràcies.

Marc Garrigó Atxer

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	1
2. ANTECEDENTS I JUSTIFICACIÓ	3
2.1 Marc conceptual: Els cabals mínims i els cabals ambientals	3
2.1.1 Els cabals mínims	3
2.1.2 Els cabals ambientals o de manteniment.....	3
2.2 Marc normatiu: Els cabals ecològics	5
2.2.1 La Directiva Marc de L'Aigua i el paper dels cabals ecològics en la Planificació Hidrològica.....	5
2.2.2 El Pla Hidrològic de la Conca de l'Ebre 2010-15 i la proposta de cabals ecològics	6
2.3 Marc d'estudi: L'efecte dels embassaments en el règim de cabals mínims	7
2.3.2 L'efecte dels embassaments en el règim fluvial a la conca de l'Ebre.....	10
2.3.3 L'efecte del tipus d'embassament en el règim de cabals mínims ecològics a la conca de l'Ebre	10
3. OBJECTIUS	12
3.1 Generals	12
3.2 Específics	12
4. DESCRIPCIÓ DEL MEDI: LA CONCA DE L'EBRE.....	14
4.1 Medi físic i biològic	14
4.1 Medi Antròpic	16
5. METODOLOGIA	17
5.1 Selecció de dades	18
5.1.1 Fonts de dades.....	18
5.1.1.1 Fonts de dades hidrològiques	18
5.1.1.2 Fonts de dades cartogràfiques.....	19
5.1.2 Criteris de selecció de dades	19
5.1.3 Selecció d'estacions foromètriques : Desenvolupament d'un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG)	20
5.1.4 Selecció de les sèries temporals: Elaboració dels hidrogrames.....	22
5.2. Anàlisi de dades	24
5.2.1 Reordenació de les dades.....	24
5.2.2 Anàlisi estadístic descriptiu	25
5.2.3 Anàlisi estadístic per grups	28
5.2.2.1 Comparació dels percentils del cabal mínim ecològic anuals.....	28

5.2.2.2 Comparació dels percentils del cabal mínim ecològic mensuals.....	30
6. RESULTATS I DISCUSSIÓ	31
6.1 Resultats de la selecció de dades.....	31
6.2 Resultats de l'anàlisi de dades.....	35
6.2.1 Anàlisi estadístic descriptiu	35
6.2.2 Anàlisi estadístic per grups	46
6.2.2.1 Comparació dels percentils del cabal mínim ecològic anuals.....	46
6.2.2.2 Comparació dels percentils del cabal mínim ecològic mensuals.....	49
7. CONCLUSIONS	57
8. CONSIDERACIONS FINALS I CAMPS DE RECERCA FUTURS.....	59
9. CALENDARI I PRESSUPOST.....	61
10. BIBLIOGRAFIA	63
11. ANNEXES	66
Annex I: Codi aplicació Matlab	67
Annex II: Resultats de la selecció d'estacions foromètriques	68
Annex III: Resultats de la selecció de les sèries temporals	75
Annex IV: Figures de suport utilitzades a l'anàlisi descriptiu	80

1. INTRODUCCIÓ

L'aigua és un bé tan preuat que la nostra civilització s'ha basat històricament en augmentar la seva disponibilitat, construint preses, dipòsits, canals i transvasaments que han modificat el règim de cabals que de forma natural transcorria pels rius. Avui en dia aquesta modificació és tant intensa, que uns dos terços de les aigües que flueixen per les lleres fluvials al món es troben regulades per més de 400.000 grans preses i més de 800.000 preses petites (Mc Cully 1996).

A Espanya, l'inventari publicat l'any 2006 per part del Ministeri de Medi Ambient i Obres Públiques, en motiu de la celebració del XXII Congrés Internacional de Grans Preses a Barcelona, assenyalava l'existència de 1.188 grans preses en explotació, que en l'actualitat ja són més de 1.200, amb una capacitat aproximada de 56.000 hm³. D'aquestes, 450 són anteriors a 1960 i més de 100 ja existien l'any 1915, evidenciant el gran desenvolupament produït en aquest àmbit durant les últimes dècades.

Aquestes estructures es construeixen com a protecció enfront de les avingudes, per a produir energia hidroelèctrica o per assegurar aigua amb finalitats agrícoles, industrials o domèstiques. Per tant, contribueixen al desenvolupament humà, però la seva presència en els rius ha transformat l'estructura i funcionament dels ecosistemes fluvials i dels entorns que hi són més estretament relacionats, com assenyalen nombrosos treballs publicats al respecte (Petts 1986, Yeager 1994, Ligon *et al* 1995, Standford *et al* 1996, Poff *et al* 1995).

En aquest sentit, el desenvolupament de noves eines d'anàlisi i la realització d'estudis experimentals sobre l'impacte que s'exerceix als entorns fluvials, a partir dels principis que relacionen els règims hidrològics amb els ecosistemes aquàtics (recollits per Poff *et al* en "el paradigma del règim natural" 1997), ha suposat que l'estudi del règim fluvial experimenti en els últims anys una forta evolució en els seus conceptes i mètodes. Aquests estudis engloben des de la relació del règim hidrològic amb la morfologia fluvial (Knighton 1998), la diversitat d'hàbitats (Gippel 1995, Richter i Richter 2000), els cicles vitals d'espècies clau (Bunn i Arthington 2002) o els processos tròfics i els cicles de nutrients (Pinay *et al* 2002), contribuint a la conceptualització teòrica dels cabals ambientals o de manteniment. El desenvolupament d'aquest concepte ha comportat, alhora, un reconeixement a la importància de l'estudi del règim de cabals mínims, estimulant el coneixement de les seves característiques i afeccions, tradicionalment poc considerades en la literatura si les comparem, per exemple, amb la recerca realitzada en l'àmbit dels cabals màxims o avingudes (Smakhtin 2000).

De manera més o menys paral·lela a aquest desenvolupament científic, els cabals ambientals han anat adquirint una importància creixent en la planificació hidrològica, com es demostra en les diferents normatives publicades al llarg dels últims anys a l'Estat Espanyol. Des de la llei 29/1985 d'Aigües fins a avui en dia, s'observa una clara evolució dels cabals ambientals en la seva definició, el seu paper en el compliment dels objectius generals de planificació i el seu protagonisme en el balanç de recursos. Tot i la forta discussió encara existent en aquest àmbit, el desenvolupament de la Directiva Marc de l'Aigua ha ajudat a aclarir i desenvolupar el concepte

d'estat ecològic de les aigües, aportant criteris tècnics per a determinar el paper que ha de complir el règim hidrològic respecte les seves funcions ambientals.

Aquesta evolució queda reflectida en l'elaboració dels nous plans hidrològics de conca, en que s'estableix un règim normatiu de cabals ambientals, anomenats "ecològics", que hauria de representar el règim de cabals necessari per al bon estat de l'ecosistema fluvial i dels sistemes naturals que hi són relacionats i que inclouen l'establiment d'un règim de cabals mínims d'obligat compliment.

En aquest context, l'estudi de l'afectació del règim d'aquests cabals mínims per part de les infraestructures hidràuliques pren especial importància. El present treball pretén aportar el seu gra de sorra, tant en l'estudi dels cabals mínims i les seves afeccions, com en el seu paper en la planificació hidrològica, a partir de l'anàlisi històric de l'efecte produït sobre el règim de cabals mínims ecològics de la conca de l'Ebre en funció dels principals tipus d'aprofitament dels embassaments: la producció d'energia hidroelèctrica i l'abastament per al regadiu.

2. ANTECEDENTS I JUSTIFICACIÓ

A continuació es presenta el marc conceptual i legal en el que es fonamenta aquest treball i la seva motivació en base als estudis existents.

2.1 Marc conceptual: Els cabals mínims i els cabals ambientals

Probablement per la pròpia ambigüitat dels termes i la seva estreta relació en la planificació hidrològica, els cabals mínims i els cabals ambientals o de manteniment són sovint confosos. A continuació es defineixen ambdós conceptes.

2.1.1 Els cabals mínims

El concepte de cabal mínim o baix (*“low flow”*) és un terme que pot voler dir coses diferents en funció dels interessos d'estudi. L'*International Glossary of Hydrology* (WMO¹ 1974) defineix el cabal mínim com a “el flux d'aigua en el corrent durant un temps sec perllongat”. Si bé aquesta definició no distingeix entre els períodes secs, entesos com a fenòmens estacionals i component integral del règim hidrològic, i les sequeres, un fenomen natural resultant d'un descens de les precipitacions fóra del normal durant un extens període de temps, per a molts autors, el cabal mínim és aquell cabal que circula pel riu durant l'estació seca de l'any.

Però per a d'altres, interessats en els efectes que produeixen en l'ecologia aquàtica i de ribera els canvis en el règim fluvial sota una explotació sostenible de l'aigua, el cabal mínim o baix no és només la descàrrega que succeeix durant l'època seca, sinó que també pot representar una reducció de diversos aspectes del règim fluvial en general (Smakhtin 2000). En aquest cas, el règim de cabals mínims sovint es defineix a partir de la distribució dels percentils del règim de cabals al llarg de l'any hidrològic (Shaw *et al* 2011, pàg.252), determinant un règim cabals mínims mensual o estacional característic per a cada règim fluvial, a fi d'avaluar els aspectes de gestió que en condicionen la dinàmica.

Al llarg d'aquest treball, es fa referència al règim de cabals mínims en base a aquesta segona perspectiva.

2.1.2 Els cabals ambientals o de manteniment

El cabal ambiental per la seva banda, és un concepte diferent, lligat al concepte de règim natural d'un riu i a la planificació hidrològica. Si bé no existeix una definició consensuada a nivell internacional, i la pròpia terminologia del concepte acostuma a diferir entre l'àmbit normatiu,

¹ World Meteorological Organization

l'acadèmic, i entre països, idealment, s'entén com a cabal ambiental o de manteniment aquell cabal circulant per la llera que és capaç de mantenir el funcionament, composició i estructura de l'ecosistema fluvial que contindria aquella llera en condicions "naturals".

En una revisió recent sobre el paper del règim de cabals en la conservació de la biodiversitat, Bunn i Arthington (2002), suggereixen quatre principis importants:

1. El règim de cabals és el principal determinant de l'hàbitat físic en els ecosistemes aquàtics, que en última instància és el principal determinant de la composició biològica.
2. Les espècies aquàtiques han evolucionat les seves estratègies vitals principalment en resposta als seus règims hidrològics naturals.
3. El manteniment dels patrons de connectivitat lateral i longitudinal és essencial per a la viabilitat de les poblacions de nombroses espècies aquàtiques.
4. La invasió i l'èxit de les espècies introduïdes es veu afavorida per l'alteració dels règims hidrològics.

Una bona part d'aquests principis que relacionen els règims hidrològics amb els ecosistemes aquàtics són sintetitzats i recollits en el Paradigma del Règim Hidrològic Natural (Poff *et al* 1997), que enuncia el següent:

"Per a conservar la biodiversitat, producció i sostenibilitat dels ecosistemes fluvials, és necessari destacar el paper central d'un medi físic variable. El règim hidrològic natural organitza i defineix aquest ambient físic i en conseqüència, l'ecosistema fluvial".

"El rang complet de variació intra i interanual del règim hidrològic, amb les seves característiques associades d'estacionalitat, duració, freqüència i taxa de canvi, són crítiques per al sosteniment de la biodiversitat natural i la integritat dels ecosistemes aquàtics"

En els temps en que ens trobem, és pràcticament impossible trobar un ecosistema fluvial no intervingut, especialment als països occidentals. Tot i això, si que existeixen alguns rius i molts trams fluvials que han estat poc intervinguts per l'home o que, si ho han estat en el passat, s'han recuperat. Aquests rius i trams fluvials són els que s'entenen en aquest cas com a "naturals".

D'aquesta manera, les comunitats de referència que els cabals ambientals han de permetre conservar o recuperar són aquelles comunitats que s'han adaptat a la pertorbació moderada que l'home ha exercit sobre ells, sense disminuir la seva complexitat estructural ni la seva biodiversitat, i sostenint la seva integritat ecològica. El règim de cabals ambientals suposaria la recuperació o conservació de determinats aspectes del règim natural de cabals, a partir dels quals es podrien mantenir unes condicions adequades per al manteniment de les diferents espècies que componen les seves comunitats de referència en un estat de conservació prèviament definit.

En conseqüència, el règim ambiental de cabals no ha de representar únicament un determinat valor de cabals mínims a assolir en el règim hidrològic, sinó que ha de representar un concepte múltiple, compost per diversos elements que en conjunt formen una gestió racional dels sistemes fluvials (Palou 1994). Aquests elements inclouen diversos aspectes del règim hidrològic, entre els quals es trobaria l'establiment d'un règim de cabals mínims.

A Espanya, és habitual anomenar al règim de cabals ambientals o de manteniment com a règim de cabals “ecològics”, tot i la forta controvèrsia que produeix aquesta terminologia en bona part de la comunitat científica.

2.2 Marc normatiu: Els cabals ecològics

2.2.1 La Directiva Marc de L'Aigua i el paper dels cabals ecològics en la Planificació Hidrològica

La Directiva Marc de l'Aigua 2000/60/CE (DMA) ha suposat un canvi substancial de la legislació europea en matèria d'aigües. Els seus objectius es centren en prevenir el deteriorament i millorar l'estat dels ecosistemes aquàtics, promovent l'ús sostenible de l'aigua. Per a l'assoliment dels seus objectius, estableix un estricte calendari que repercuteix en tots els aspectes de gestió de les aigües als països comunitaris.

Tot i no fer referència explícita al concepte dels cabals ambientals, la DMA indica en el seu annex V quin és el paper que ha de complir el règim hidrològic respecte a les seves funcions ambientals. Per a un bon estat ecològic, el règim hidrològic ha de ser aquell *“cabal i hidrodinàmica del riu, i la connexió resultant a les aigües subterrànies, que permet que els valors dels indicadors de qualitat biològics mostrin valor baixos de distorsió causada per l'activitat humana i només es desviïn lleugerament dels valors en condicions inalterades”*.

Per a complir amb els requeriments de la Directiva, la legislació espanyola ha modificat i adaptat els objectius de planificació hidrològica, realitzant la transposició legislativa en el Text Refós de la Llei d'Aigües (R.D.1/2001 de 20 de juliol; modificat per la Llei 6/2003 del 30 de Desembre) i elaborant un nou Pla Hidrològic Nacional (Llei 10/2001 del 5 de Juliol).

D'aquesta manera, el Reial Decret 907/2007 del 6 de juliol per el que s'aprova el Reglament de Planificació Hidrològica estableix que *“els indicadors hidromorfològics (incloent el règim hidrològic) han de ser coherents amb la consecució dels valors d'indicadors de qualitat biològics propis del bon estat de les aigües, desviant-se només lleugerament dels valors normalment associats a condicions inalterades”*. En l'article 18, relatiu als cabals ambientals (denominats com a “ecològics”) s'estableix que la seva posada pràctica *“permeti mantenir de forma sostenible la funcionalitat i estructura dels ecosistemes aquàtics i dels ecosistemes terrestres associats, contribuint a assolir el bon estat o potencial ecològic en rius o aigües de transició”*.

El paper d'aquests cabals ecològics respecte la resta d'usos i sistemes d'explotació es recull a l'article 26 de la Llei 10/2001 del Pla Hidrològic Nacional, establint que els Plans Hidrològics de Conca *“tindran la consideració d'una limitació prèvia als fluxos del sistema d'explotació, que operarà amb caràcter preferent als usos contemplats en el sistema”*. En aquest mateix article, es determina que *“les disponibilitats obtingudes en aquestes condicions són les que poden ser objecte d'assignació i reserva per als usos existents i previsibles”*. D'aquesta manera, es considera que els cabals ecològics no tenen caràcter d'ús, havent-se de considerar com una restricció que s'imposa amb caràcter general als sistemes d'explotació, excepte en el cas d'abastament de poblacions.

Aquest sistema de restricció prèvia dels cabals ambientals segueix sent plenament vigent, com marquen els articles 17 i 21 del Reglament de Planificació Hidrològica.

En conseqüència amb l'establert a la legislació, els nous plans de conca, eix fonamental de l'aplicació de la DMA, mostren una nova concepció dels cabals ecològics, tant en la seva definició i components, com en el seu paper en el balanç de recursos i la seva metodologia de determinació.

2.2.2 El Pla Hidrològic de la Conca de l'Ebre 2010-15 i la proposta de cabals ecològics

El recentment aprovat Pla Hidrològic de Conca de l'Ebre (PHE), elaborat per la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre (CHE) i corresponent al període 2010-15, que deroga l'anterior pla de 1998, incorpora la següent definició per als cabals ecològics:

“El règim de cabals ecològics és aquell que permet mantenir de forma sostenible la funcionalitat i estructura dels ecosistemes aquàtics i dels ecosistemes terrestres associats, contribuint a assolir el bon estat o potencial ecològic en rius o aigües de transició. Ha de proporcionar condicions d'hàbitat adequades per a satisfer les necessitats de les diferents comunitats biològiques, mitjançant el manteniment dels processos ecològics i geomorfològics necessaris per a completar els seus cicles biològics. A més a més, ha d'oferir un patró temporal de cabals que minimitzi els canvis en l'estructura i composició dels ecosistemes, i que permeti mantenir la seva integritat biològica.”

El Pla proposa un règim de cabals ecològics per al conjunt de la conca que inclou els següents components:

1. Cabals mínims que han de ser superats, el valor dels quals s'obté aplicant mètodes hidrològics, validats i ajustats mitjançant la modelització de la idoneïtat de l'hàbitat en trams fluvials representatius de cada riu.
2. Cabals màxims que no han de ser superats en la gestió ordinària de les infraestructures, i que s'obtenen utilitzant com a condicionant la velocitat límit (velocitat crítica) per a l'evolució i desenvolupament de la fauna piscícola.
3. Distribució temporal d'aquests cabals mínims i màxims, determinada a escala mensual.
4. Cabals de crescuda, en aquells trams situats sota importants infraestructures de regulació. Cabals que s'associen al cabal generador de secció plena de la llera i es defineixen incloent la seva magnitud, freqüència, duració i estacionalitat.
5. Taxa de canvi, definida com la màxima diferència de cabal entre dos valors successius d'una sèrie hidrològica per unitat de temps, tant per condicions d'ascens com de descens regulat del cabal.

Aquests paràmetres s'han determinat per mètodes hidrològics en 49 estacions d'aforament de referència a la conca, i han estat validats mitjançant estudis d'idoneïtat d'hàbitat realitzats en trams fluvials representatius de cada riu, seguint el grup de metodologies desenvolupades per l'Institut de Planificació Hidrològica (IPH). La informació detallada sobre el procés de determinació dels cabals

ecològics es troba a l'estudi "Establiment del règim de cabals ecològics i de les necessitats ecològiques de les masses d'aigua superficials continentals i de transició de la part espanyola de la demarcació hidrogràfica de l'Ebre", elaborat pel llavors anomenat Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Marí (MARM). Un resum del mateix és consultable a l'annex V de la memòria del propi PHE.

D'aquesta manera, el règim de cabals mínims i màxims obtinguts per aquests 49 punts de control (cabals mínims/màxims que han de ser superats/no superats i la seva distribució temporal), un cop finalitzat el procés de concertació, passa a formar part de la proposta normativa del Pla. En aquest sentit, la normativa específica que es compleix amb el règim de cabals ecològics establert quan:

- *"Els cabals mínims registrats són iguals o superiors un 90% del temps.^a"*
- *"Els cabals màxims no es superen per l'operació i gestió ordinària de les infraestructures hidràuliques en un 95% del temps."*

^a *"No seran exigibles règims de cabal ecològic mínims superiors al règim natural existent en cada moment. En aquest sentit, el règim de cabals ecològics aigües avall dels embassaments podrà adequar-se a l'aportació en règim natural de l'embassament en cada moment."*

Alhora, el Pla proposa un règim de cabals mínims, menys exigent, per èpoques de sequera perllongada² (no aplicable a les zones incloses a la xarxa Natura 2000 o en la llista d'aiguamolls d'importància internacional segons el conveni de Ramsar) i realitza una extrapolació sobre la continuïtat dels cabals mínims i la seva distribució temporal en el conjunt de la xarxa de control existent, a partir de correlacions lineals entre la conca vessant de cada riu i el cabal mínim ecològic determinat per a cada mes de l'any. En aquest cas, els règims que s'obtenen per aquestes estacions, fóra de la xarxa de control de referència, no tenen caràcter normatiu, però permeten completar la proposta de règims de cabals mínims ecològics (cabals mínims a assolir i la seva distribució mensual) per a totes les masses d'aigua superficials de la conca.

2.3 Marc d'estudi: L'efecte dels embassaments en el règim de cabals mínims

En aquest context d'aplicació del règim de cabals ecològics, en un país com Espanya, amb una gran tradició en la regulació fluvial com a conseqüència de l'extraordinària variabilitat del seu règim hidrològic natural, el coneixement de com les infraestructures hidràuliques i el seu model de gestió regulen el règim hidrològic resulta imprescindible per a l'assoliment d'una gestió sostenible dels recursos hídrics.

² En les situacions en que s'assoleixi el nivell d'alerta, d'acord amb els índexs establerts en el Pla Especial d'Actuacions en Situacions d'Alerta o Eventual Sequera.

2.3.1 L'efecte dels embassaments en el règim fluvial

Existeixen nombrosos estudis a nivell internacional sobre l'efecte que produeixen els embassaments en el règim fluvial. Assani *et al* (2006) assenyalen tres mètodes que són usats habitualment a la literatura per a l'anàlisi de l'impacte dels embassaments:

1. Mètode de monitorització de l'estació d'aforament: Consisteix en comparar les dades mesurades abans i després de la construcció de la presa en una mateixa estació foromètrica (exemple: Richter *et al* 1998).
2. Mètode de control d'estacions d'aforament: Basat en la comparació del règim de cabals mesurat aigües amunt i aigües avall de l'embassament (exemple: Assani *et al* 2002).
3. Mètode de reconstitució: Estima del règim hidrològic natural, mitjançant models hidrològics (exemple: Maheshwari *et al* 1995, Peters i Prowse 2001) i la comparació d'aquest amb el règim enregistrat aigües avall de l'embassament. Sovint, la limitació existent en el registre de dades o la localització d'estacions, implica necessàriament la utilització d'aquest mètode.

Independentment del mètode utilitzat per a la definició del règim natural o d'un règim de control que permeti valorar l'impacte produït per part d'aquestes infraestructures, per a determinar les característiques significatives del règim hidrològic a avaluar, la major part d'estudis utilitzen el mètode proposat per Richter *et al* (1996).

Richter *et al* proposen uns atributs característics de la variació intraanual hidrològica (32 paràmetres) que anomenen "índexs d'alteració hidrològica" (IHA), classificats en 5 grups (magnitud, temporalitat, freqüència i taxa de canvi). Aquests paràmetres són destinats a ser comparats en situacions de pre i post explotació i el seu càlcul s'obté fàcilment a partir de la distribució estadística del cabal diari al llarg de l'any hidrològic, la qual es pot estimar a partir de l'anàlisi de sèries temporals de cabal prou llargues com per minimitzar la variabilitat climàtica interanual (aproximadament 20 anys de dades diàries) o bé en sèries corregides climàticament.

Aquests paràmetres, inclouen tots els aspectes descrits anteriorment en l'aplicació del règim de cabals ecològics a la conca de l'Ebre (cabals mínims i màxims, distribució temporal, cabals de crescuda i taxa de canvi), constituint doncs la base metodològica general en que s'emmarcaria el seu seguiment i control.

Alguns dels treballs recents publicats basats en el mètode de Richter *et al* o en una adaptació del mateix i centrats en l'impacte produït per els embassaments són els següents:

- A. Assani *et al* (2006): "Comparison of impacts of dams on the annual maximum flow characteristics in three regulated hydrologic regimes in Québec (Canada)"; *Hydrological Processes* 20, p. 3485-3501.
- F. Lajoie *et al* (2007): "Impacts of dams on monthly flow characteristics. The influence of watershed size and seasons"; *Journal of Hydrology* 334, p. 423-439.

- W. Hu *et al* (2008): “The influence of dams on ecohydrological conditions in the Huaihe River basin, China”; *Ecological engineering* 33, p. 233-241.
- B.Richter *et al* (2010): “Lost in development’s shadow: The downstream human consequences of dams”; *Water Alternatives* 3(2), p. 14-42.
- B.Malmrenöfält *et al* (2010): “Effects of hydropower generation and opportunities for environmental flow management in Swedish riverine”; *Ecosystems Freshwater Biology* 55, p. 49-67.
- M.S.Babel *et al* (2012): “Operation of a hydropower system considering environmental flow requirements: A case study in La Nga river basin, Vietnam”; *Journal of Hydro-environment Research* 6, p. 63-73.
- X.A. Yin *et al* (2012): “Optimizing environmental flows below dams”. *River Research and Applications* 28, p. 703-716.
- Q. Zhao *et al* (2012): “The effects of dam construction and precipitation variability on hydrologic alteration in the Lancang River Basin of southwest China”; *Stoch Environ. Res. Risk Assess.* 26, p. 993-1011.
- J. Moore *et al* (2012): “Impacts of Dams on flow regimes in three headwater subbasins of the Columbia river basin, United States”; *Journal of the American water resources association* 48, N°5.

El denominador comú d'aquests treballs és la constatació de l'alteració del règim hidrològic per part d'aquestes infraestructures, amb resultats diferents en funció de les característiques de la conca d'estudi, el model de gestió i la capacitat d'emmagatzematge dels embassaments.

En aquest sentit, els diferents usos associats als embassaments determinen el seu model de gestió, el qual altera el règim de cabals de forma diferenciada (Richter i Thomas 2007):

- Embassaments hidroelèctrics: Els efectes reguladors són normalment relacionats amb una eliminació dels petits cabals de crecuda o generadors, la introducció artificial de cabals màxims i la disminució del nivell fluvial per sota del règim de cabals mínims natural, sovint fins al punt de crear artificialment situacions extremes de cabals mínims o inexistents.
- Embassaments de reg: Donat el seu propòsit de capturar aigua durant els períodes de major disponibilitat i alliberar-la d'acord amb la demanada de reg, aquests embassaments poden reorganitzar completament els patrons estacionals del règim de cabals, emmagatzemant l'aigua durant l'estació humida i alliberant-la durant la temporada seca per al sosteniment de l'agricultura de regadiu, és a dir, invertint el patró estacional del règim de cabals mínims i màxims naturals.

D'aquesta manera, es dedueix que el grau d'afectació del règim de cabals mínims serà diferent en funció de la tipologia d'embassament, si bé els resultats obtinguts dependran en última instància de les pròpies característiques del règim hidrològic i el model de gestió vinculat, és a dir, de la conca hidrogràfica d'estudi.

2.3.2 L'efecte dels embassaments en el règim fluvial a la conca de l'Ebre

Existeixen pocs treballs que relacionin l'activitat dels embassaments amb l'alteració del règim de cabals a la conca de l'Ebre. La major part d'aquests estudis són elaborats per la pròpia CHE o per l'Oficina de Planificació Hidrològica (OPH), i s'han realitzat a una escala de subconca hidrogràfica.

Un resum d'aquests estudis, elaborat per la OPH ("Els aprofitaments a la conca de l'Ebre, afecció en el règim hidrològic fluvial" 2000) i basat en l'anàlisi del règim de cabals mitjans anuals i mensuals mesurats en trams corresponents a les 45 subconques existents, assenyalava que els embassaments modifiquen el règim hidrològic de la conca, afectant els cabals mitjans anuals si existeix derivació de l'aigua prop de l'embassament i, en tots els casos, afectant a la modulació mensual. Generalment, aquesta modulació induïda per l'embassament es caracteritza per la menor variabilitat dels cabals i la desaparició dels mínims estivals característics del règim natural.

En un sentit similar apunten els resultats obtinguts per Batalla *et al* (2004) que, a través d'un anàlisi conjunt realitzat en 38 estacions d'aforament corresponents a 22 trams fluvials representatius de la regulació produïda pels embassaments, i a partir de correlacionar les dades d'aforament amb l'emmagatzematge, conclou que els cabals anuals no mostren canvis de tendència severa, però que la variabilitat en els cabals mitjans diaris es redueix en la majoria de casos, degut a la reducció del cabal per l'emmagatzematge durant l'hivern i l'augment dels cabals a l'estiu com a conseqüència del regadiu.

2.3.3 L'efecte del tipus d'embassament en el règim de cabals mínims ecològics a la conca de l'Ebre

Tot i la progressiva incorporació de nous components del règim hidrològic "natural", determinants per al bon estat del medi fluvial, en l'aplicació del règim de cabals ecològics a la conca de l'Ebre, la problemàtica associada a la seva implantació segueix centrant-se principalment en l'establiment d'un règim de cabals mínims. Degut a l'elevada pressió existent sobre uns recursos hídrics limitats, aquest és el component que genera majors conflictes en la seva determinació i gestió.

En aquest sentit, aprofundir en el coneixement de la regulació produïda en el règim de cabals mínims esdevé prioritari en el marc d'aplicació del nou Pla Hidrològic de Conca, donada la necessitat de gestionar adequadament aquest règim de cabals mínims ecològics d'obligat compliment. Aquest coneixement, com sovint passa en l'àmbit de les ciències aplicades, requereix d'un enfoc eminentment pràctic, que aportï informació útil amb l'objectiu d'ajudar a resoldre la problemàtica existent, dependent d'una gran quantitat de variables, en un temps limitat. És recomanable doncs abordar el problema des d'una perspectiva holística, que complementi la visió reduccionista tradicional i permeti determinar els aspectes de gestió que condicionen aquest règim de cabals mínims d'una forma conjunta.

Així doncs, davant l'absència de referències sobre la probable influència dels embassaments en l'afectació del règim de cabals mínims a la conca, aquest treball proposa l'estudi de com el seu model de gestió, caracteritzat en funció dels principals usos existents (la producció d'energia hidroelèctrica i l'abastament per regadiu), altera aquest règim de cabals mínims. Per avaluar el

grau d'alteració, s'utilitzen com a referència els règims de cabals mínims ecològics determinats en el nou Pla Hidrològic de l'Ebre per a cada tram fluvial.

Si bé aquest règim de cabals mínims ecològics representa únicament l'estima d'un component del règim de cabals mínims (un únic valor de cabal a assolir durant un temps determinat enfront el conjunt de la distribució dels percentils dels cabals que caracteritza el règim de cabals mínims), adaptat a les necessitats de conservació del medi en una conca profundament antropitzada, considerem que és una referència útil. Més enllà dels objectius i la metodologia en que es fonamenta la seva relació amb el règim de cabals mínims natural, permet disposar d'un indicador del règim de cabals mínims en els mateixos termes per a cada tram fluvial, permetent la comparació relativa de l'afectació que produeixen les infraestructures hidràuliques en la seva dinàmica.

Alhora, aquesta metodologia presenta l'avantatge de valorar l'afectació directament sobre aquell component del règim de cabals mínims que garantiria, segons la normativa vigent, un bon estat ecològic del medi fluvial i dels ecosistemes que hi són relacionats, en base als objectius de conservació establerts. Aquesta visió conjunta pot resultar, al nostre entendre, valuosa davant els reptes que presenta l'aplicació del nou Pla de Conca de l'Ebre.

3. OBJECTIUS

3.1 Generals

El principal objectiu d'aquest treball és contrastar la hipòtesi que, a la conca de l'Ebre, la regulació del règim fluvial per part dels embassaments destinats a regadiu i per part dels embassaments destinats a la producció d'energia hidroelèctrica, produeix una afectació diferent en el règim de cabals mínims, tant en la seva magnitud com en la seva variabilitat al llarg de l'any hidrològic.

Per avaluar l'afectació produïda al règim de cabals mínims s'utilitzen com a referència els règims de cabals mínims ecològics, determinats per la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre en el nou Pla de Conca 2010-15.

D'aquesta manera, es pretén avaluar el grau de d'alteració d'aquests règims de cabals mínims ecològics a partir de l'anàlisi de sèries temporals hidrològiques obtingudes en diferents trams fluvials de la conca regulats per embassaments. Així, és possible avaluar la influència del tipus d'aprofitament d'aquestes infraestructures en el grau d'assoliment històric d'aquest règim de cabals i, per tant, en l'afectació del règim de cabals mínims.

3.2 Específics

Aquest objectiu general es desenvolupa a partir dels següents objectius específics:

- Elaborar un Sistema d'Informació Geogràfica per a la conca de l'Ebre que disposi d'informació sobre el medi físic, la xarxa de control d'aforament existent i les dades històriques disponibles, establint una base de consulta útil no només per aquest treball sinó per a qualsevol línia de recerca afí centrada en l'àmbit de la conca.
- Localitzar i quantificar els punts d'aforament que, per la seva localització, la tipologia d'embassament que els precedeix i la disponibilitat de dades històriques, es puguin considerar representatius de la regulació produïda per part d'embassaments hidroelèctrics, de regadiu o per aquells que combinen ambdós usos (mixts).
- Caracteritzar el règim hidrològic i quantificar el grau d'alteració del règim de cabals mínims ecològics en les sèries de cabal mig diari corresponents al període d'activitat d'aquests embassaments.
- Quantificar el grau d'alteració del règim de cabals mínims ecològics en funció de la tipologia d'ús de l'embassament i valorar la significació estadística de les diferències obtingudes.

- Quantificar el grau d'alteració del règim de cabals mínims ecològics en funció de la pluviometria mitja anual per un mateix tipus d'ús de l'embassament i valorar la significació estadística de les diferències obtingudes, avaluant d'aquesta manera el possible efecte de les variables de confusió associades a l'heterogeneïtat pluviomètrica de la conca en els resultats obtinguts anteriorment en funció del tipus d'ús de l'embassament.

4. DESCRIPCIÓ DEL MEDI: LA CONCA DE L'EBRE

La conca de l'Ebre es situa al nord-est de la Península Ibèrica (Fig.1). És la major conca hidrogràfica d'Espanya, amb una superfície de 85.530 km², equivalent al 17% de la superfície total del país.

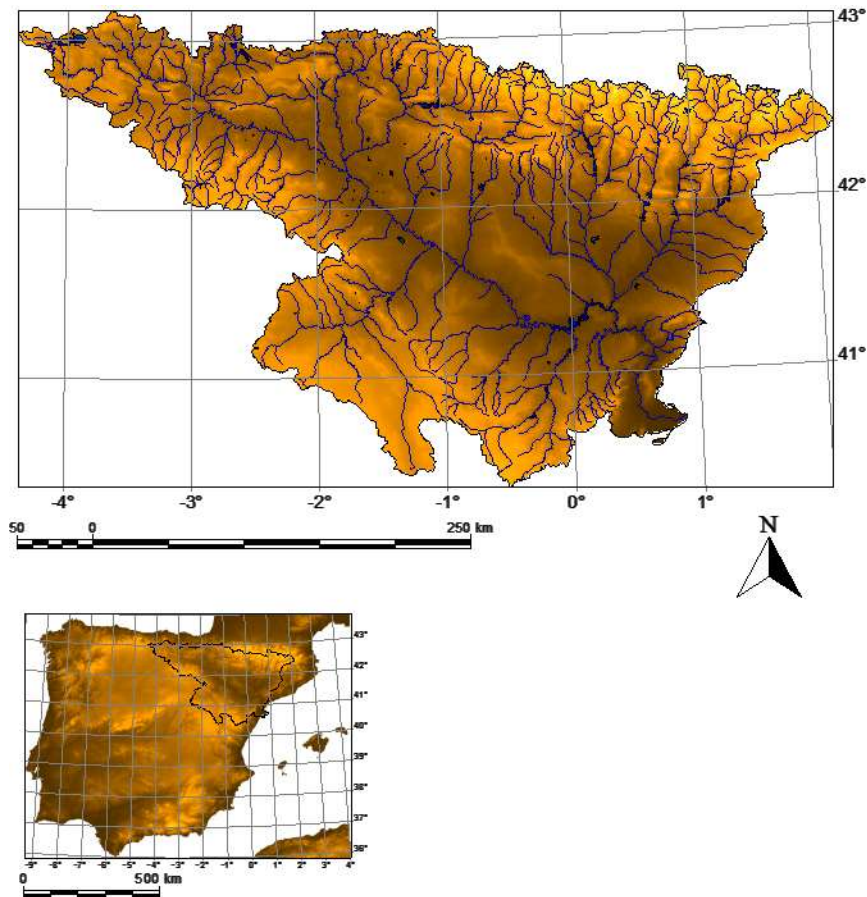


Fig. 1: Localització de la zona d'estudi

4.1 Medi físic i biològic

Es tracta d'una conca amb una gran heterogeneïtat topogràfica, geològica i climàtica.

Presenta una disposició general en cubeta, en la que les serralades ocupen les zones perifèriques: al nord els Pirineus i les muntanyes Basco-Cantàbriques, a l'est la Serralada Litoral Catalana, i des

del nord-oest al sud-est, el Massís Ibèric. Aquests tres sistemes muntanyosos deixen entre si una zona deprimida, de topografia més plana, la depressió de l'Ebre. L'altitud a la conca varia entre el nivell el mar en la seva desembocadura, a la costa Mediterrània, i els 3.372m. en el seu punt més alt, a Esera (Osca).

Geològicament presenta diversos dominis, entre els que destaquen les principals cadenes alpines, els Pirineus i el Massís Ibèric. Es tracta d'una conca d'avantpaís en ambient continental endorreic, reblida per les molasses que van desmantellant aquestes cadenes perifèriques. Per tant, és molt rica en material margoevaporític, el qual condiona una elevada salinitat natural en el medi i, en particular, en les aigües de la part central de la vall. La conca endorreica es va obrir al Mediterrani a finals del Miocè, fa uns 15 milions d'anys, generant el Delta de l'Ebre, una de les zones d'aiguamolls més grans del Mediterrani Occidental, amb una superfície actual major de 300 km² ("Memòria del Pla de Conca de l'Ebre 2010-15", CHE 2012).

A nivell climàtic, des d'una perspectiva general i seguint la síntesi exposada en l'estudi "Caracterització de les variables meteorològiques d'interès hidrològic a la conca de l'Ebre" (CHE 2005), poden diferenciar-se sis zones climàtiques principals (Taula 1):

Taula 1: Divisions climàtiques de la conca de l'Ebre (Font: CHE)

Grup/Subgrup/Varietat		P (mm/any)	Règim pluviomètric	T ^a (°C)	ΔT (°C)	
Oceànic		1.000-2.000	Equilibrat	9-10	13-15	
Mediterrani	De muntanya	800-1.800		<12		
	De transició	700-900	Màxim en primavera i mínim a l'hivern	9-12	16-19	
	Continental	Subhumit	500-700	Mínim a l'hivern	11-13	17-20
		Humit	350-500	Màxims equinoccials	12-14	
	Prelitoral	600-800	Màxims equinoccials	12-14	15-18	
Litoral	500-600	Màxims a la tardor	15-17	14-15		

La precipitació mitjana és de 622 mm/any (sèrie 1920/21-2001/2002) amb un repartiment territorial comprès entre 3.813 mm/any (estació d'Arruazu, a Navarra) i 100 mm/any en l'extensa zona central de la vall.

La temperatura mitjana anual es situa al voltant dels 12.5 °C, tot i que, en la depressió central, on més escasses són les precipitacions, les temperatures s'eleven per damunt dels 15°C, fet que sol determinar un elevat dèficit hídric en aquesta regió. Les variacions de temperatura es suavitzen per el mar en la meitat occidental de la frontera nord muntanyosa, mentre el clima continental domina la depressió.

A nivell d'ecosistema, la conca pertany a les regions biogeogràfiques eurosiberiana i mediterrània. En l'inventari de les diferents espècies animals i vegetals associades a aquests ecosistemes, destaquen les espècies endèmiques peninsulars *Cobitis calderoni*, *Cobitis palúdica*, *Chondrostoma arcasii* i *Squalius pyrenaicus*, entre els peixos, i *Limonastrum monopetalum* i *Zygopuillum album* entre els vegetals. També destaca la presència del mol·lusc *Margaritifera auricularia*, per el que la conca de l'Ebre conserva la única població mundial viable. Els rius, rambles, torrents i zones humides de la conca juguen un paper importantíssim com a corredors i refugi de tota la diversitat

biòtica continental existent en el territori (*"Memòria del Pla de Conca de l'Ebre 2010-15"*, CHE 2011).

4.1 Medi Antròpic

El 25% de la superfície de la conca és coberta per bosc i matollar i el 50% és agrícola. La resta d'usos del sòl inclouen terres ermes (*"badlands"*) i zones urbanes (OPH, oph.chebro.es).

En aquest àmbit, el riu Ebre flueix en sentit nordoest-suddest, amb una xarxa de drenatge de 12.000 km de longitud (CHE, www.chebro.es), i es troba regulat per la presència de nombrosos embassaments i canals, que han afectat el seu règim hidrològic i sedimentari. La capacitat d'emmagatzematge total és de 8.360 hm³, distribuïda en 216 grans preses, i amb un rang de variació intraanual de 2.000 hm³ (Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient 2006). El regadiu, d'aproximadament 800 ha, representa prop del 80% dels 6.300 hm³/any de consums nets en tota la conca (Álvares i Samper 2009) i és l'ús de l'aigua majoritari, molt per damunt de la producció d'energia hidroelèctrica o nuclear i de l'abastament urbà o industrial.

La descàrrega mitjana anual del riu Ebre a Tortosa (prop de la desembocadura) és de 11.908 hm³, (sèries 1960/61-2005/2006), amb un coeficient de variació del 35% (CHE, www.chebro.es). Durant el SXX, el cabal mig anual ha disminuït aproximadament un 30%, degut a la construcció de preses, l'evaporació dels embassaments i la creixent demanda de reg. L'extracció d'aigües subterrànies i superficials, el reg i les activitats industrials, es concentren prop de les principals ciutats de la conca i han deteriorat el sòl i la qualitat de les aigües, on la contaminació és rellevant. (SCARCE, www.scarceconsolider.es).

A nivell de gestió, la Demarcació Hidrogràfica de l'Ebre comprèn tot el territori de la conca hidrogràfica del riu Ebre, així com les aigües de transició i aigües costaneres associades. És, per tant, una demarcació compartida amb França i Andorra, tot i que l'àmbit territorial d'aplicació del Pla Hidrològic de Conca elaborat per la CHE correspon únicament a la part espanyola de la demarcació.

5. METODOLOGIA

A continuació s'exposen els materials i mètodes utilitzats per a l'assoliment dels objectius proposats en aquest treball, seguint la seva seqüència de desenvolupament:

En primer lloc, es detalla el procés de **selecció de dades** (Fig.2): les fonts d'obtenció de dades hidrològiques i cartogràfiques, els criteris utilitzats per a la localització d'estacions d'aforament que disposin de dades que es puguin considerar representatives de l'efecte dels tipus d'embassament estudiats, el procés de desenvolupament d'un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG) orientat a la resolució d'aquests criteris, i la selecció final de les sèries temporals hidrològiques a analitzar:

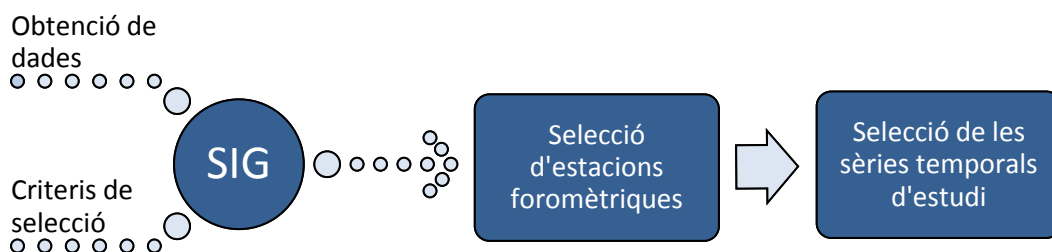


Fig. 2: Procés de selecció de dades

En un segon apartat es detalla el procés d'**anàlisi de dades** (Fig. 3): el tractament i l'anàlisi estadístic realitzat a les sèries temporals obtingudes per a cada estació i l'anàlisi comparatiu efectuat en funció dels diferents tipus d'embassaments:

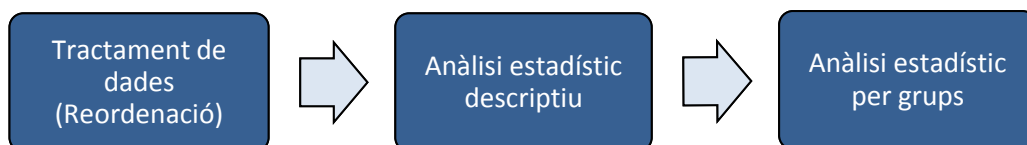


Fig. 3: Procés d'anàlisi de dades

5.1 Selecció de dades

5.1.1 Fonts de dades

Tant les dades experimentals com la informació temàtica i cartogràfica utilitzada en aquest treball és de caràcter públic, i ha estat obtinguda o bé a través de la Confederació Hidrogràfica del l'Ebre (CHE: www.chebro.es) i els seus organismes dependents, o bé a través del propi Ministeri d'Agricultura Alimentació i Medi Ambient (MAGRAMA: www.magrama.gob.es).

5.1.1.1 Fonts de dades hidrològiques

Per a l'obtenció de les sèries temporals de cabal mig diari s'han utilitzat les dades provinents de l'Anuari d'aforaments 2009-2010 del Centre d'Estudis i Experimentació d'obres públiques (CEDEX), disponibles a través del web de la CHE (hercules.cedex.es/anuarioaforos/default.asp).

Aquest anuari disposa d'un registre del rang de dades històriques existents per a cada estació foromètrica que hi ha o hi ha hagut a la conca de l'Ebre i proporciona dades estadístiques, diàries i mensuals, de cabals mitjans, cabals màxims mitjans, cabals mínims mitjans i cabals màxims instantanis per a cadascuna de les estacions durant el seu període d'activitat. Es tracta d'una eina molt potent per a l'anàlisi del règim fluvial i disposa de diversos registres amb rangs de mesura especialment amplis. Existeixen estacions, com per exemple al riu *Gállego* en el seu pas per *Ardisa* (estació 9012) o el propi Ebre a Saragossa (estació 9011), amb dades diàries recollides des del 1913 fins a l'actualitat³, si bé és habitual l'existència de períodes sense dades dins el rang disponible per a cada estació. A la Taula 2 es pot observar com estacions amb un mateix rang històric de mesures disposen d'un nombre real de dades diferent.

Taula 2: Les 10 estacions d'aforament amb major disponibilitat de dades a la conca (Font:CEDEX).

Codi (CHE)	Descripció	Nºdades	Data inicial	Data final	Qmitjà (m ³ /s)	Qmitjà (hm ³ /a)
9011	<i>Ebro en Zaragoza</i>	34.514	01/01/1913	30/09/2010	233,2	7.354,6
9001	<i>Ebro en Miranda de Ebro</i>	33.841	01/01/1913	30/09/2010	59,5	1.876,6
9005	<i>Aragon en Caparrosa</i>	33.335	01/01/1913	30/09/2010	66,1	2.084,1
9101	<i>Aragón en Yesa-PP</i>	33.335	01/01/1913	30/09/2010	31,8	1.001,8
9012	<i>Gállego en Ardisa</i>	32.949	01/01/1913	30/09/2010	21,5	676,8
9010	<i>Jiloca en Daroca</i>	32.799	01/01/1913	30/09/2010	3,2	101,4
9003	<i>Ega en Andosilla</i>	32.463	01/01/1913	30/09/2010	13,7	430,9
9026	<i>Ebro en Arroyo</i>	32.094	01/01/1915	30/09/2010	9,9	312,7
9004	<i>Arga en Funes</i>	31.761	01/01/1913	30/09/2010	49,9	1.574,4
9007	<i>Jalón en Cetina</i>	29.981	01/01/1913	30/09/2010	2,4	75,1

³ Fins a l'últim any amb dades revisades i publicades a l'anuari.

5.1.1.2 Fonts de dades cartogràfiques

Les dades cartogràfiques i les metadades associades s'han obtingut del *GeoPortal Site Ebro* (CHE), de l'Oficina de Planificació Hidrològica (OPH), i del servidor de mapes del programa Miramón del Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF). Les principals dades recopilades per al desenvolupament del SIG i la preselecció de les estacions són les següents:

- Cartografia general (CREAF):
 - Atlas climàtic de la Península Ibèrica (Ninyerola, Pons, i Roure 2005)
 - Model digital d'elevacions de la Península Ibèrica (Resolució: 90m)
- Cartografia específica de la conca de l'Ebre (*Geoportal Site Ebro* i OPH):
 - Xarxa hidrogràfica
 - Xarxa de canals
 - Xarxa d'embassaments
 - Xarxa d'estacions d'aforament
 - Subconques hidrogràfiques de la CHE
 - Règim de cabals mínims del Pla Hidrològic de l'Ebre de 1998

5.1.2 Criteris de selecció de dades

A partir de la informació recopilada i en base a l'exposat en els objectius del treball, es pretén quantificar i localitzar el nombre d'estacions d'aforament de la conca que compleixin els següents requisits:

- i. Estar situades al propi riu, a una distància (euclidiana) menor de 10 km respecte la cua d'un embassament i sense l'aportació d'afluents ni canals de derivació entre la presa i l'estació.
- ii. Ser precedides per un embassament destinat a un aprofitament hidroelèctric, a un aprofitament per a reg o bé ambdós alhora (mixt), descartant altres tipus d'usos i abastaments importants.
- iii. Disposar d'un registre històric de dades de cabal mig diari aproximadament⁴ igual o superior a 20 anys a partir de la posada en marxa de l'embassament que les precedeix, a fi de minimitzar l'efecte de la variabilitat climàtica interanual i disposar d'un rang de dades estadísticament significatiu.

⁴ Finalment s'han inclòs dues sèries amb un registre de 19 anys des de la posada en marxa de l'embassament, a fi d'obtenir un nombre de punts de mesura representatiu per a cada grup d'estudi (Capítol 6; Apartat 6.1 Resultats de la selecció de dades).

Per a resoldre aquests criteris de selecció, no és suficient la importació de la informació obtinguda de les diferents fonts anteriorment descrites a un entorn SIG. També es fa necessària una ampliació i adequació de les metadades associades a la cartografia i la creació de noves capes, ja que part de la informació temàtica que volem consultar o bé no hi figura, o bé no s'organitza com pretenem.

Ahora, per confirmar que les dades de cabal mig diari provinents de les estacions seleccionades siguin efectivament representatives de la regulació ordinària de cada embassament en funció de les tipologies d'ús descrites, cal construir els hidrogrames corresponents. D'aquesta manera, és possible detectar l'existència d'alteracions substancials del règim fluvial posteriors a la posta operativa de l'embassament, que podrien limitar el nombre real de dades representatives de l'ús en el qual es basa la seva classificació. Aquestes alteracions poden ser produïdes per un canvi important en la tipologia o intensitat d'ús de l'embassament o per l'efecte d'altres variables alienes al seu funcionament (transvasaments, modificacions importants de la llera o altres), de manera que cal descartar les dades corresponents.

5.1.3 Selecció d'estacions foromètriques : Desenvolupament d'un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG)

Així doncs, mitjançant el software Miramón i les fonts de dades descrites a l'apartat 5.1.1, es procedeix a crear un SIG de continguts específics per a satisfer els nostres objectius d'estudi.

El procediment seguit es resumeix a continuació :

a) Importació de dades i adequació a l'entorn del programa

- Importació, estructuració tipològica i adequació de les metadades de les següents capes d'informació :
 - *Red_hidrografica.shp*
 - *Cuencas_hidrograficas_che.shp*
 - *Canales.shp*
 - *Embalses.shp*
 - *Estaciones_de_aforo.shp*
 - *Caudal_ecologico.shp*
- Importació, estructuració tipològica i adequació a l'entorn d'estudi (retall de capes) de les següents capes d'informació:
 - *MDE_SRTM_Espana.img* (Model Digital d'Elevacions)
 - *Pluvio_Y830.img* (Pluviometria mitjana anual)
 - *Tmax_9OS5.img* (Temperatura màxima anual)
 - *Tmin_FVL9.img* (Temperatura mínima anual)
 - *Tmit_0ORM.img* (Temperatura mitjana anual)
 - *Rad_MWO8.img* (Índex radiació mitjana anual)

b) Ampliació de la informació present a les metadades

- Adició d'informació respecte el registre de dades disponible per a cada estació a la capa *Estaciones_de_aforo.pnt* (Camps: *Año inicio datos* i *Año fin datos*; *valors=(0,2010)*)

c) Creació de noves capes temàtiques i metadades

- Creació d'una nova capa (*Informacionextra_embalses.pnt*) que conté informació sobre l'any de construcció dels embassaments :
 - Adequació del format contingut en el fitxer *Embalses2004.xls*⁵
 - Georeferenciació a partir de la taula de dades obtinguda
 - Estructuració tipològica
- Creació d'una nova capa (*Aprovechamientos_Hidroeléctricos.pnt*) que inclou totes les centrals hidroelèctriques de la conca, la seva potència instal·lada (Kw) i la seva producció anual d'energia (GWh/any):
 - Adequació del format contingut en el fitxer *Lista Centrales Hidroeléctricas.xls*⁶
 - Georeferenciació a partir de la taula de dades obtinguda
 - Estructuració tipològica
- Creació d'una nova capa (*EA_Postembalses.pnt*) que inclou totes les estacions situades en rius després d'un embassament, informació respecte la presència d'afluents entre l'estació i l'embassament predecessor, l'ús tipus d'aquest embassament i el rang de dades d'aforament disponibles:
 - Selecció d'aquelles estacions situades en rius, aigües avall dels embassaments i a una distància euclidiana igual o menor a 10km d'aquests, mitjançant la generació d'un mapa de distàncies, la combinació analítica de capes i la selecció manual. Creació de la capa *EA_Postembalses.pnt*
 - Addició d'informació referent a la presència o no d'afluents entre l'embassament i l'estació a les metadades de la capa *EA_Postembalses.pnt* (Camp: *Postembalse*; *valors= 1: sin afluentes; 2: con afluentes*)
 - Addició d'informació referent al tipus d'aprofitament de l'aigua de l'embassament immediatament predecessor a les

⁵ Obtingut del web de la CHE: (www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=3059&idMenu=3081). Dades tècniques dels embassaments de la conca.

⁶ Obtingut del web de la CHE: (www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=3051&idMenu=2600). Dades dels aprofitaments hidroelèctrics a la conca.

metadades de la capa *EA_Postembalses.pnt* (Camp: *Usos*;
valors={*Hidroeléctrico*; *Riego*; *Abastecimiento*;
Hidroeléctrico/Riego; *Hidroeléctrico/Riego/Abastecimiento*;
Riego/Abastecimiento; *Riego/Abastecimiento/Industrial*})

d) Construcció del SIG i creació de mapes temàtics

- Importació de les capes restants d'interès i establiment de les opcions de visualització i llegenda.
- Resolució dels criteris de selecció mitjançant la consulta temàtica per atributs i la selecció manual (Veure Capítol 6; Apartat 6.1: Resultats de la selecció de dades). Creació de mapes temàtics per a la memòria del projecte.

D'aquesta manera, un cop seleccionades les estacions que, prèvia comprovació mitjançant l'anàlisi dels hidrogrames, compleixen els criteris de selecció proposats, es procedeix a la selecció de les sèries temporals hidrològiques a analitzar.

5.1.4 Selecció de les sèries temporals: Elaboració dels hidrogrames

Per a definir el rang de dades representatiu de l'efecte de l'embassament en cadascuna de les estacions seleccionades, es construeixen els seus respectius hidrogrames.

La representació semi logarítmica en el temps de tota la sèrie contínua de cabals mitjans diaris disponible per cada estació permet:

- a) L'elaboració de la sèrie temporal disponible a partir de la posta en funcionament de l'embassament (Exemple: Figura 4).
- b) La detecció de períodes sense dades dins les sèries degut a circumstàncies intrínseques de la pròpia estació d'aforament (operacions de manteniment o altres) (Exemple: Figura 5).
- c) La detecció de canvis bruscs en la sèrie no atribuïbles a la posta en funcionament de l'embassament (transvasaments o altres) o a un canvi evident en la seva gestió, el qual podria ser associat a un canvi històric en l'ús de la seva aigua embassada (Exemple: Figura 5).

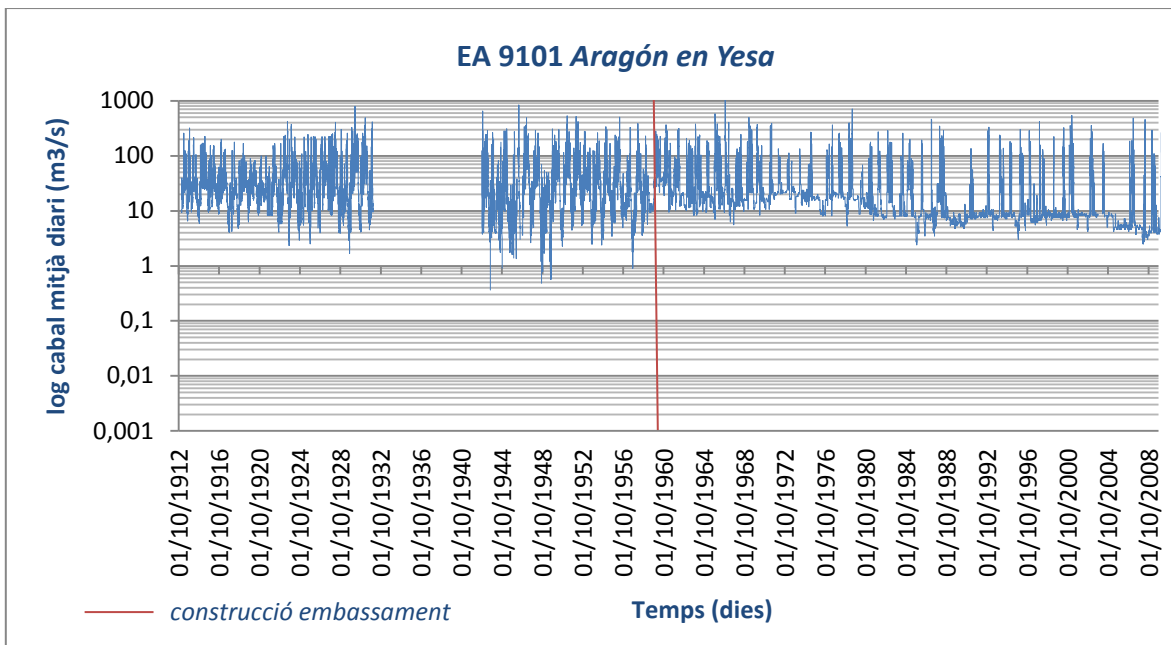


Figura 4: Hidrograma corresponent a la sèrie completa de dades de cabal mig diari disponible per a l'estació 9101 (*Aragón en Yesa*), acotat fins a la posta operativa de l'embassament (*Yesa, 1959*).

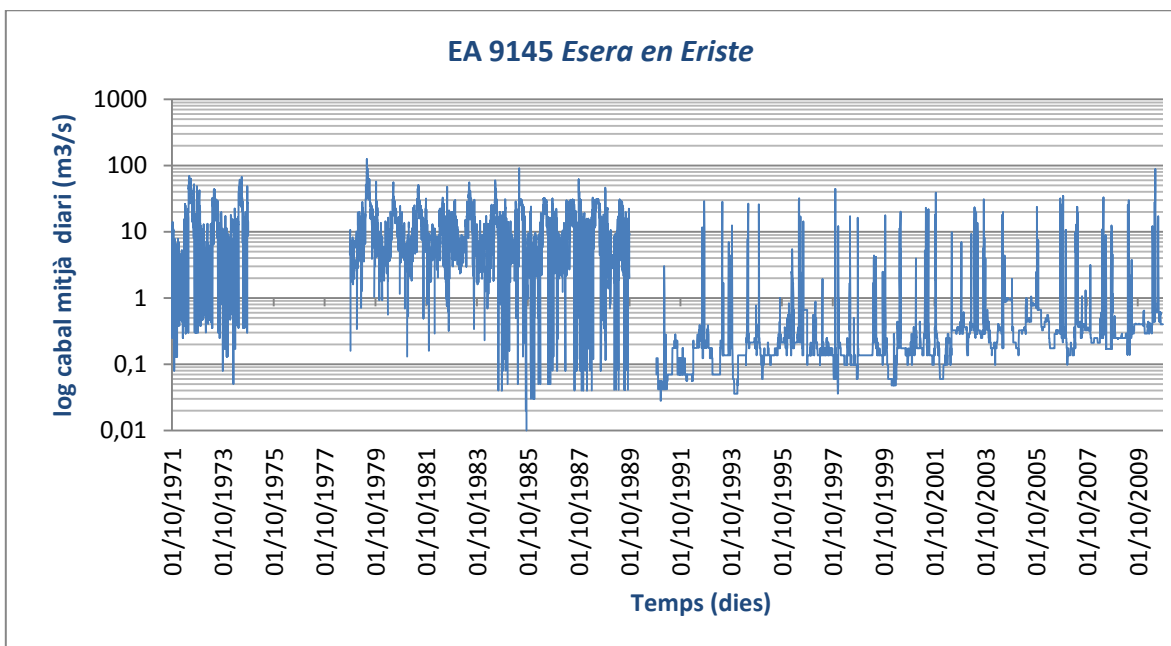


Figura 5: Finestres sense dades ($\approx 1974-1978$) i canvis de règim en la sèrie ($\approx 1990-2010$) detectats a l'hidrograma corresponent a l'estació 9145 (*Esera en Eriste*) durant el període d'activitat de l'embassament (*Linsoles, 1964*).

Així doncs, la informació obtinguda en la construcció dels hidrogrames permet acotar les sèries definitives d'estudi, realitzant els següents canvis en el rang de dades o en les estacions preseleccionades:

- a) Descart d'aquells períodes finals de la sèrie que presenten un canvi evident en el règim fluvial posterior a la posada en funcionament de l'embassament.
- b) Descart d'estacions finalment amb insuficiència de dades (menors, d'aproximadament, 20 anys) com a conseqüència de la presència d'àmplies finestres temporals sense dades dins la sèrie i/o períodes finals amb un canvi evident en el règim fluvial no atribuïble a l'efecte de l'embassament o degut a un canvi en la seva tipologia d'ús.

D'aquesta manera, s'obtenen finalment les estacions que responen als criteris de selecció proposats, tant des d'un punt de vista de la seva localització com de la tipologia d'ús de l'embassament i de la disponibilitat real de dades d'aforament representatives del mateix.

5.2. Anàlisi de dades

5.2.1 Reordenació de les dades

Les dades de cabal obtingudes directament de la CHE per cada sèrie temporal han estat pretractades per a facilitar el seu posterior anàlisi.

Aquestes dades són presentades originalment com una sèrie contínua que comença el primer dia del primer any hidrològic amb dades disponibles (un 1 d'Octubre de, per exemple, 1947) i acaba l'últim dia de l'últim any hidrològic amb dades disponibles (un 30 de Setembre de, per exemple, 2010) (Taula 3).

Data	Cabal mig diari (m ³ /s)
01/10/1947	0,800
02/10/1947	0,800
03/10/1947	0,800
...	...
28/09/2010	2,110
29/09/2010	2,170
30/09/2010	2,110

Taula 3: Format de dades contínues proporcionat per la CHE. Dades de l'estació 9106 (*Guadalope en Santolea*).

Amb l'ajuda del software Matlab, s'ha programat una aplicació (Veure Codi a Annex I) que permet reordenar sistemàticament les dades obtingudes a una forma matricial, amb 12 columnes representant els 12 mesos de l'any i 31 files representant els 31 dies possibles. Aquest procés es representa a continuació (Fig. 6):

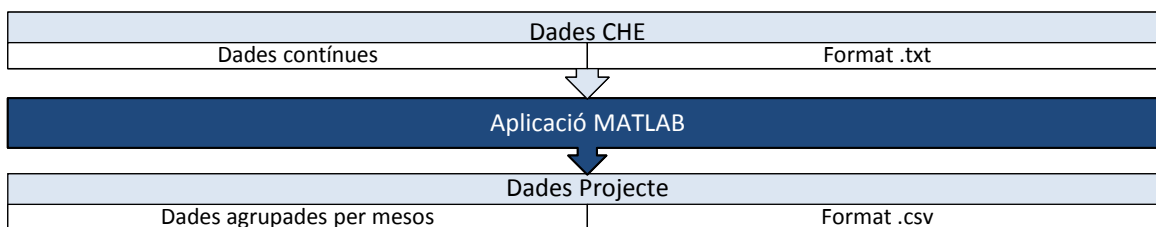


Figura 6: Esquema del procés de reordenació de dades

D'aquesta manera, la reordenació ens permet disposar de tots els valors de la sèrie agrupats en columnes per mesos, facilitant el posterior anàlisi estadístic a escala mensual que la distribució intraanual del règim de cabals mínims ecològics, i en conseqüència el nostre estudi, requereix (Taula 4).

Cabal mig diari (m ³ /s)												
Data	Oct.	Nov.	Des.	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.
1947/48												
1	0,800	0,000	1,150	1,150	0,300	0,300	0,940	0,480	1,960	5,160	0,560	4,080
2	0,800	0,000	1,150	1,150	0,300	0,300	0,940	1,700	1,960	5,160	0,560	3,700
3	0,800	0,000	1,150	1,150	0,300	0,300	0,750	1,700	1,960	5,160	0,560	2,950
...
31	0,000		1,150	0,300		3,200		1,960		3,280	4,080	
1948/49												
1	2,750	1,560	0,380	0,220	0,220	0,220	15,560	2,725	7,940	2,080	4,520	3,440
...
31	1,225		0,220	0,220		15,560		7,935		4,520	3,440	
...												
2009/10												
1	0,940	1,020	9,000	15,010	2,890	4,190	3,320	4,560	3,750	3,100	1,910	1,660
...
31	1,020		15,020	2,870		4,180		3,550		1,910	1,790	

 Taula 4: Format de dades agrupades en columnes per mesos obtingut després de l'aplicació del programa. Dades de l'estació 9106 (*Guadalupe en Santolea*).

5.2.2 Anàlisi estadístic descriptiu

Un cop es disposa de les diferents sèries històriques representatives del període d'activitat dels embassaments i de les seves dades diàries agrupades mensualment, es realitza l'anàlisi estadístic descriptiu de cadascuna d'elles.

Per a cada estació d'aforament, es genera un full de càlcul d'Excel que inclou la caracterització del règim hidrològic i del règim de cabals mínims en el conjunt de la sèrie estudiada, i la determinació del grau d'afectació d'aquest règim de cabals mínims respecte un indicador del seu hipotètic règim natural, el valor dels cabals mínims ecològics determinats per la CHE per aquell tram.

Es calculen els següents estadístics:

- a) Cabal mitjà mensual. Desviació i coeficient de variació. Representació gràfica (Exemple: Fig. 7).
- b) Cabal mitjà anual. Desviació i coeficient de variació (Exemple: Fig. 7).
- c) Distribució dels percentils del cabal mitjà diari per a cada mes. Representació gràfica (Exemple: Fig. 8).
- d) Percentils mensuals corresponents al valor del cabal mínim ecològic determinat per la CHE en el Pla Hidrològic de conca 2010-15 (Exemple: Taula 5). Representació gràfica (Exemple: Fig. 8).
- e) Percentils mensuals corresponents al valor del cabal mitjà mensual de la sèrie. Representació gràfica (Fig. 8).
- f) Mitjana anual dels percentils mensuals corresponents al cabal mínim ecològic. Desviació estàndard (variabilitat intraanual) (Exemple: Taula 5).

D'aquesta manera, la distribució dels percentils del cabal mitjà diari al llarg dels mesos de l'any permet caracteritzar el règim de cabals mínims de la sèrie estudiada i, a partir del càlcul dels percentils corresponents al règim de cabals mínims ecològics mensuals fixats per la CHE, es determina el grau d'alteració que presenten respecte aquest indicador.

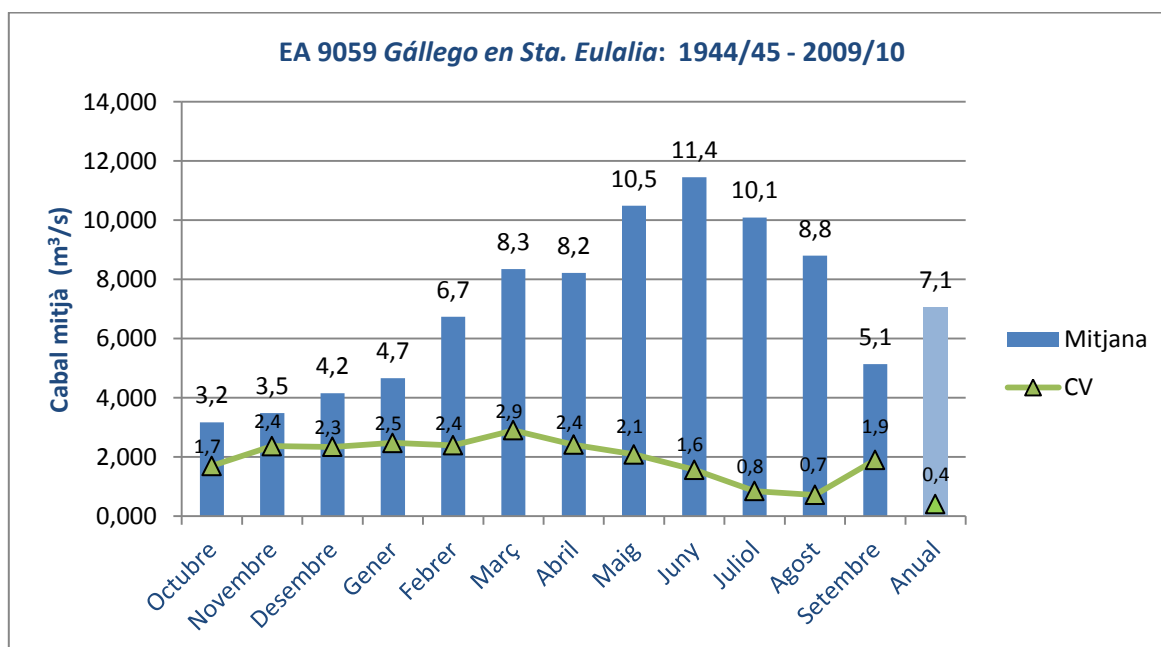
Donat que el règim de cabals mínims ecològics és aquell règim de cabals mínims que, en general, s'ha d'assolir el 90% del temps (Veure detalls a la Normativa; Capítol 2; Apartat 2.2.2), el seu valor hauria de correspondre idealment al percentil 10 per a cada mes o, vist a l'inrevés, els valors de cabal de la sèrie que corresponen al percentil 10 haurien de coincidir amb els valors del cabal mínim ecològic, en el cas d'un hipotètic compliment històric de la normativa actual.

Per a quantificar la magnitud anual d'aquesta afectació, s'obté la mitjana anual dels percentils mensuals corresponents al cabal mínim ecològic. La desviació estàndard d'aquesta mitjana anual, s'utilitza com a mesura de la variabilitat intraanual de l'alteració, tal com es pot veure en el següent exemple, corresponent a l'estació d'aforament situada al riu *Gállego* en el seu pas per *Sta. Eulalia* (Taula 5):

Taula 5: Règim intraanual de cabals mínims ecològics proposat en el Pla Hidrològic 2010-15 i percentils corresponents per a l'estació 9059, *Gállego en Sta. Eulalia*.

EA 9059 <i>Gállego en Sta. Eulalia</i>	Q Eco PH2015 (m3/s)	Percentil QEco PH2010-15
Octubre	5,00	75,50
Novembre	4,89	78,40
Desembre	4,77	73,10
Gener	4,65	74,90
Febrer	4,16	71,70
Març	4,26	69,40
Abril	4,60	67,80
Maig	4,66	59,90
Juny	4,60	36,90
Juliol	4,03	20,50
Agost	3,80	19,30
Setembre	4,21	53,40
Mitjana	4,47	58,40
Desviació	-	21,37

Ahora, el cabal mig mensual i anual, les seves respectives variabilitats intramensual i intraanual normalitzades (coeficient de variació) i el percentil mensual corresponent a aquest cabal mig mensual, s'utilitzen com a suport descriptiu del règim hidrològic de la sèrie, tal com es mostra, a tall d'exemple, a les figures 7 i 8:

Fig 7: Cabal mig diari mensual i anual i els seus corresponents coeficients de variació (CV) durant el període d'activitat de l'embassament (embassament de *la Peña*) a l'estació 9059 (*Gállego en Sta. Eulalia*).

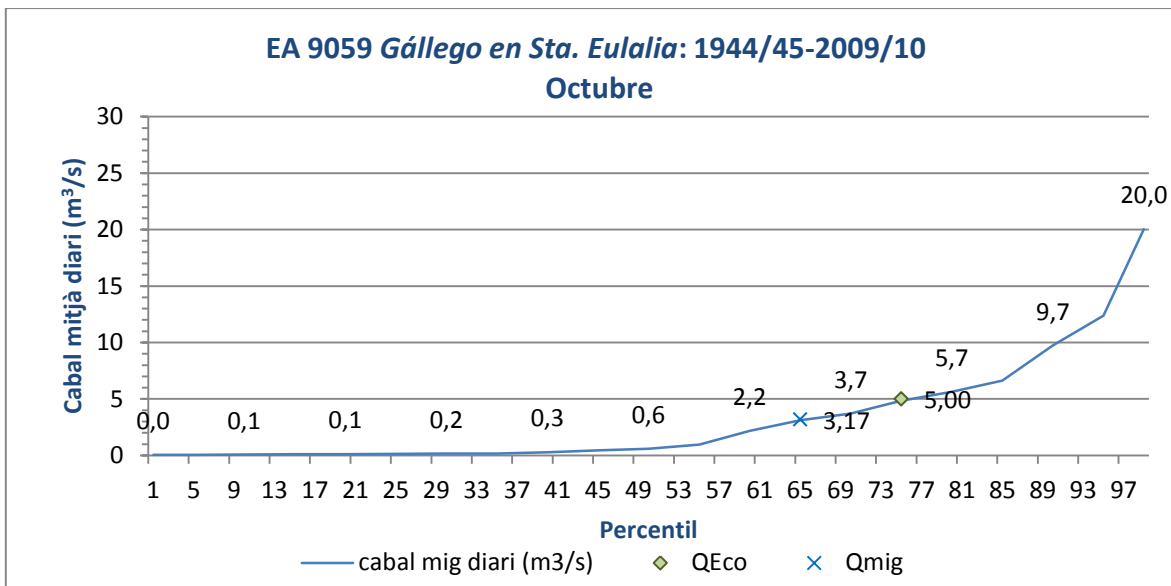


Fig.8: Distribució dels percentils de cabals mig diaris i dels percentils corresponents al cabal mig mensual i al cabal mínim ecològic mensual durant el període d'activitat de l'embassament (embassament de *la Peña*) a l'estació 9059 (*Gállego en Sta. Eulalia*). Exemple per al mes d'Octubre.

5.2.3 Anàlisi estadístic per grups

A partir dels estadístics calculats en l'anàlisi descriptiu, es procedeix al seu anàlisi categòric, agrupant els resultats obtinguts per cada estació foromètrica (percentils mensuals i percentil anual corresponents al cabal mínim ecològic i la seva desviació intraanual) en funció del tipus d'embassament que les condiciona (Hidroelèctric, Reg o Mixt) i analitzant les diferències observades entre els diferents grups. S'utilitza el software estadístic SPSS, seguint el procediment que es detalla a continuació.

5.2.2.1 Comparació dels percentils del cabal mínim ecològic anuals

Es quantifica el grau d'alteració del règim de cabals mínims ecològics i la seva variabilitat al llarg de l'any per a cada grup, a partir del càlcul de les mitjanes intragrups del percentil anual corresponent als cabals ecològics mínims i les mitjanes intragrups de la seva desviació corresponent.

Per a valorar la significació estadística de les diferències observades, es realitza un test de comparació d'aquestes mitjanes. Aquests tests es realitzen per als dos grups principals d'estudi (Hidroelèctric i Reg) i també per a cadascun d'ells respecte el grup que combina ambdós usos (Hidroelèctric i Mixt; Reg i Mixt). Finalment, es realitza el contrast conjuntament per a tots tres grups alhora (Hidroelèctric, Mixt i Reg). D'aquesta manera es pretén, a més a més de valorar les diferències obtingudes entre els trams fluvials condicionats per un embassament destinat exclusivament al reg i els trams condicionats per un embassament exclusivament hidroelèctric,

avaluar l'assumpció que aquells trams condicionats per un embassament que combina ambdós tipus d'usos presentaran un comportament entremig. Aquest fet, reforçaria la hipòtesi de que les diferències observades entre els dos grups es deuen principalment a la variable d'agrupació utilitzada, l'ús de l'embassament, i no pas a altres variables de confusió.

En el mateix sentit, donada la diferent localització dels embassaments en funció del seu ús (Veure Capítol 6:Resultats, Apartat 6.1: Resultats de la selecció de dades), per avaluar la possible interferència de les variables de confusió associades a l'heterogeneïtat de la conca, es realitza un altre test de comparació, anàleg al realitzat en funció del tipus d'ús de l'embassament però en base a una variable d'agrupació climàtica. Si bé aquestes variables associades a la localització són considerades en la pròpia determinació dels cabals ecològics, poden modificar el tipus de regulació de l'embassament de manera interdependent amb l'ús de l'aigua embassada, de manera que cal avaluar la seva influència en els resultats que s'obtinguin. Agrupant en aquest cas el conjunt d'estacions corresponents al grup de reg (el que presenta una distribució menys uniforme dels dos grups principals al llarg de la conca) en funció d'una variable climàtica que presenta una elevada variabilitat en el medi, la pluviometria mitjana anual, i comparant els resultats que s'obtenen en l'afectació del règim de cabals ecològics en funció d'aquesta variable, és possible avaluar fins a quin punt aquesta heterogeneïtat pot ser determinant en les diferències observades en el grau d'afectació del règim de cabals mínims ecològics en funció del tipus d'ús de l'embassament.

Per realitzar aquestes comparacions, es porta a terme un contrast de normalitat de les dades i s'utilitzen els tests no paramètrics de Mann-Whitney (2 variables) i de Kruskal-Wallis (3 variables). S'utilitza un nivell de significació estadística del 5 %.

Així doncs, es realitzen els següents càlculs i els següents contrastos d'hipòtesis:

- a) Càlcul de la mitjana intragrupal del percentil anual corresponent al cabal mínim ecològic obtingut per a cada estació. Desviació estàndard (variabilitat intragrupal).
- b) Càlcul de la mitjana intragrupal de la desviació corresponent al percentil del cabal ecològic mitjà anual obtinguda per a cada estació (variabilitat intraanual del percentil corresponent al cabal ecològic mensual). Desviació estàndard (variabilitat intragrupal).
- c) Contrasts de normalitat (Test de Shapiro-Wilk) i d'homogeneïtat de les variàncies (Test de Levene) del conjunt de dades del percentil anual obtingudes per a cada grup d'estudi. Aquests contrastos s'utilitzen per a l'elecció del contrast d'hipòtesi d'igualtat de mitjanes adient en base als principis de normalitat i homocedasticitat de les dades.
- d) Contrasts de normalitat (Test de Shapiro-Wilk) i d'homogeneïtat de les variàncies (Test de Levene) del conjunt de desviacions estàndard intraanuals obtingudes per a cada grup d'estudi.
- e) Contrast d'hipòtesi d'igualtat de mitjanes (per al percentil mitjà anual i per a la desviació estàndard mitjana intraanual) entre els diferents grups d'estudi: Mann-Whitney per a 2 variables (Hidroelèctric i Reg; Hidroelèctric i Mixt; Reg i Mixt) i Kruskal-Wallis per a 3 variables (Hidroelèctric, Reg i Mixt).

- f) Contrast d'hipòtesi d'igualtat de mitjanes (per al percentil mitjà anual) entre els dos grups de Reg creats, a través de l'anàlisi *clúster*, en base a la pluviometria mitja anual: Mann-Whitney per a 2 variables (Reg amb pluviometria<500mm/any i Reg amb pluviometria>500mm/any)

D'aquesta manera, s'obté la caracterització del grau d'afectació del règim de cabals mínims ecològics en funció del tipus d'embassament a un nivell anual.

5.2.2.2 Comparació dels percentils del cabal mínim ecològic mensuals

Es quantifica el grau d'alteració del règim de cabals mínims ecològics a nivell mensual, a partir del càlcul de les mitjanes intragrups corresponents al percentil del cabal mínim ecològic per a cada mes de l'any.

Es realitza un test de comparació per a aquestes mitjanes entre els dos grups principals d'estudi (Reg i Hidroelèctric) i també incloent el grup mixt (Hidroelèctric, Reg i Mixt). En aquest cas, es descarta la comparació un a un amb aquest tercer grup, degut als resultats obtinguts en aquest sentit en la comparativa anual, els quals confirmarien el seu comportament entremig. Alhora, es realitza un test de comparació per a les mitjanes del percentil del cabal ecològic mensual obtingudes en els dos grups de reg creats en base a la pluviometria mitja anual, a fi d'avaluar el grau d'interferència de l'heterogeneïtat de la conca en els resultats, anàlogament al procés descrit per a la comparació dels percentils a nivell anual (Apartat 5.2.2.1). S'utilitzen els tests no paramètrics de Mann-Whitney (2 variables) i Kruskal-Wallis (3 variables), amb un nivell de significació del 5 %.

Així doncs, es realitzen els següents càlculs i contrastos d'hipòtesis:

- Càlcul de les mitjanes intragrups dels percentils mensuals corresponents al cabal mínim ecològic obtinguts per a cada estació. Desviació estàndard (intragrupal)
- Contrasts de normalitat (Test de Shapiro-Wilk) i d'homogeneïtat de les variàncies (Test de Levene) del conjunt de dades mensuals del percentil corresponent al cabal mínim ecològic obtinguts per a cada grup d'estudi.
- Contrast d'hipòtesis d'igualtat de mitjanes per al percentil mitjà mensual entre els diferents grups d'estudi: Mann-Whitney per a 2 variables (Hidroelèctric i Reg) i Kruskal-Wallis per a 3 variables (Hidroelèctric, Reg i Mixt).
- Contrast d'hipòtesis d'igualtat de mitjanes per al percentil mitjà mensual entre els dos grups de Reg creats, a través de l'anàlisi *clúster*, en base a la pluviometria mitja anual: Mann-Whitney per a 2 variables (Reg amb pluviometria<500mm/any i Reg amb pluviometria>500mm/any).

D'aquesta manera, s'obté la caracterització del grau d'alteració del règim de cabals mínims ecològics en funció de la tipologia d'ús de l'embassament al llarg de l'any hidrològic.

6. RESULTATS I DISCUSSIÓ

A continuació s'exposen els resultats obtinguts en el marc d'estudi d'aquest projecte.

En un primer apartat s'expliquen els resultats del procés de **selecció de dades**: els resultats conjunts obtinguts mitjançant l'anàlisi del SIG i la construcció dels hidrogrames, i una valoració dels resultats finals d'aquesta selecció.

En un segon apartat, es detallen els resultats de l'**anàlisi de dades**: els resultats de l'anàlisi descriptiu de les sèries estudiades, i els resultats de la comparativa efectuada entre els diferents grups considerats.

6.1 Resultats de la selecció de dades

A partir de l'anàlisi de la informació present al SIG i l'elaboració dels hidrogrames corresponents, s'han obtingut un total de 30 estacions que responen als criteris de localització i tipologia d'ús de l'embassament fixats i que, alhora, disposen d'un rang de dades de cabal mig diari representatiu de l'efecte de la seva regulació aproximadament igual o major als 20 anys.

Aquestes 30 estacions es divideixen en 8 estacions condicionades per un embassament hidroelèctric, 12 condicionades per un embassament de reg i 10 condicionades per un embassament mixt (Taula 6). La descripció detallada del procés de selecció de dades, amb els resultats parcials obtinguts en base a cadascun dels criteris de selecció fixats, és consultable a l'Annex II (Resultats del SIG) i a l'Annex III (Resultats de la construcció dels hidrogrames).

Taula 6: Resultats de la selecció de dades

Nº	Codi (CHE)	Nom	Ús de l'embassament	Sèrie temporal disponible	Sèrie temporal representativa	Nº de dades representatives (anys)
1	9131	NOGUERA DE TOR en LLESP	Hidroelèctric	1962-1997	1962-1997	35
2	9116	NOGUERA DE TOR en CALDAS DE BOHI	Hidroelèctric	1946-1997	1961-1997 ^a	36
3	9018	ARAGON en JACA	Hidroelèctric	1930-2010	1974-2010 ^a	36
4	9144	NOGUERA DE CARDOS en TABESCAN	Hidroelèctric	1966-1992	1966-1992	26
5	9145	ESERA en ERISTE	Hidroelèctric	1951-2010	1970-1990 ^{a b}	20
6	9267	FLAMISELL en CAPDELLA	Hidroelèctric	1989-2008	1989-2008	19
7	9271	ARAGON en	Hidroelèctric	1991-2010	1991-2010	19

		CANFRANC ANTIGUO				
8	9252	NOGUERA PALLARESA en ESCALO	Hidroelèctric	1989-2010	1989-2010	21
9	9012	GALLEGO en ARDISA	Mixt	1912-2010	1927-1988 ^{a b}	61
10	9034	NAJERILLA en MANSILLA	Mixt	1930-2010	1960-2010 ^a	50
11	9039	ALBERCOS en ORTIGOSA	Mixt	1930-2010	1963-2010 ^a	47
12	9076	IRATI en ORBAICETA	Mixt	1959-2010	1959-2010	51
13	9083	SEGRE en OLIANA	Mixt	1952-2010	1959-2010 ^a	51
14	9084	SALADO en ALLOZ	Mixt	1976-2010	1976-2010	34
15	9097	NOGUERA RIBAGORZANA en LA PIÑANA	Mixt	1946-2010	1961-1981 ^{a b}	20
16	9128	ESERA en BARASONA	Mixt	1949-1971	1949-1971	30
17	9106	GUADALOPE en SANTOLEA	Mixt	1947-2010	1947-2010	63
18	9250	GALLEGO en BUBAL	Mixt	1988-2010	1988-2010	22
19	9099	GUADALOPE en CASPE	Reg	1973-2010	1973-2010	37
20	9101	ARAGON en YESA	Reg	1912-2010	1959-2010 ^a	51
21	9105	HUERVA en MEZALLOCHA	Reg	1948-2010	1948-2010	62
22	9059	GALLEGO en SANTA EULALIA	Reg	1944-2010	1944-2010	66
23	9162	EBRO en PIGNATELLI	Reg	1962-1988	1962-1988	26
24	9201	GUADALOPILLO en GALLIPUEN	Reg	1977-1999	1977-1999	22
25	9109	PENA en VALDERROBRES	Reg	1969-2010	1969-2010	41
26	9118	MARTIN en OLIETE	Reg	1946-2010	1946-2010	64
27	9124	HUERVA en LAS TORCAS	Reg	1949-2010	1949-2010	61
28	9125	PIEDRA en CARENAS	Reg	1953-2010	1964-2010 ^a	46
29	9190	FLUMEN en QUICENA	Reg	1978-2010	1978-2010	32
30	9238	ARANDA en MAIDEVERA	Reg	1987-2010	1987-2010	23

^a Acotada fins a la posta operativa de l'embassament

^b Acotada a partir de l'inici del període en que s'ha detectat un canvi important en el règim hidrològic no atribuïble a l'ús ordinari de l'embassament (transvasaments o altres).

D'aquesta manera, es disposa d'un total acumulat d'aproximadament 427.000 dades de cabal mig diari en el conjunt dels 30 punts considerats, amb un mínim de 6.900 dades diàries per estació (19 anys) i un màxim de 24.000 (66 anys) (Taula 6).

Les estacions representatives de l'efecte produït per un embassament hidroelèctric es concentren a les parts altes de la conca, majoritàriament als Pirineus i, exclusivament, al marge esquerra del riu Ebre, mentre que les estacions representatives d'un aprofitament per reg es situen en les parts mitjanes o baixes, localitzant-se a ambdós marges del riu principal. Les estacions precedides per

un embassament mixt es situen en un terme entremig, en les parts altes o mitjanes, i presenten el menor grau d'uniformitat dels tres grups pel que fa a la seva distribució horitzontal en la conca (Figura 9).

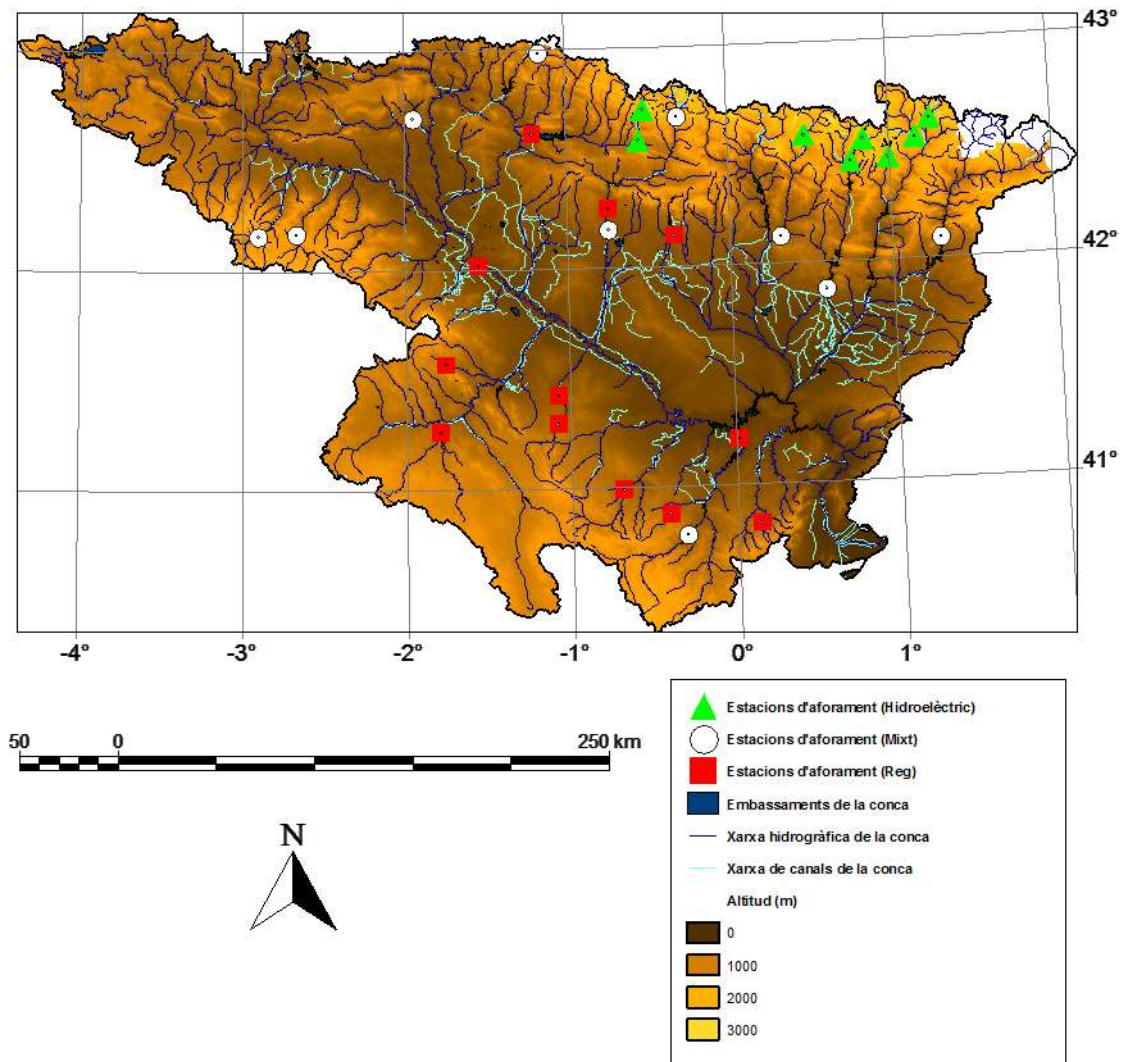


Fig 9: Distribució latitudinal, longitudinal i altimètrica de les estacions seleccionades.

Aquesta diferent localització és intrínseca a la diferent tipologia d'ús dels embassaments (els aprofitaments hidroelèctrics requereixen d'un cert pendent per a la producció d'energia, tendint a situar-se a les parts altes de la conca i els embassaments de reg s'associen a les planes aptes per als cultius, tendint a situar-se a les parts mitges-baixes), però implica la conveniència de valorar l'efecte de les variables de confusió associades a l'heterogeneïtat de la conca en la comparació entre grups. Tal com s'ha exposat anteriorment, considerem que la variable climatològica és la variable de confusió que pot ser més important. En conseqüència, s'avalua el seu potencial efecte

en els resultats de l'anàlisi per grups a partir de la comparació dels valors obtinguts per als percentils en funció d'una variable que n'és característica, la pluviometria, i per a una mateixa tipologia d'ús dels embassaments. (Veure Capítol 5: Metodologia; Apartat 5.2.3: Anàlisi estadístic per grups). Els resultats obtinguts en aquest sentit són 7 estacions de reg amb una pluviometria mitjana anual menor de 500mm i 5 estacions amb una pluviometria mitja anual major de 500 mm (Fig. 10).

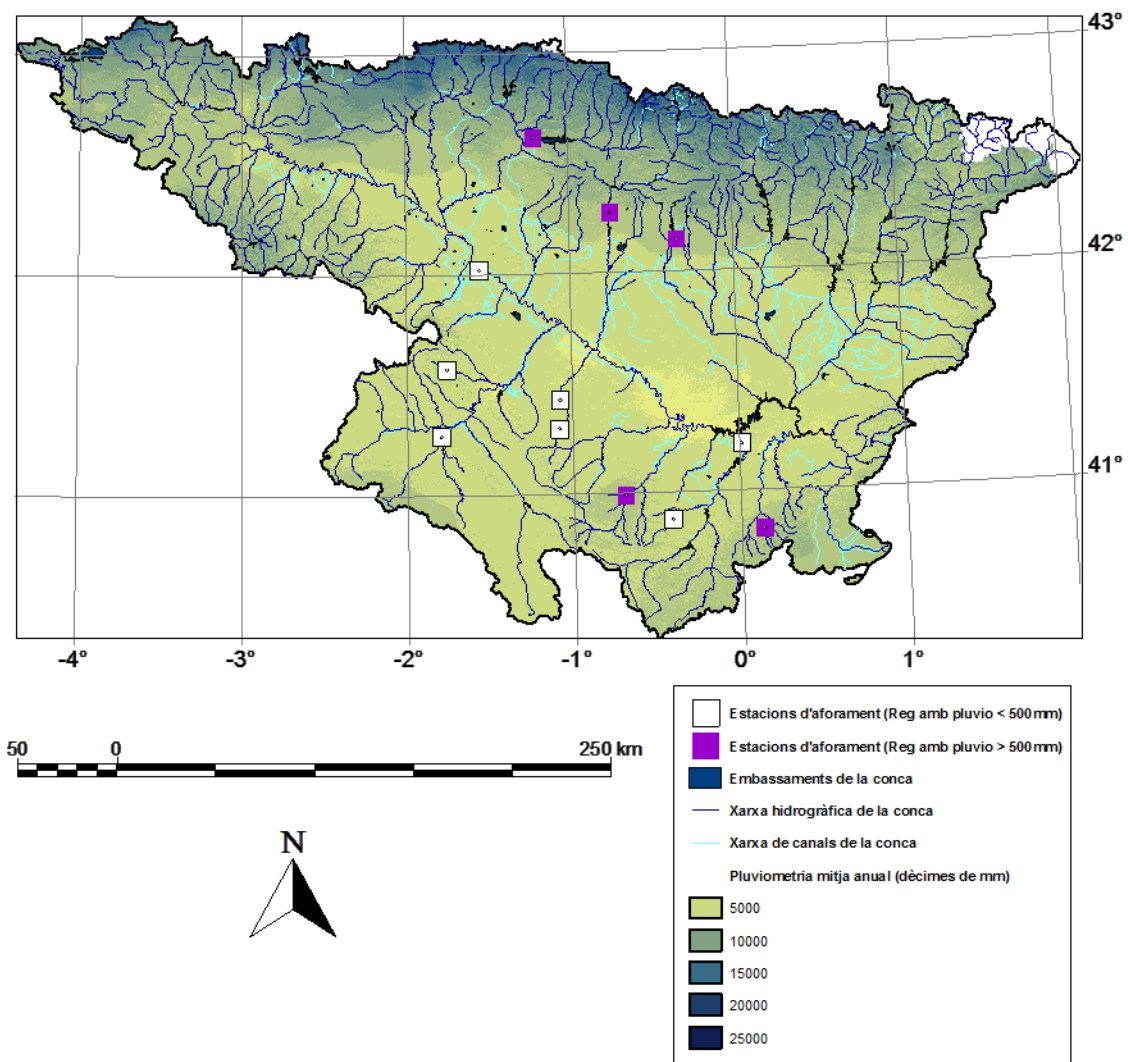


Fig. 10: Distribució de la pluviometria mitja anual a la conca i localització de les estacions condicionades per un embassament de regadiu seleccionades en funció d'aquesta variable.

6.2 Resultats de l'anàlisi de dades

6.2.1 Anàlisi estadístic descriptiu

S'ha generat, per cadascuna de les 30 sèries temporals seleccionades, un full de càlcul d'Excel que inclou la caracterització del règim hidrològic a partir del càlcul del cabal mitjà mensual i anual, i a partir de la distribució dels percentils del cabal mig diari al llarg de l'any. El grau d'afectació del règim de cabals mínims ecològics es determina a partir del càlcul del percentil mensual corresponent al seu valor i , per quantificar la magnitud anual d'aquest grau d'afectació, s'obté la mitjana anual d'aquests percentils mensuals. La seva corresponent desviació estàndard s'utilitza com a indicador de la variabilitat intraanual que presenta l'alteració del règim de cabals mínims ecològics (Veure Capítol 5. Metodologia; Apartat 5.2.2 Anàlisi estadístic descriptiu).

D'aquesta manera, s'obtenen 30 resultats anàlegs als dos exemples que es descriuen a continuació, per a una estació d'aforament condicionada per un embassament de regadiu (exemple a, estació 9059: *Gállego en Sta. Eulàlia*) i per a una estació d'aforament condicionada per un embassament hidroelèctric (exemple b, estació 9018: *Aragón en Jaca*). Aquests dos exemples es caracteritzen per ser, per a cada grup principal d'estudi, els dos punts en que s'ha detectat un major grau d'alteració del règim de cabals mínims a nivell anual.

a) Exemple per a una estació condicionada per un embassament de regadiu (Riu *Gállego* al seu pas per *Sta. Eulàlia*)

L'hidrograma mitjà mensual d'aquesta sèrie, corresponent al període d'activitat de l'embassament de reg de *la Peña*, presenta el període d'aigües altes entre Abril i Agost, amb un màxim al mes de Juny ($11,4 \text{ m}^3/\text{s}$) i un mínim a l'Octubre ($3,2 \text{ m}^3/\text{s}$). La variabilitat intramensual d'aquest règim hidrològic presenta els valors més elevats durant el principi de la primavera, amb un màxim al Març (coeficient de variació de 2,9) i uns mínims a l'estiu, durant els mesos de Juliol i Agost, amb un coeficient de variació de 0,8 i 0,7 respectivament. A nivell anual, el cabal mitjà es situa en un valor de $7,1 \text{ m}^3/\text{s}$ i la seva variabilitat intraanual, també mesurada a través del coeficient de variació, pren un valor de 0,4 (Figura 11).

Si s'utilitza com a orientació l'hidrograma mensual "natural" del riu *Gállego* (consultable a l'estudi realitzat per la OPH l'any 2000, "Els aprofitaments a la conca de l'Ebre: afecció en el règim hidrològic fluvial", i estimat en base als registres de l'estació 9123, *Gállego en Anzánigo*, durant el període 1949/50-1996/97; Veure Annex IV), el període d'aigües altes s'hauria de presentar entre Abril i Juny, amb un màxim el mes de Maig, i el període d'aigües baixes es situaria durant els mesos d'Agost i Setembre. Alhora, la magnitud de cabals hauria de ser major. El cabal mínim en règim "natural" (mesurat aigües amunt de l'estació de *Sta. Eulàlia*) s'estima en $15 \text{ m}^3/\text{s}$ per al mes d'Agost, mentre que el cabal màxim de la sèrie durant el període d'activitat de l'embassament, al Juny, és de $11,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

S'observa doncs, comparant a un nivell qualitatiu els resultats obtinguts per als cabals mitjans mensuals amb els que s'esperarien en règim "natural", l'alteració del règim de cabals. S'aprecia

una disminució generalitzada dels cabals mitjans mensuals i un canvi en la seva modulació mensual, caracteritzada per una notable disminució relativa dels cabals mitjans durant els mesos de tardor i hivern i un gran augment dels mateixos durant els mesos d'estiu.

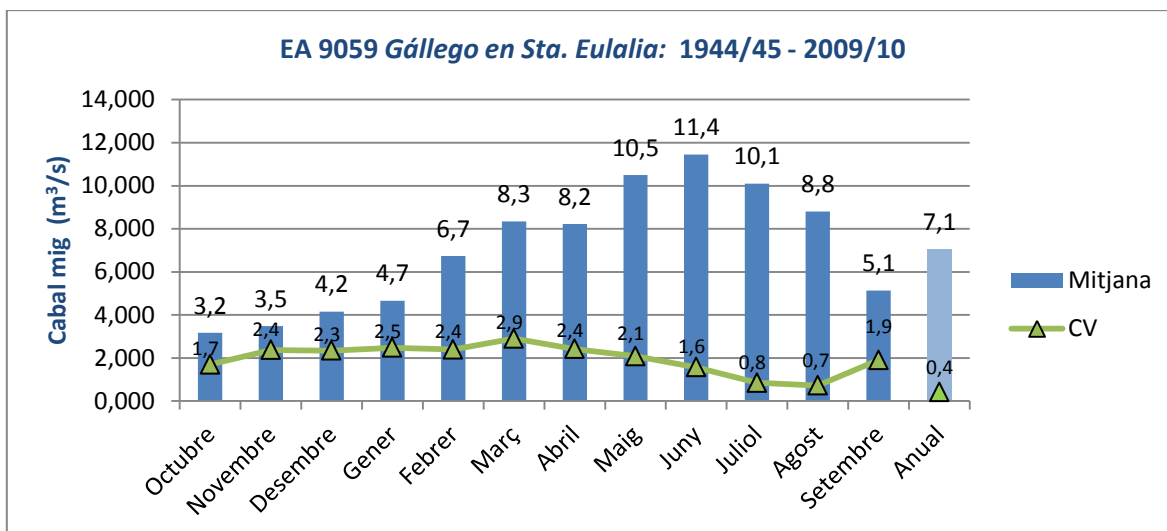


Fig. 11: Exemple per a l'estació 9059 (*Gállego en Sta. Eulalia*). Cabal mig mensual i anual de la sèrie i les seves corresponents variabilitats mensual i anual normalitzades.

El grau d'alteració del règim de cabals mínims ecològics presenta valors coherents amb l'observat en la comparació qualitativa de l'afectació del règim de cabals mitjans. El període de màxima afectació (aquell en que els percentils presenten valors més elevats, de manera que els cabals mínims no s'assoleixen durant més temps) correspon a la tardor i a l'hivern, amb una màxim per al mes de Novembre (percentil 78,40). Coincideix, per tant, amb la disminució relativa dels cabals mitjans observada en aquest període respecte el seu règim "natural". L'afectació als cabals mínims ecològics disminueix dràsticament a finals de primavera, i presenta els valors més baixos durant els mesos d'estiu, amb un mínim a l'Agost (percentil 19,30), coincidint també amb l'augment relatiu d'aquests cabals mitjans. La mitjana anual de l'alteració correspon al percentil 58,40 i la seva desviació (variabilitat intraanual de l'alteració) és de 21,36 (Taula 7).

Taula 7: Exemple per a l'estació 9059 *Gállego en Sta. Eulalia* (Reg). Règim de cabals ecològics establerts per la CHE en el Pla Hidrològic de conca 2010-15 i percentils corresponents dins el període estudiat (1944-2010).

EA 9059 Gállego en Sta. Eulalia	Q Eco PH2015 (m3/s)	Percentil Q Eco PH2015
Octubre	5,000	75,500
Novembre	4,890	78,400
Desembre	4,770	73,100
Gener	4,650	74,900
Febrer	4,160	71,700
Març	4,260	69,400
Abril	4,600	67,800
Maig	4,660	59,900
Juny	4,600	36,900
Juliol	4,030	20,500
Agost	3,800	19,300

Setembre	4,210	53,400
Mitjana	4,469	58,400
Desviació	-	21,366

D'aquesta manera, s'ha quantificat el grau d'alteració del règim de cabals mínims ecològics durant el període d'activitat de l'embassament de *la Peña*. El percentil anual indica que els cabals mitjans diaris són iguals o inferiors al cabal mínim ecològic durant el 58,40 % del temps, de manera que aquests cabals, només s'assoleixen durant el 41,70 % dels dies de l'any.

Tenint en compte que per al compliment del règim de cabals mínims ecològics aquests han de ser igualats o superats el 90% del temps (Veure Normativa: Capítol 2; Apartat 2.2.2), és clar que durant el període estudiat no es compliria amb el règim actualment proposat. Les diferències obtingudes en el grau d'alteració a nivell mensual evidencien que, tot i que la proposta normativa no s'assoliria per a cap mes de l'any (el percentil en que es situa el cabal mínim ecològic sempre és major del percentil 10), hi ha mesos en que el seu incompliment seria molt més exagerat (Taula 8).

Taula 8: Exemple per a l'estació 9059 *Gállego en Sta. Eulalia* (Regadiu). Distribució dels percentils del cabal mig diari per a cada mes en el període estudiat (1944-2010). En verd clar s'indica el percentil en que s'hauria d'emmarcar el valor del cabal ecològic per a un compliment de la normativa proposada al Pla Hidrològic 2010-15 i, en vermell, el percentil en el qual es situa, evidenciant el diferent grau d'alteració del règim de cabals mínims en funció de l'època de l'any.

EA 9059 <i>Gállego en Sta. Eulalia</i>												
Cabal mig diari (m ³ /s)												
Centil	Oct.	Nov.	Des.	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.
1	0,040	0,040	0,040	0,040	0,046	0,000	0,060	0,078	0,080	0,100	0,060	0,040
5	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,080	0,098	0,140	0,950	0,226	0,080
10	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,100	0,136	0,178	2,593	1,770	0,080
15	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,136	0,150	0,719	3,181	2,760	0,100
20	0,100	0,100	0,100	0,100	0,130	0,130	0,150	0,179	1,700	4,000	3,850	0,136
25	0,136	0,136	0,136	0,140	0,140	0,148	0,200	0,244	3,040	4,500	4,450	0,172
30	0,170	0,150	0,148	0,148	0,172	0,178	0,281	0,456	3,800	6,068	5,350	0,226
35	0,178	0,178	0,178	0,178	0,178	0,226	0,450	0,770	4,450	6,978	6,400	0,500
40	0,290	0,290	0,274	0,275	0,440	0,350	0,600	1,702	5,113	7,830	7,210	1,190
45	0,450	0,450	0,380	0,440	0,590	0,530	0,800	2,720	5,850	8,620	8,150	2,410
50	0,600	0,600	0,450	0,470	0,600	0,600	1,612	3,340	6,660	9,220	8,965	3,578
55	0,950	0,740	0,600	0,600	1,100	0,800	2,050	4,099	7,550	10,030	9,480	4,450
60	2,180	0,950	0,920	0,860	2,100	2,080	3,350	4,690	8,260	10,970	10,140	4,850

65	3,104	2,145	2,166	2,154	3,200	3,041	4,129	5,500	9,270	11,440	10,860	5,673
70	3,720	3,080	3,141	3,480	3,700	4,450	4,850	6,660	10,500	11,880	11,420	6,690
75	4,850	4,300	5,516	4,650	4,900	5,552	5,658	8,260	11,462	12,703	12,148	8,100
80	5,650	5,770	6,474	6,660	6,400	6,330	7,854	11,550	13,050	13,570	13,050	9,040
85	6,642	8,417	9,600	9,546	12,368	12,960	11,880	15,300	14,740	14,486	13,985	10,586
90	9,740	10,573	11,886	14,490	16,805	23,830	26,318	29,694	26,348	17,225	14,540	12,710
95	12,386	15,000	17,172	18,113	38,287	41,244	42,500	55,266	45,372	24,211	16,820	14,967
99	20,019	22,097	45,244	54,828	73,218	129,016	92,513	99,183	98,600	36,593	24,760	23,100

La representació gràfica de la distribució dels percentils del cabal mig diari per a cada mes de l'any, conjuntament amb el valor i el percentil corresponent al cabal mig de la sèrie, i el valor i el percentil corresponent al cabal mínim ecològic mensual, permet apreciar amb major detall el comportament general del règim de cabals, l'afectació del règim de cabals mínims i l'evolució d'aquesta afectació al llarg de l'any hidrològic. El cabal mitjà mensual de la sèrie es situa sempre per damunt del percentil 50, evidenciant una major densitat d'observacions per sota que per damunt d'aquest cabal mitjà. Aquesta asimetria és mínima durant els mesos de Juliol i d'Agost, en que el règim de cabals és menys variable, i és màxima durant la primavera, al Març, quan el règim de cabals presenta la seva màxima variabilitat al llarg del mes. Es pot observar que el cabal mínim ecològic arriba a ser clarament superior al cabal mitjà de la sèrie per als mesos d'Octubre i Novembre, època de màxim incompliment del règim de cabals mínims proposats per la CHE (Fig. 12).

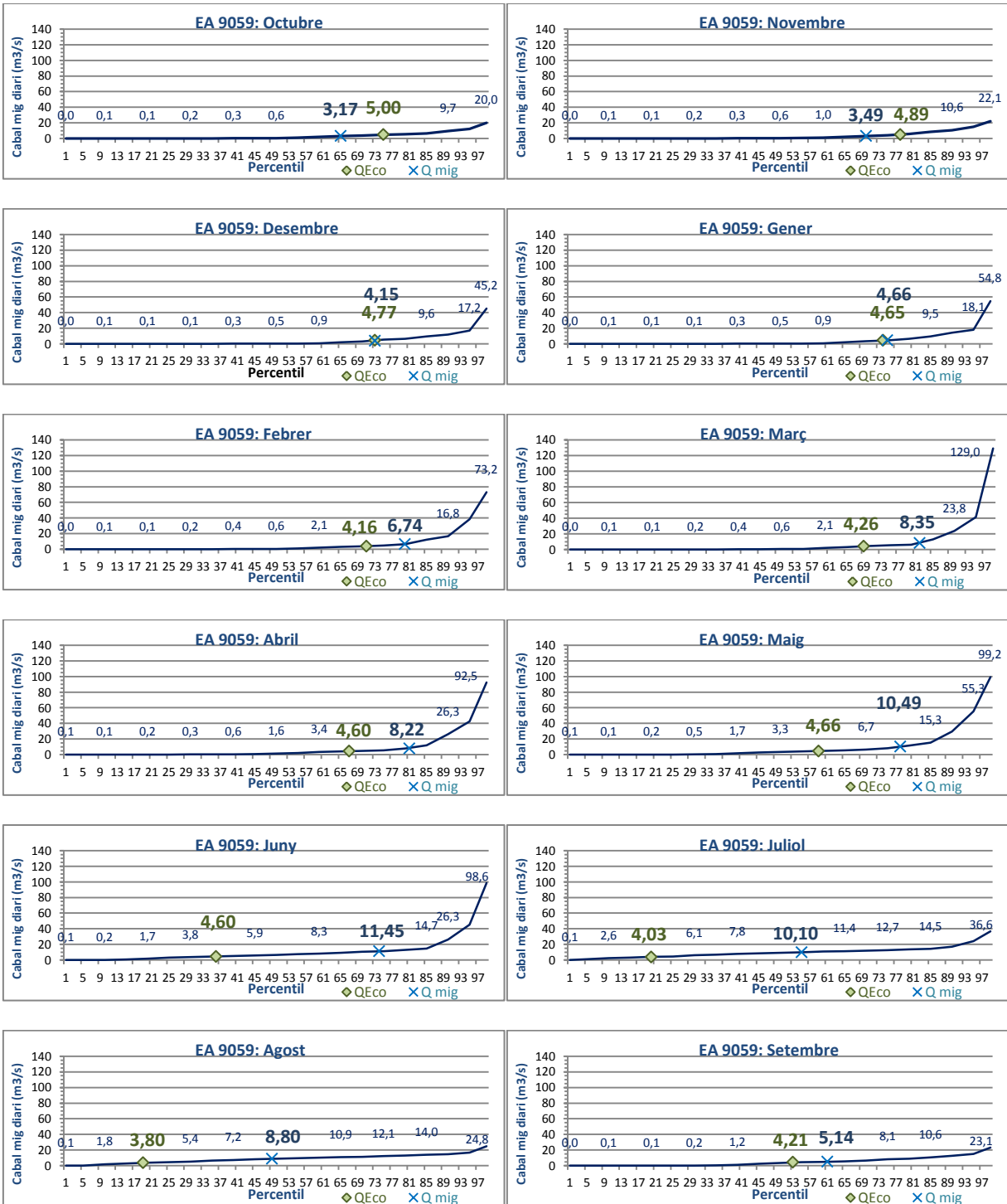


Fig. 12: Exemple per a l'estació 9059 *Gállego en Sta. Eulalia* (Reg). Distribució dels percentils del cabal mig diari, cabal mig mensual i cabal ecològic per a cada mes.

b) Exemple per a una estació condicionada per un embassament hidroelèctric (Riu Aragón al seu pas per Jaca)

L'hidrograma mitjà mensual d'aquesta sèrie, corresponent al període d'activitat dels embassaments hidroelèctrics de *Jaca* i de *IP*, presenta el període d'aigües altes entre Abril i Juny, amb un màxim al mes de Maig (11,5 m³/s) i un mínim a l'Agost (1,1 m³/s). La variabilitat intramensual d'aquest règim hidrològic presenta els valors més elevats a la tardor (coeficient de variació de 1,9 per als mesos de Setembre, Octubre i Desembre) i uns mínims a la primavera, durant els mesos d'Abril i Maig, amb un coeficient de variació de 0,9. A nivell anual, el cabal mitjà es situa en un valor de 5,6 m³/s i la seva variabilitat intraanual, també mesurada a través del coeficient de variació, pren un valor de 2,1 (Figura 13).

Si s'utilitza com a orientació l'hidrograma mensual "natural" del riu *Aragón* (consultable a l'estudi realitzat per la OPH l'any 2000, "Els aprofitaments a la conca de l'Ebre: afecció en el règim hidrològic fluvial", i estimat en base als registres de l'estació 9080, *Veral en Zuriza*, situada a la capçalera del riu *Aragón*, durant el període 1951/52-1996/97; Veure Annex IV), el període d'aigües altes s'hauria de presentar entre Març i Juny, amb un màxim el mes de Maig, i el període d'aigües baixes es situaria durant els mesos d'estiu, amb un mínim a l'Agost.

S'observa doncs, comparant a un nivell qualitatiu els resultats obtinguts per als cabals mitjans mensuals amb els que s'esperarien en règim "natural", que l'alteració del règim de cabals no és evident. La modulació mensual dels cabals manté el seu patró "natural" i, en aquest cas, no és possible valorar un possible canvi general en les seves magnituds. La referència del riu *Veral*, donada la seva localització (és un afluent que transcorre paral·lel al riu *Aragón* en el nostre punt d'estudi), permet tenir una orientació sobre el patró de la modulació mensual "natural", però no sobre la magnitud dels cabals mitjans.

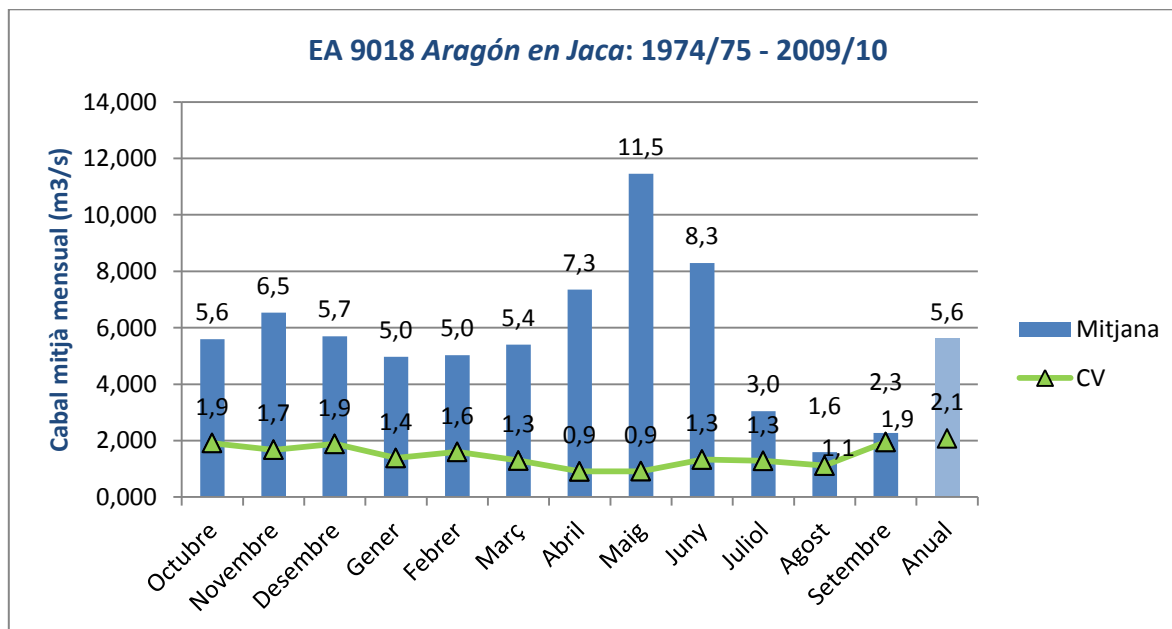


Fig. 13: Exemple per a l'estació 9018 *Aragón en Jaca* (Hidroelèctric). Cabal mig mensual i anual i les seves corresponents variabilitats mensual i anual normalitzades.

El grau d'alteració del règim de cabals mínims ecològics presenta en aquest cas valors molt menors que els que s'han detectat en l'exemple anterior. El període de màxima alteració correspon a l'estiu, amb una màxim per al mes d'Agost (percentil 35,00). Coincideix, per tant, amb la disminució dels cabals mitjans que presenta aquest període en concordança amb el patró del seu règim "natural". Aquesta afectació als cabals mínims ecològics disminueix dràsticament durant l'hivern, i presenta els valors més baixos a la primavera, amb un mínim al Maig (percentil 0,70), coincidint també amb l'augment d'aquests cabals mitjans. La mitjana anual de l'afectació correspon al percentil 15,38 i la seva desviació (variabilitat intraanual de l'afectació) és de 12,34 (Taula 9).

Taula 9: Exemple per a l'estació 9018 *Aragón en Jaca* (Hidroelèctric). Règim de cabals ecològics establerts per la CHE en el Pla Hidrològic de conca 2010-15 i percentils corresponents dins el període estudiat (1974-2010).

EA 9018 <i>Aragón en Jaca</i>	Q Eco PH2015 (m3/s)	Percentil Q Eco PH2015
Octubre	1,002	26,500
Novembre	0,985	21,100
Desembre	0,923	14,600
Gener	0,848	8,400
Febrer	0,739	8,100
Març	0,822	4,200
Abril	0,911	3,100
Maig	0,988	0,700
Juny	0,948	8,200
Juliol	0,827	17,300
Agost	0,739	35,000
Setembre	0,855	37,400
Mitja aritmètica	0,882	15,383
Desviació	-	12,340

D'aquesta manera s'ha quantificat el grau d'afectació del règim de cabals ecològics mínims durant el període d'activitat dels embassaments de *Jaca i de IP*. El percentil anual indica que els cabals mitjans diaris són iguals o inferiors al cabal mínim ecològic durant el 15,38 % del temps, de manera que aquests cabals, s'assoleixen durant el 84,63 % dels dies de l'any.

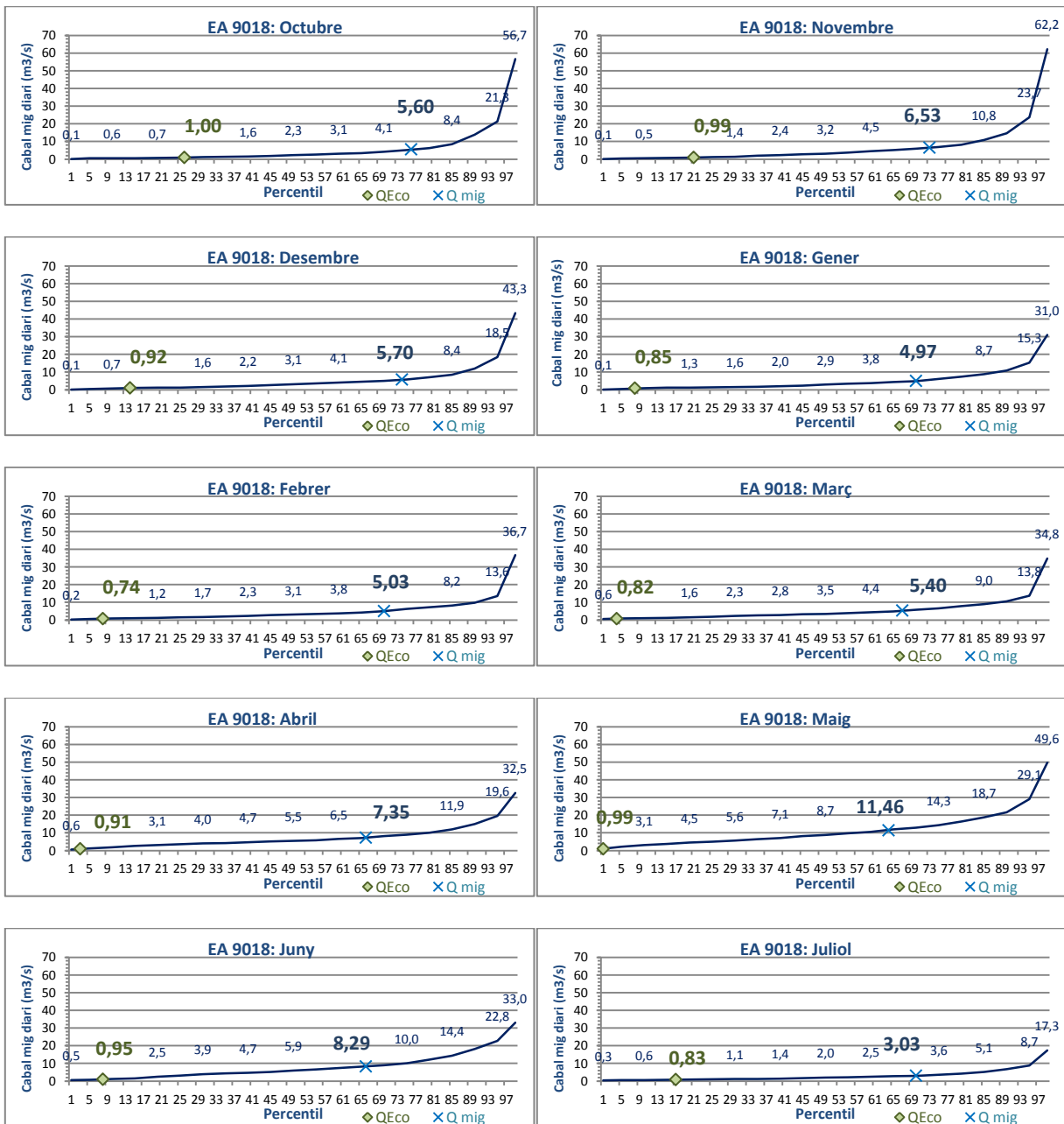
Si bé, durant el període estudiat no es compliria el règim actualment proposat (cabals mínims ecològics assolits el 90% del temps), durant la meitat de l'any si que s'assoleixen aquests cabals. Les diferències obtingudes en el grau d'alteració a nivell mensual evidencien que, a l'hivern i, especialment, a la primavera, es compliria el règim de cabals mínims ecològics, mentre que a la tardor i, especialment, a l'estiu, s'incomplirien (Taula 10).

Taula 10: Exemple per a l'estació 9018 *Aragón en Jaca* (Hidroelèctric). Distribució dels percentils del cabal mitjà diari per a cada mes en el període estudiat (1974-2010). En verd clar s'indica el percentil en que s'hauria d'emmarcar el valor del cabal ecològic per al compliment de la normativa proposada al Pla Hidrològic 2010-15. El percentil en el qual es situa s'indica en vermell quan s'incompleix, i en verd fosc quan es compleix, evidenciant alhora el diferent grau d'afectació del règim de cabals mínims en funció de l'època de l'any.

9018 Aragón en Jaca												
Cabal mig diari (m ³ /s)												
centil	Oct.	Nov.	Des.	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.
1	0,114	0,112	0,112	0,112	0,224	0,604	0,604	1,029	0,521	0,336	0,138	0,156
5	0,490	0,372	0,373	0,398	0,546	0,872	1,139	2,204	0,738	0,546	0,329	0,329
10	0,560	0,549	0,738	0,872	0,872	1,100	1,841	3,135	1,139	0,604	0,393	0,437
15	0,630	0,764	0,968	1,139	1,005	1,273	2,543	3,790	1,580	0,738	0,489	0,521
20	0,738	0,950	1,139	1,268	1,180	1,580	3,100	4,455	2,462	0,872	0,546	0,560
25	0,886	1,139	1,273	1,400	1,480	1,874	3,600	4,920	3,110	1,005	0,604	0,650
30	1,149	1,400	1,580	1,580	1,722	2,264	4,027	5,600	3,885	1,139	0,700	0,738
35	1,376	1,971	1,866	1,738	1,985	2,543	4,223	6,450	4,331	1,273	0,738	0,837
40	1,580	2,380	2,168	1,971	2,320	2,838	4,688	7,050	4,688	1,411	0,808	0,872
45	1,873	2,756	2,543	2,357	2,769	3,210	5,170	8,189	5,107	1,706	0,920	1,005
50	2,280	3,160	3,050	2,902	3,050	3,460	5,504	8,732	5,880	1,971	1,005	1,030
55	2,643	3,778	3,600	3,470	3,414	3,885	5,809	9,780	6,572	2,168	1,139	1,172
60	3,130	4,506	4,050	3,790	3,778	4,410	6,541	10,584	7,304	2,462	1,250	1,350
65	3,460	5,232	4,506	4,340	4,230	4,900	7,115	11,900	8,175	2,720	1,376	1,428
70	4,142	5,936	4,996	4,900	5,025	5,759	8,140	12,860	9,000	2,954	1,520	1,722
75	5,201	6,840	5,800	6,048	6,208	6,614	9,000	14,320	10,011	3,560	1,850	2,094
80	6,251	8,234	7,050	7,311	7,200	7,782	10,134	16,335	12,120	4,144	2,264	2,414
85	8,445	10,815	8,438	8,732	8,196	8,960	11,902	18,730	14,420	5,142	2,800	3,050
90	13,829	14,606	11,903	10,920	9,781	10,584	14,978	21,660	18,098	6,796	3,460	4,413
95	21,339	23,719	18,522	15,350	13,600	13,784	19,625	29,100	22,790	8,732	4,900	7,774
99	56,684	62,188	43,315	30,976	36,699	34,819	32,494	49,639	32,989	17,344	8,061	20,134

Un cop analitzada la distribució dels percentils del cabal mig diari de la sèrie i dels percentils en que s'emmarca el cabal mig mensual i el cabal mínim ecològic per a cada mes, es pot apreciar que el cabal mitjà mensual de la sèrie es situa sempre per damunt del percentil 60, evidenciant una major densitat d'observacions per sota que per damunt d'aquest cabal mitjà. Aquesta asimetria és

mínima durant els mesos de primavera, en que el règim de cabals és menys variable, i és màxima durant l'estiu i la tardor, quan el règim de cabals presenta la seva màxima variabilitat al llarg del mes. Quan més s'incompleix el règim de cabals mínims proposat és quan aquesta variabilitat intramensual és més accentuada, i quan es compleix amb major grau, aquesta variabilitat és mínima. El valor del cabal ecològic mínim és sempre clarament inferior al valor del cabal mitjà de la sèrie. (Fig.14).



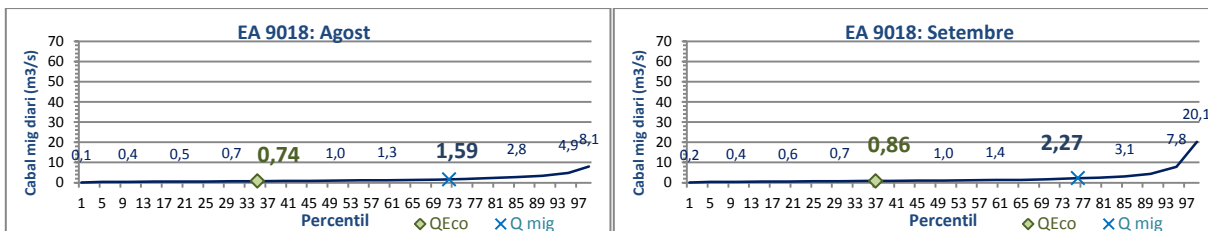


Fig. 14: Exemple per a l'estació 9018 *Aragón en Jaca* (Hidroelèctric). Distribució dels percentils del cabal mig diari, cabal mig mensual i cabal ecològic per a cada mes.

De la mateixa manera que s'ha exposat en aquests dos exemples, s'ha descrit el règim hidrològic i l'afectació del règim de cabals mínims ecològics per a cadascun dels 30 punts d'estudi durant el període d'activitat dels embassaments corresponents.

El màxim grau d'alteració corresponent a un embassament de reg s'ha observat en l'estació 9059 situada al riu *Gállego* a *Sta. Eulàlia* (exemple a) amb un percentil anual de 58,40, mentre que el màxim grau d'alteració corresponent a un embassament hidroelèctric s'ha observat a l'estació 9018 del riu *Aragón* al seu pas per *Jaca* (exemple b), amb un valor molt més raonable que correspon al percentil 15,38. Pel que fa als mínims, aquests es situen en el percentil anual 0,54 per als de regadiu i en el 0,09 per als hidroelèctrics, en les estacions foromètriques 9118, riu *Martin* a *Oliete*, i 9271, riu *Aragón* al seu pas per Can Franc, respectivament. La variabilitat observada dins els grup caracteritzat per els embassaments hidroelèctrics en el grau d'assoliment del règim de cabals mínims és menor a l'observada dins els de regadiu.

Si bé aquests 30 resultats mostren clarament que cada punt presenta les seves pròpies característiques, la seva agrupació en funció de la tipologia d'ús de l'embassament i el càlcul de les mitjanes aritmètiques corresponents als percentils mensuals del cabal ecològic mínim, als percentils mitjans anuals, i a la seves desviacions intraanuals, indiquen l'existència d'una notable diferència en el grau d'alteració d'aquest règim de cabals entre els embassaments hidroelèctrics i els embassaments de regadiu (Taula 11).

Per a valorar la significació estadística d'aquestes diferències es procedeix a l'anàlisi per grups, realitzant un contrast estadístic de mitjanes que permeti confirmar el diferent grau d'afectació del règim de cabals mínims ecològics detectat en funció del tipus d'ús dels embassaments.

Taula 11: Resultats obtinguts per als percentils mensuals, percentils anuals i desviacions intraanuals, agrupats en funció de l'ús de l'embassament.

Percentil corresponent al cabal ecològic															
Ús	Estació	Oct.	Nov.	Des.	Gen.	Feb.	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Mitjana anual	Desvest
Hidroelèctric	9018	26,500	21,100	14,600	8,400	8,100	4,200	3,100	0,700	8,200	17,300	35,000	37,400	15,383	12,340
	9116	1,500	0,100	0,000	0,000	0,100	0,500	0,000	0,100	0,100	1,200	1,500	0,800	0,492	0,601
	9131	1,400	1,500	1,000	3,600	4,600	4,500	0,800	0,500	0,000	0,300	0,300	1,800	1,692	1,639
	9144	0,000	3,000	1,500	1,800	4,100	8,200	11,400	31,200	18,100	15,200	9,500	3,800	8,983	9,030
	9145	13,000	12,800	19,000	18,700	24,000	18,700	10,100	2,600	0,300	3,600	14,300	14,800	12,658	7,335
	9267	30,000	8,100	1,000	1,200	0,300	5,900	2,600	1,800	18,900	25,100	15,500	11,600	10,167	10,156
	9252	0,400	0,100	0,200	0,600	0,300	0,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000	0,183	0,204
	9271	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,300	0,200	0,000	0,600	0,000	0,000	0,000	0,092	0,188
	Mitjana	9,113	5,363	4,425	4,238	4,863	5,163	3,350	4,563	5,400	7,488	9,700	8,825	6,041	5,281
Mixt	9012	3,200	1,900	3,100	4,000	3,000	1,900	1,900	1,900	1,900	1,100	1,300	1,900	2,258	0,864
	9034	55,700	57,200	62,400	57,300	52,100	53,900	44,800	36,800	15,500	4,400	6,500	41,600	40,683	20,677
	9039	4,700	11,000	23,200	30,300	23,200	24,200	20,300	5,300	2,500	0,600	0,000	2,600	12,325	11,095
	9076	14,700	13,800	11,100	7,700	8,700	5,300	4,900	9,200	13,000	0,000	0,000	0,000	7,367	5,387
	9083	11,600	8,500	4,100	7,100	4,900	4,000	0,100	0,000	0,000	0,000	1,000	12,600	4,492	4,590
	9084	84,000	91,100	84,900	83,300	75,000	76,500	74,500	80,900	81,300	79,400	70,200	73,600	79,558	5,871
	9097	4,000	2,500	0,000	0,000	0,000	0,000	2,000	0,000	0,000	0,000	1,100	0,000	0,800	1,341
	9106	3,600	6,500	3,700	5,900	6,000	6,000	2,900	2,600	1,600	0,800	2,000	1,100	3,558	2,075
	9128	0,000	0,300	0,100	0,000	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	1,400	2,800	13,400	1,508	3,840
	9250	2,300	1,000	3,800	1,100	0,000	0,000	0,000	0,500	0,000	0,100	0,000	0,000	0,733	1,196
Mitjana	18,380	19,380	19,640	19,670	17,300	17,180	15,140	13,720	11,580	8,780	8,490	14,680	15,328	5,694	
Reg	9059	75,500	78,400	73,100	74,900	71,700	69,400	67,800	59,900	36,900	20,500	19,300	53,400	58,400	21,366
	9099	66,800	53,400	65,200	63,000	60,800	52,300	49,200	48,700	53,800	49,800	42,800	49,900	54,642	7,543
	9101	1,700	0,800	3,900	1,800	0,800	2,400	8,500	8,400	5,600	7,100	3,600	3,500	4,008	2,786
	9105	58,100	52,700	48,900	54,700	45,800	37,500	27,200	27,800	22,600	22,100	26,800	39,500	38,642	13,185
	9162	5,000	4,400	3,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,800	2,300	1,000	5,300	2,800	2,092	2,066
	9109	66,600	63,300	58,600	57,300	57,300	56,800	47,800	45,100	38,800	31,100	29,600	49,800	50,175	12,085
	9118	2,500	1,000	0,100	0,100	0,200	0,000	0,200	1,800	0,200	0,000	0,000	0,400	0,542	0,813
	9124	25,100	24,000	18,900	19,600	21,700	16,100	10,900	9,200	6,800	4,200	8,900	17,600	15,250	7,026
	9125	58,800	57,900	60,500	60,000	56,100	55,000	46,100	41,900	17,600	5,400	8,000	48,200	42,958	20,680
	9190	64,200	37,800	28,200	20,500	13,400	14,700	23,900	31,800	38,100	54,800	68,100	79,900	39,617	22,129
	9201	54,900	79,700	81,200	75,800	66,400	46,300	43,400	30,200	23,200	11,200	14,300	12,800	44,950	26,696
	9238	41,000	43,500	35,000	37,000	37,400	31,200	34,500	37,800	12,500	2,200	0,700	14,000	27,233	15,422
Mitjana	43,350	41,408	39,758	38,725	35,967	31,808	29,958	28,617	21,533	17,450	18,950	30,983	31,542	12,650	

6.2.2 Anàlisi estadístic per grups

6.2.2.1 Comparació dels percentils del cabal mínim ecològic anuals

Un cop agrupats els valors dels percentils del cabal mínim ecològic anuals i els valors de les seves desviacions estàndard en els tres grups considerats, s'han obtingut les mitjanes intragrups d'aquests valors per a cada tipus d'embassament. D'aquesta manera es quantifica, a nivell anual, el grau d'afectació del règim de cabals ecològics i la seva variabilitat intraanual, i es valora la significació estadística de les diferències obtingudes entre grups a partir dels resultats dels contrastos d'hipòtesis de Mann-Whitney (2 variables) i Kruskal-Wallis (3 variables). S'utilitza un nivell de significació estadística del 5% (Veure Capítol 5. Metodologia; Apartat 5.2.3 Anàlisi estadístic per grups).

La distribució del conjunt de dades dels percentils anuals mostra un comportament general diferent per a cada grup d'estudi. Es pot apreciar clarament que els valors són diferents per al grup hidroelèctric i per al grup de reg, i que el primer presenta una variabilitat intragrupal menor que el segon (Fig.15).

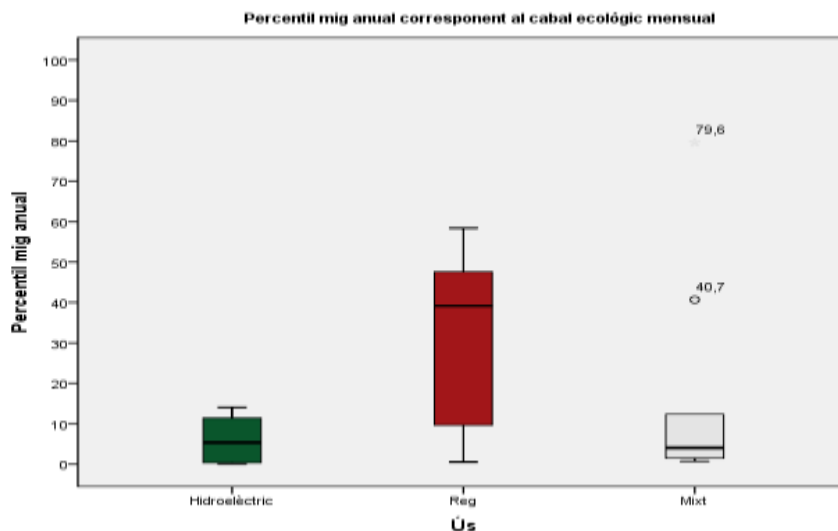


Fig 15: Diagrama de caixes del conjunt de valors obtinguts per al percentil mig anual en funció de l'ús de l'embassament.

El percentil mitjà anual en que es situa el cabal mínim ecològic correspon al percentil 6,04 per a les sèries caracteritzades per un embassament hidroelèctric, al percentil 31,54 per a les sèries caracteritzades per un embassament de reg i al percentil 15,32 per a les sèries caracteritzades per un embassament mixt. Els resultats obtinguts en el contrast d'hipòtesis, constaten que la diferència entre aquestes mitjanes és significativa entre el grup hidroelèctric i el grup de reg (p -valor = 0,005). La diferència no és estadísticament significativa entre els grups principals aparellats un a un amb el

grup mixt (Hidroelèctric i Mixt, p-valor = 0,573; Reg i Mixt, p-valor = 0,107) però si que ho és quan es comparen els tres grups alhora (p-valor = 0,028) (Taula 12).

Taula 12: Resultats del contrast estadístic per a les mitjanes intragrups del percentil mig anual corresponent al cabal ecològic.

Prova de Mann-Whitney			
Grup	n	Mitjana Percentil mig anual QEco	P-valor
Hidroelèctric	8	6,04	0,005
Reg	12	31,54	
Hidroelèctric	8	6,04	0,573
Mixt	10	15,32	
Reg	12	31,54	0,107
Mixt	10	15,32	

Prova de Kruskal-Wallis			
Grup	n	Mitjana Percentil mig anual QEco	P-valor
Hidroelèctric	8	6,04	0,028
Reg	12	31,54	
Mixt	10	15,32	

La distribució del conjunt de dades corresponents a la desviació intraanual mitja del percentil anual mostra també un comportament general diferent per a cada grup d'estudi. Es pot apreciar que els valors són diferents per al grup hidroelèctric i per al grup de reg, i que el primer presenta una variabilitat intragrupal menor que el segon. (Fig. 16).

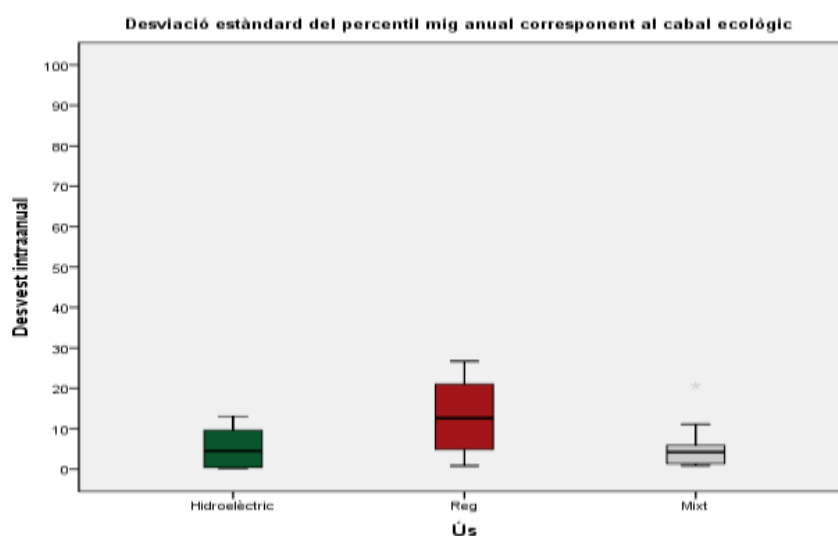


Fig. 16: Diagrama de caixes del conjunt de valors obtinguts per a la desviació corresponent al percentil mig anual en funció de l'ús de l'embassament.

En aquest cas, la desviació intraanual mitjana és de 5,28 per al grup hidroelèctric, 12,64 per al grup de reg i 5,69 per al grup mixt. El grup de reg presenta una major variabilitat en el grau d'afectació del règim de cabals mínims al llarg de l'any que el grup hidroelèctric, la variabilitat del qual és

similar a la del grup mixt. Els resultats obtinguts en el contrast d'hipòtesis d'igualtat d'aquestes mitjanes constaten que la diferència és significativa entre el grup hidroelèctric i el grup de reg (p-valor = 0,039). Entre el grup de reg i el grup mixt, i entre els tres grups alhora, la diferència no és significativa, però pràcticament coincideix amb el nivell de significació imposat (p-valor= 0,050 i p-valor= 0,052 respectivament). Entre el grup hidroelèctric i el grup mixt, la diferència entre mitjanes no és significativa (p-valor = 0,762) (Taula 13).

Taula 13: Resultats del contrast estadístic per a les mitjanes de la desviació intraanual corresponent al percentil mig anual del cabal ecològic.

Prova de Mann-Whitney			
Grup	n	Mitjana Desviació intraanual	P-valor
Hidroelèctric	8	5,28	0,039
Reg	12	12,64	
Hidroelèctric	8	5,28	0,762
Mixt	10	5,69	
Reg	12	12,64	0,050
Mixt	10	5,69	
Prova de Kruskal-Wallis			
Grup	n	Mitjana Desviació intraanual	P-valor
Hidroelèctric	8	5,28	0,052
Reg	12	12,64	
Mixt	10	5,69	

D'aquesta manera, es constata que la diferència en les mitjanes obtingudes per al conjunt de valors del percentil mitjà anual corresponent al cabal ecològic i per a les seves respectives desviacions, és significativa entre les sèries caracteritzades per un embassament hidroelèctric i les caracteritzades per un embassament de regadiu, amb una confiança estadística del 95%.

Aquesta diferència entre mitjanes, no és estadísticament significativa entre els grups aparellats un a un (Hidroelèctric i Mixt ; Reg i Mixt) però sí que ho és per al percentil anual i pràcticament (p-valor=0,052) per a la desviació intraanual quan es comparen els tres grups alhora. El fet que les comparacions un a un, realitzades entre cadascun dels dos grups principals i el grup mixt, resultin en la no significació de les diferències observades (tot i que en el cas de la variabilitat intraanual entre els grups reg i mixt, pràcticament s'hi podrien considerar, en coincidir el p-valor amb el nivell de significació de 0,05) i que, en canvi, sí ho resultin quan es comparen tots tres grups alhora, sembla confirmar l'assumpció de que el grau d'afectació resulta intermedi per al grup mixt. Donat que els embassaments categoritzats com a mixts combinen l'ús hidroelèctric i de regadiu, les diferències observades entre els embassaments que es destinen exclusivament a un d'aquests dos usos han de ser majors que les observades entre tots tres grups, i aquestes encara han de resultar majors que les observades en comparar un dels grups principals i el grup mixt. En cas contrari, ens trobaríem en que potser no fora la variable "ús de l'embassament" la que condiciona el diferent grau d'afectació que s'ha detectat en els diferents grups de sèries hidrològiques estudiades.

En aquest mateix sentit, la comparació realitzada entre els dos subgrups de reg definits en base a la pluviometria mitjana anual, resulta en la no significació de les diferències per a les mitjanes dels valors del percentil mig anual (p-valor=1,000) i de la seva desviació (p-valor=0,876) (Taula 14). D'aquesta manera, s'evidencia que la interferència d'aquesta variable associada a la localització ha

de ser limitada en els resultats obtinguts en la comparació realitzada en funció de l'ús de l'embassament a nivell anual.

Taula 14: Resultats del contrast estadístic per les mitjanes en funció de la pluviometria mitja anual.

Prova de Mann-Whitney				
Grup	n	Mitjana (Percentil mig anual QEco)	Mitjana (Desviació intraanual)	P-valor
Reg amb Pluvio mitjana anual <500mm	5	30,54	11,8362	1,000 (Percentil)
Reg amb Pluvio mitjana anual >500mm	7	32,25	13,2323	0,876 (Desviació)

6.2.2.2 Comparació dels percentils del cabal mínim ecològic mensuals

S'han agrupat els valors del percentil del cabal mínim ecològic mensuals obtinguts per a cada punt d'estudi en els tres grups considerats, quantificant el grau d'afectació d'aquest règim de cabals al llarg dels diferents mesos de l'any a partir del càlcul de les mitjanes intragrups corresponents. Es valora la significació estadística de les diferències obtingudes a partir dels resultats dels contrastos d'hipòtesis de Mann-Whitney (2 variables) i Kruskal-Wallis (3 variables). S'utilitza un nivell de significació estadístic del 5% (Veure Capítol 5. Metodologia; Apartat 5.2.3 Anàlisi estadístic per grups).

La distribució del conjunt de valors del percentil mensual corresponent al cabal mínim ecològic és diferent per a cada grup d'estudi en tots els mesos de l'any. Es pot apreciar que els valors són diferents per al grup hidroelèctric i per al grup de reg, i que el primer presenta una variabilitat intragrupal menor que el segon (Fig. 17).

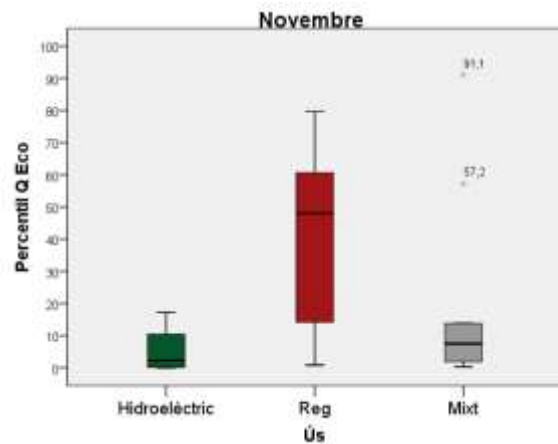
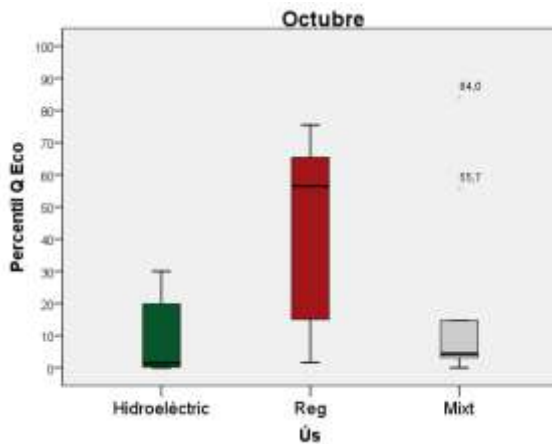
Els valors del percentil mitjà mensual en el grup de reg oscil·len entre un màxim corresponent a l'Octubre (percentil 43,35) i un mínim corresponent al mes de Juliol (percentil 17,45). El màxim grau d'alteració del règim de cabals mínims es produeix a la tardor, disminueix paulatinament durant l'hivern i la primavera i, notablement, a l'estiu, època a partir de la qual torna a accentuar-se bruscament (Fig.17 i Fig. 18).

En el grup hidroelèctric, el grau d'afectació és molt menor. És màxim a l'Agost (percentil 9,70) i mínim a l'Abril (percentil 3,35), distribuint-se per tant al llarg de l'any de forma molt més uniforme. S'observa una tendència a l'increment de l'alteració del règim de cabals mínims a principis d'estiu i una disminució a partir de mitjans de tardor, no tornant a augmentar fins a la segona meitat de la primavera (Fig.17 i Fig.18).

Pel que fa al grup mixt, el grau d'alteració manté una posició entremitja durant l'any respecte els altres dos grups. Presenta el màxim al Febrer (percentil 19,67) i el mínim al Juliol (percentil 8,76). Durant l'estiu la magnitud dels percentils s'aproxima a la dels del grup hidroelèctric, si bé el patró de la seva evolució al llarg de l'any hidrològic sembla acostar-se més a la del grup de reg, també amb una disminució de l'afectació dels cabals mínims durant l'estiu però, en aquest cas, amb una variabilitat intraanual molt menor (Fig. 17 i Fig.18).

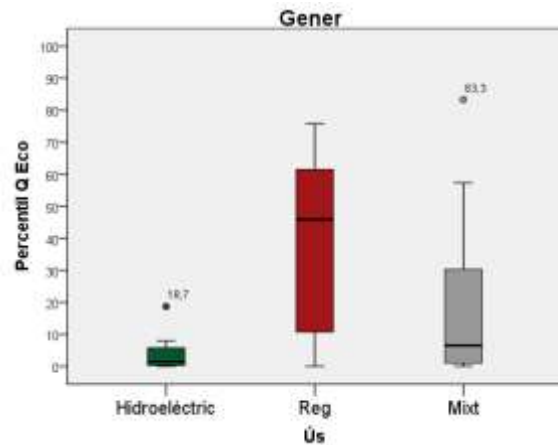
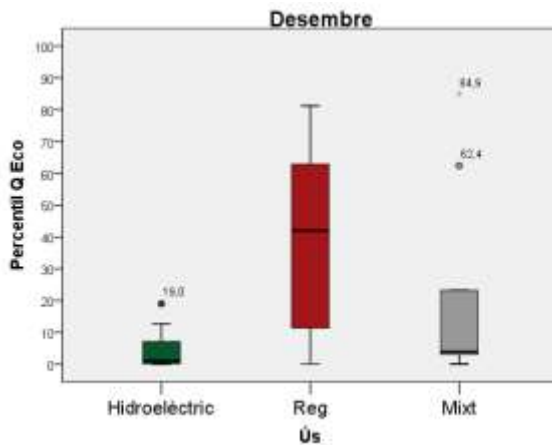
Els resultats dels contrastos d'hipòtesis mostren que les diferències obtingudes en el grau d'afectació del règim de cabals ecològics entre el grup Hidroelèctric i el grup de Reg són estadísticament significatives al llarg de l'any, menys per als mesos de Juliol i Agost i per al mes de Març, si bé per aquest darrer mes pràcticament s'hi podrien considerar, doncs presenten un valor de probabilitat d'igualtat de les seves mitjanes (p -valor=0,057) molt proper al nivell de significació imposat (Fig.17).

Si s'inclou el grup mixt en la comparativa, els resultats són similars, amb diferències significatives durant tot l'any entre els tres grups menys per els mesos de Juliol, Agost, Març i, en aquest cas, Febrer, també amb un valor de probabilitat proper al nivell de significació (p -valor= 0,071). Els p -valors obtinguts en aquesta comparació conjunta indiquen una major similitud (un p -valor major per al contrast de mitjanes) entre tots tres grups que no pas entre els grups de reg i hidroelèctric, en el mateix sentit que els resultats obtinguts en la comparativa anual i d'acord amb la posició entremitja del grup mixt (Fig.17).



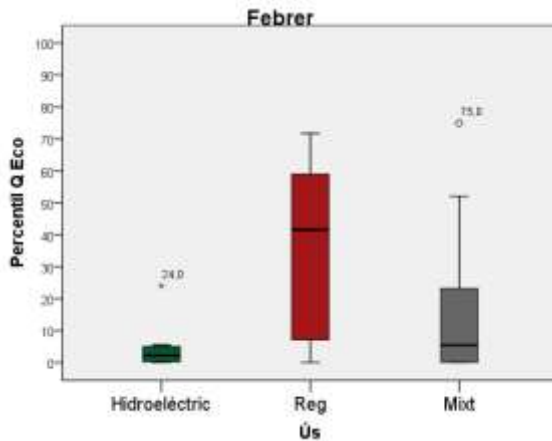
Ús	n	Mitjana	P-valor	
Hidroelèctric	8	9,11	p-valor =0.013	p-valor =0.003
Reg	12	43,35		
Mixt	10	18,38		

Ús	n	Mitjana	P-valor	
Hidroelèctric	8	5,36	p-valor =0.023	p-valor =0.005
Reg	12	41,40		
Mixt	10	19,38		

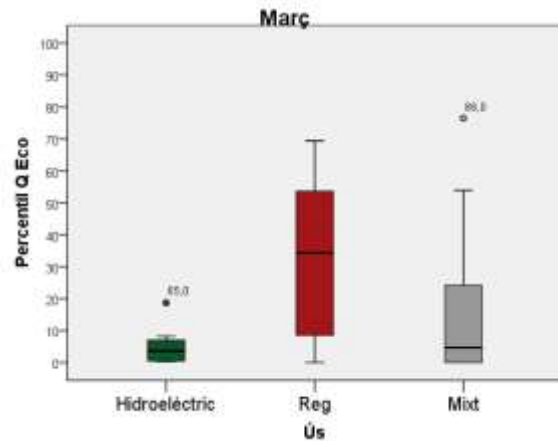


Ús	n	Mitjana	P-valor	
Hidroelèctric	8	4,42	p-valor =0.013	p-valor =0.003
Reg	12	39,75		
Mixt	10	19,64		

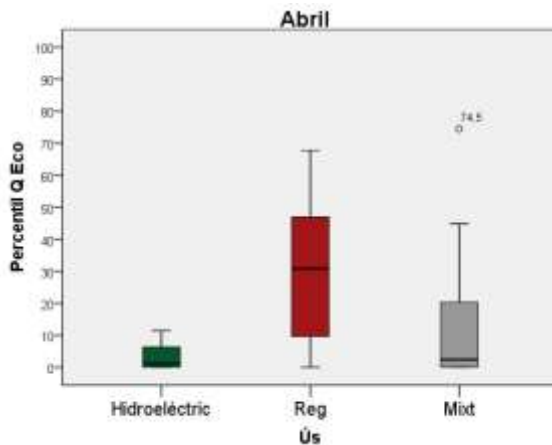
Ús	n	Mitjana	P-valor	
Hidroelèctric	8	4,23	p-valor =0.045	p-valor =0.012
Reg	12	38,72		
Mixt	10	19,67		



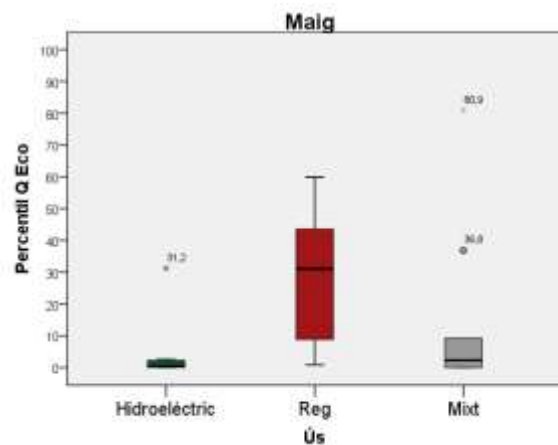
Ús	n	Mitjana	P-valor	
Hidroelèctric	8	4,86	p-valor =0.071	p-valor =0.025
Reg	12	35,96		
Mixt	10	17,30		



Ús	n	Mitjana	P-valor	
Hidroelèctric	8	5,16	p-valor =0.150	p-valor =0.057
Reg	12	31,80		
Mixt	10	17,18		



Ús	n	Mitjana	P-valor	
Hidroelèctric	8	3,35	p-valor =0.031	p-valor =0.010
Reg	12	29,95		
Mixt	10	15,14		



Ús	n	Mitjana	P-valor	
Hidroelèctric	8	4,56	p-valor =0.008	p-valor =0.002
Reg	12	28,61		
Mixt	10	13,72		

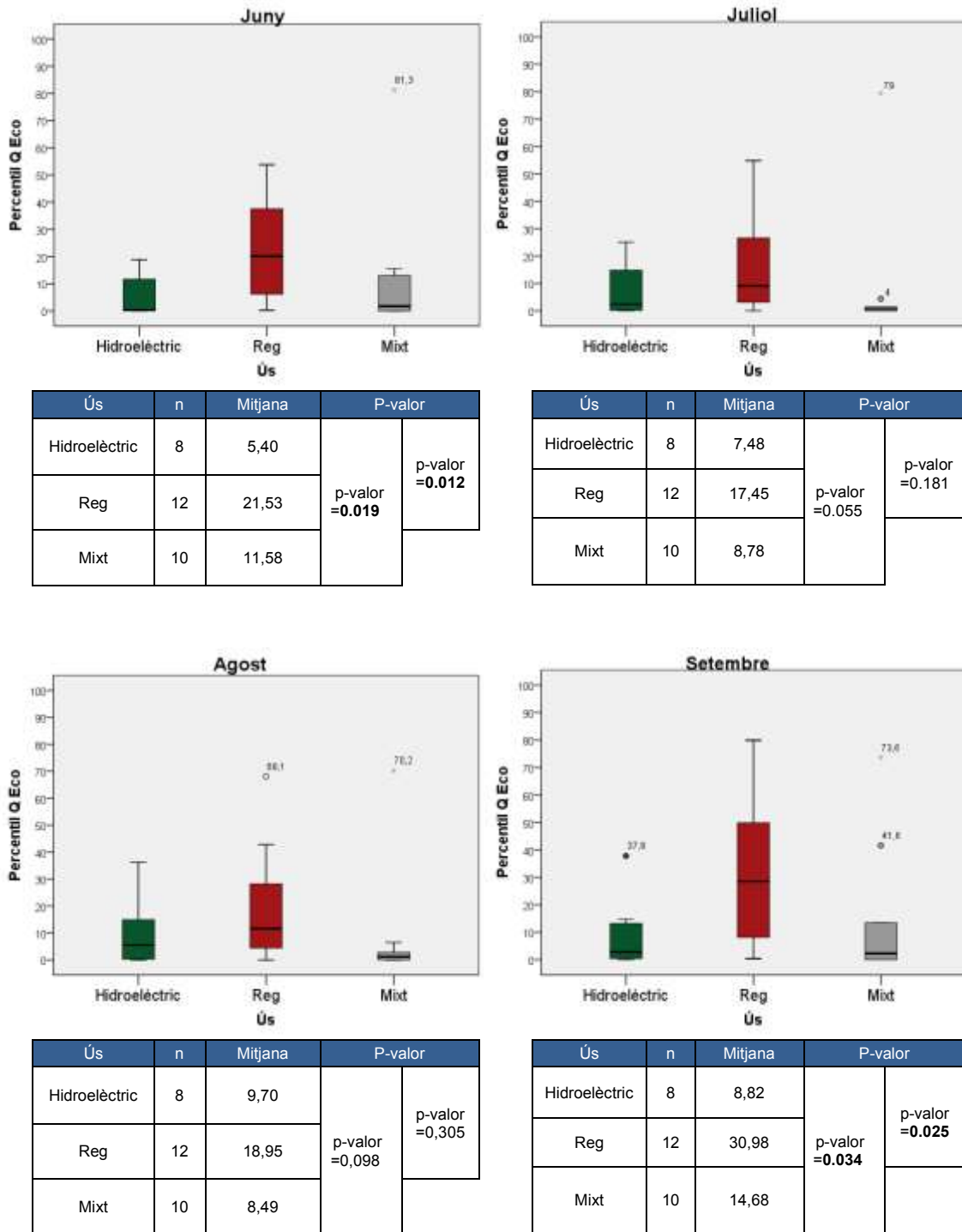


Fig. 17: Diagrama de caixes del conjunt de valors obtinguts per al percentil mensual en funció de l'ús de l'embassament i resultats del contrast estadístic de les mitjanes intragrups, per a cada mes de l'any.

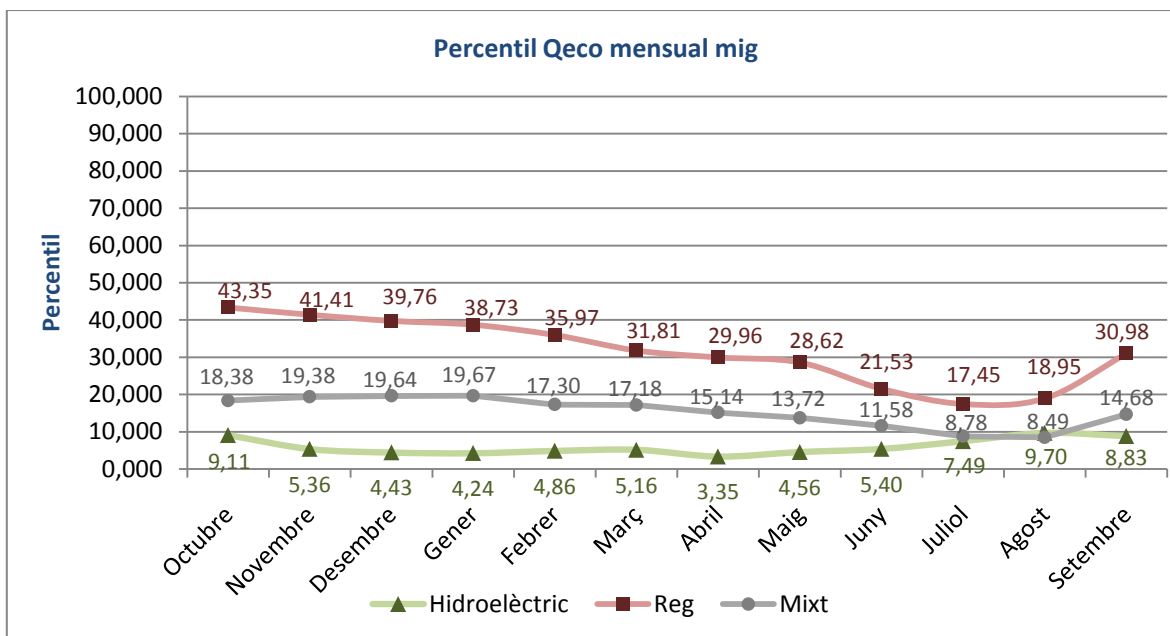


Fig.18: Distribució anual del percentil mensual corresponent al cabal ecològic (mitjana intragrupal) per a cada grup d'estudi.

D'altra banda, els resultats dels contrastos de mitjanes realitzats en funció de la pluviometria mitja anual en el grup de reg, evidencien la no significació de les diferències obtingudes per als corresponents percentils i, per tant, la limitada influència d'aquesta variable en les diferències detectades en el grau d'afectació del règim de cabals ecològics en funció del tipus d'embassament, també a un nivell mensual (Taula 15):

Taula 15 Resultats del contrast estadístic per les mitjanes en funció de la pluviometria mitja anual per a tots els mesos de l'any.

Prova de Mann-Whitney												
Mitjana (Percentil Qeco mensual)												
Grup	Oct.	Nov.	Des.	Gener	Feb.	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.
Reg amb Pluvio mitjana anual <500mm	6,80	5,80	5,60	5,80	6,00	6,30	6,40	6,80	6,80	7,40	6,80	7,20
Reg amb Pluvio mitjana anual >500mm	6,29	7,00	7,14	7,00	6,86	6,64	6,57	6,29	6,29	5,86	6,29	6,00
P-valor	0,876	0,639	0,530	0,639	0,755	0,876	1,000	0,876	0,876	0,530	0,876	0,639

D'aquesta manera, els resultats obtinguts en l'anàlisi per grups mostren l'existència d'una diferència substancial en el grau d'afectació del règim de cabals mínims ecològics entre els dos grups principals d'estudi.

A nivell anual, en el conjunt de trams fluvials que són directament influenciats per la presència d'un embassament hidroelèctric, els resultats ens indiquen que els cabals mínims ecològics són assolits, aproximadament, el 95% del temps (percentil 6), mentre que en els trams influenciats per la presència d'un embassament de regadiu són assolits el 70% del temps (percentil 31). Més enllà del limitat significat prospectiu que hom pot atorgar als valors d'aquestes mitjanes aritmètiques, el seu contrast estadístic confirma que el grau d'afectació és clarament diferent, i resulta major en aquells trams condicionats per un aprofitament per reg que en aquells condicionats per un aprofitament hidroelèctric.

Ahora, els resultats mostren que la variabilitat d'aquesta afectació al llarg de l'any també és diferent. Els embassaments de reg comporten una variabilitat intraanual major en el grau d'alteració del règim de cabals mínims (desviació mitja de 12 unitats) que els embassaments hidroelèctrics (desviació mitja de 5 unitats), fet que queda palès en la distribució del grau d'afectació del règim de cabals mínims ecològics al llarg de l'any.

L'afectació d'aquest règim de cabals és molt més regular en els trams condicionats per la producció d'energia hidroelèctrica, oscil·lant entre un màxim que correspon a la tardor (Octubre, assoliment del règim de cabals mínims el 92% del temps) i un mínim corresponent a la primavera (Abril, assoliment d'un 98% del temps), mentre que en els trams condicionats per el regadiu, aquest màxim es situa també a la tardor (Octubre, 58% del temps) i el mínim es situa a l'estiu (Juliol, 84% del temps).

En aquest sentit, tot i l'evident diferència en la magnitud de les alteracions, ambdós tipus d'embassaments afecten el règim de cabals mínims ecològics en major grau a la tardor. Aquest grau d'afectació disminueix paulatinament al llarg de l'any hidrològic fins arribar a la primavera, en que el patró s'inverteix per als embassament hidroelèctrics, augmentant lleugerament el grau d'afectació al llarg de l'estiu, i s'accentua en els embassaments de reg, en que el grau d'afectació disminueix molt notablement. En conseqüència, les magnituds de l'afectació mensual del règim de cabals mínims són superiors en els trams regulats per un embassament de reg que en els hidroelèctrics durant tot l'any, excepte precisament durant la major part de l'estiu (Juliol i Agost) en que aquestes magnituds s'aproximen fins al punt de no presentar diferències substancials. Aquest fet, és degut al comportament antagònic que presenten els dos grups en aquest període.

D'aquesta manera, es constata que la regulació dels embassaments produeix una alteració del règim de cabals mínims ecològics diferent en funció del tipus d'embassament i de l'època de l'any.

En els embassaments hidroelèctrics, el grau d'afectació del règim de cabals augmenta tant quan s'esperarien grans cabals (a la tardor, corresponent a l'època de pluges i, en menor grau, a la segona meitat de la primavera, corresponent als desgels) com quan s'esperarien menors (durant l'estiatge). Aquest fet pot ser degut a una combinació de factors: la necessitat d'acumular reserves d'aigua en els períodes de major abundància (durant la pròpia primavera i la tardor) justificaria l'afectació del règim de cabals mínims en els períodes més cabalosos, mentre que les pròpies

condicions dels estiatges, caracteritzats per la seva variabilitat interanual, podrien justificar l'afectació quan el règim de cabals mínims presenta valors més baixos.

En els embassaments de reg, el grau d'afectació augmenta també durant la tardor com a conseqüència de la necessitat d'acumular reserves però disminueix clarament durant l'estiu. El fet que els cabals mínims augmentin de manera tan notable a l'època d'estiatge ha de ser degut a l'efecte del retorn de l'aigua de reg que es produeixen en aquest període (Batalla *et al* 2004). Aquests retorns d'aigua al riu es produeixen principalment per escorrentia superficial i subsuperficial de les parcel·les sotmeses a regadiu (a més a més de pèrdues operacionals en els sistemes de distribució). Tenint en compte que aquests retorns poden representar una font de contaminació difusa, degut a l'ús de fertilitzants i pesticides i als processos d'evapoconcentració dels sòlids dissolts produït en les aigües que tornen al riu, és clar que aquest augment quantitatiu dels cabals durant l'estiu en els trams corresponents a un embassament de reg pot anar associat a una disminució de la qualitat de les aigües.

Finalment, cal destacar que els resultats intermedis obtinguts, a nivell mensual i anual, per als trams influenciats per embassaments que combinen ambdós tipus d'usos o mixts, conjuntament amb els resultats obtinguts en la comparació del grau d'afectació del règim de cabals en base a una altra variable d'agrupació, la pluviometria, confirmarien que les diferències obtingudes han de respondre principalment a la tipologia d'ús de l'embassament. El fet de no detectar diferències estadísticament significatives en l'afectació del règim de cabals mínims entre embassaments amb un mateix ús però amb un règim pluviomètric clarament diferenciat i, en canvi, detectar-les en base a l'ús de l'embassament, reafirmen la importància de la nostra variable d'estudi en els resultats obtinguts.

Per tant, es pot afirmar que l'alteració dels cabals mínims en els trams fluvials estudiats depèn principalment del model de gestió de cada embassament en funció de l'ús que es fa de l'aigua emmagatzemada. De tota manera, no es pot descartar l'efecte d'altres variables de confusió associades a la localització, com podria ser, per exemple, la diferent regulació natural produïda per les aportacions subterrànies o l'emmagatzament natural en forma de neu, no contemplada en l'aproximació pluviomètrica. Si bé aquestes variables són integrades en la pròpia determinació del règim de cabals ecològics, i les sèries d'estudi presenten un nombre de dades suficient per minimitzar l'efecte de la seva variabilitat interanual, és probable que influenciïn el model de gestió realitzat a l'embassament i, per tant, el grau d'alteració del règim de cabals mínims, conjuntament amb la variable ús de l'embassament.

7. CONCLUSIONS

S'ha pogut demostrar l'existència d'un comportament diferenciat en el grau d'alteració del règim de cabals mínims entre els trams fluvials condicionats per un embassament hidroelèctric i els trams condicionats per un embassament de reg a la conca de l'Ebre, tant en la seva magnitud com en la seva variabilitat al llarg de l'any hidrològic.

En aquest sentit, s'extreuen les següents conclusions:

1. La tipologia d'ús dels embassaments influeix en la magnitud i la variabilitat intraanual del grau d'alteració del règim de cabals mínims.
2. La regulació produïda pels embassaments de reg produeix una major alteració del règim de cabals mínims que la regulació produïda pels embassaments hidroelèctrics, i una major variabilitat intraanual de la mateixa. Els embassaments que combinen ambdós tipus d'usos presenten un comportament entremig, tant en termes de magnitud com de variabilitat intraanual de l'alteració.
3. L'alteració del règim de cabals mínims és major en els trams regulats per al regadiu que en els regulats per a la producció d'energia hidroelèctrica per tots els mesos de l'any excepte a l'estiu, en que les diferències no són substancials, principalment degut a la notable disminució de l'alteració que es produeix en aquesta època en els trams de reg.
4. L'alteració del règim de cabals mínims en els trams regulats per la producció d'energia hidroelèctrica és màxima a la tardor, disminueix lleugerament durant l'hivern i, augmenta a partir de la primavera, assolint el seu màxim a l'estiu. Una certa disminució generalitzada del nivell fluvial per sota del règim de cabals mínims "natural" al llarg de l'any, conjuntament amb l'emmagatzament d'aigua en èpoques de bonança, pot justificar aquest patró detectat al llarg de l'any hidrològic.
5. L'alteració en els trams regulats per al reg es màxima a la tardor, disminueix lleugerament durant l'hivern i, de forma brusca, a partir de la primavera, presentant el mínim grau d'alteració als mesos d'estiu, a partir dels quals torna a augmentar. Aquest patró es relacionaria amb una disminució generalitzada del nivell fluvial per sota del règim de cabals mínims "natural", conjuntament amb la inversió de l'hidrograma que produeixen aquestes infraestructures, emmagatzemant aigua durant l'estació humida i alliberant-la durant la temporada seca per al sosteniment de l'agricultura de regadiu. D'aquesta manera, els retorns per reg durant l'estiatge impliquen un augment relatiu en la magnitud dels cabals mínims que pot ser associat a un deteriorament en la qualitat de les aigües.
6. Tot i la gran diferència detectada en la magnitud i variabilitat de l'alteració al llarg de l'any, ambdós tipus d'embassaments alteren el règim de cabals mínims en major

grau durant el mateix període. D'aquesta manera, el grau d'alteració presenta en tots dos grups el seu màxim a la tardor, degut a l'emmagatzematge d'aigua que es produeix en tots els embassaments durant aquesta època de pluges posterior a l'estació seca. Presenten però, un patró antagònic a partir de la primavera, probablement degut a la diferent distribució de la demanda energètica en comparació a la de reg. Tot i els pics de demanda energètica que pot haver-hi en certes èpoques, a l'estiu i a l'hivern, la demanda d'energia d'origen hidroelèctric és força més constant durant l'any, mentre que la demanda d'aigua de reg es concentra principalment als mesos d'estiu. Aquest pot ser el principal motiu de que els embassaments destinats a la producció d'energia presentin una descàrrega més constant i afectin de diferent manera els cabals mínims que els embassaments de reg al llarg de de l'any hidrològic.

Els resultats obtinguts en aquest projecte permeten, alhora, fer una primera valoració orientativa sobre l'hipotètic grau de compliment històric dels cabals mínims ecològics proposats al recentment aprovat Pla de Conca de l'Ebre 2010-15 en funció del model de gestió dels embassaments. En aquest sentit:

1. De mitjana, els trams regulats per a la producció d'energia hidroelèctrica complirien històricament la normativa actualment proposada (cabals mínims ecològics assolits el 90% del temps) per a tots els mesos de l'any. El màxim compliment de la norma es produiria a la primavera, assolint-se aproximadament el 96% del temps, i el mínim es produiria a l'estiu i a la tardor, assolint-se el 90% del temps. Cal tenir en compte però que no tots els trams condicionats per embassaments hidroelèctrics estudiats complirien la normativa. A nivell mensual existeixen trams en que els cabals mínims s'assoleixen el 100% del temps (màxim compliment, a la primavera) i trams en que només s'assolirien el 66% del temps (màxim incompliment, a l'estiu). A nivell anual, aquests valors oscil·len entre el 99 del temps (màxim compliment) i el 86% del temps (màxim incompliment).
2. De mitjana, els trams regulats per a l'abastament per regadiu no complirien històricament la normativa actualment proposada cap mes de l'any. El màxim incompliment de la norma es produiria a la tardor, en que els cabals mínims s'assolirien aproximadament el 56% del temps, i el mínim incompliment es produiria a l'estiu, assolint-se el 82% del temps. Tot i això, cal tenir present que no tots els trams estudiats incomplirien la normativa. A nivell mensual existeixen trams en que els cabals mínims s'assoleixen el 100% del temps (màxim compliment, a l'estiu) i trams en que només s'assolirien el 26% del temps (màxim incompliment, a la tardor). A nivell anual, aquests valors oscil·len entre el 99% del temps (màxim compliment) i el 43% del temps (màxim incompliment).

8. CONSIDERACIONS FINALS I CAMPS DE RECERCA FUTURS

L'estudi que s'ha dut a terme en aquest treball representa una primera aproximació sobre la importància dels tipus d'aprofitaments majoritaris dels embassaments en l'alteració del règim de cabals mínims a la conca de l'Ebre. A més a més, també ens ha aportat informació sobre el grau d'assoliment històric dels objectius ambientals establerts en aquest sentit en el recentment aprovat Pla de Conca 2010-15.

Un cop s'ha constatat l'existència de diferències en l'alteració del règim de cabals mínims en funció de l'ús dels embassaments, un aspecte que pot ser interessant d'abordar és la quantificació estadística d'aquestes diferències, així com la possible relació d'aquests patrons amb altres variables que poden ser determinants en la gestió d'aquestes infraestructures. Aquestes variables inclouen des d'aspectes directament lligats amb la gestió dels embassaments, com podrien ser les diferents capacitats d'emmagatzematge i/o d'intensitat d'ús, fins a variables alienes al seu funcionament però que poden condicionar el seu model de gestió com a conseqüència de modificar les aportacions existents en cada moment, com podrien ser els diferents patrons de la regulació produïda per les aigües subterrànies i les reserves nivals o els canvis històrics produïts en els usos del sòl. Alhora, cal tenir en compte la influència del canvi climàtic en la variabilitat d'aquestes aportacions. Davant un escenari que preveu canvis en les magnituds i en la distribució pluviomètrica i tèrmica a la conca, la variabilitat climàtica interanual pren especial importància en l'anàlisi de sèries temporals hidrològiques. També seria interessant realitzar estudis similars en altres conques hidrogràfiques d'influència mediterrània, a fi de poder caracteritzar la relació del règim natural mediterrani amb l'ús dels embassaments i l'alteració del règim de cabals mínims.

En aquest projecte també s'ha pogut veure que tot i la importància d'un enfocament conjunt del problema, que porti informació per a la gestió de la totalitat d'una conca hidrogràfica, la gestió de les infraestructures hidràuliques ha de tenir en compte la idiosincràsia de cada tram fluvial i de l'aprofitament existent, valorant els factors principals que afecten la dinàmica dels cabals mínims també de forma específica per a cada tram. D'aquesta manera, més enllà de la comparació realitzada a nivell de conca, en que ha quedat clara que la gestió dels embassaments destinats al regadiu requerirà un major esforç de gestió que els hidroelèctrics per a l'assoliment dels objectius proposats, s'ha generat una base de dades que pot ser d'utilitat per a la gestió concreta dels embassaments estudiats. El desenvolupament d'eines per a l'exploració i l'organització de les dades d'aforament històriques disponibles, i la caracterització realitzada del règim fluvial regulat i de l'alteració del règim de cabals mínims en cadascun dels 30 punts seleccionats, constitueixen per si mateixos una base de consulta que pot ser valuosa davant els reptes de gestió plantejats, tant pel que fa a l'àmbit dels cabals mínims com de tots aquells elements que constitueixen el règim de cabals ecològics.

En el marc d'estudi del règim de cabals ambientals o ecològics, el següent aspecte a plantejar seria l'estudi de com els diferents tipus d'embassaments regulen la resta de components que integren aquest règim de cabals (a nivell normatiu, a Espanya: cabals màxims, cabals de crescuda i taxa de canvi), així com estudis similars però en termes de qualitat de les aigües. En aquest punt,

cal recordar que la Directiva Marc de l'Aigua especifica que els objectius ambientals dels nous plans de conca s'han de centrar "*en la consecució dels valors d'indicadors de qualitat biològics propis dels bon estat de les aigües, desviant-se només lleugerament dels valors en condicions inalterades*". Lògicament, l'assoliment del règim de cabals ecològics no pot anar associat a una probable disminució de la qualitat biològica d'aquests cabals, com podria passar en aquells casos en que els cabals mínims ecològics s'assoleixen com a conseqüència dels retorns de reg. Aquest és un aspecte que creiem que cal estudiar amb deteniment.

Finalment, fóra bo destacar en aquest sentit que els cabals ambientals no es poden entendre únicament des d'una perspectiva hidrològica i limitar-se a la consecució d'uns determinats valors quantitativs en el règim de cabals. Han d'anar acompanyats d'estudis sobre la seva efectivitat en la consecució d'un bon estat ecològic del medi fluvial que sigui compatible amb un aprofitament racional dels recursos. La seva implantació i seguiment requereixen doncs d'un enfoc interdisciplinari, que permeti valorar la coherència dels diferents indicadors físics, químics, biològics i socials existents, amb l'objectiu final d'assolir una gestió sostenible dels recursos hídrics.

9. CALENDARI I PRESSUPOST

8.1 Calendari

Aquest treball s'ha realitzat a temps parcial al llarg del darrer curs acadèmic. La seva seqüència esquemàtica de desenvolupament es mostra a continuació (Taula 16):

Taula 16: Calendari del projecte.

2012			2013						
Oct.	Nov.	Des.	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol
Recerca bibliogràfica									
SIG									
			Anàlisi de dades						
								Discussió i redacció	

8.2 Pressupost

Taula 17: Pressupost per Recursos Humans.

Recursos humans (RRHH)				
Concepte		Preu (€/hora)	Hores	Total (€)
Recerca bibliogràfica		12	40	480
Desenvolupament i aplicació d'eines informàtiques	Programa reordenació dades	12	10	120
	SIG	12	150	1.800
Anàlisi estadístic de dades		12	200	2.400
Treball de gabinet		15	15	225
Redacció del projecte		12	50	600
Total			490	5.625

Taula 18: Pressupost material inventariable ^a.

Material inventariable			
Concepte	Preu (€)	Unitat	Total (€)
Material Informàtic	500	0,2	100
Software Office	99	0,1	9,9
Software Matlab	3.800	0,1	380
Software Miramón	228	0,1	22,8
Software SPSS	2.658	0,1	265,8
Total			778,5

^a Facilitat per la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) i per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Taula 19: Pressupost material fungible.

Material fungible			
Concepte	Preu (€)	Unitat	Total (€)
Impressió del treball	3	4	12
Format digital del treball (CD)	0,2	4	0,8
Enquadernació	3	4	12
Total			24,8

Taula 20: Pressupost final.

Total	
Concepte	Preu (€)
RRHH	5.625
Material inventariable	778,5
Material fungible	24,8
Total	6.428,3
Total (21% IVA)	7.778,24

10. BIBLIOGRAFIA

Llibres

- KNIGHTON D. (1998). *Fluvial Forms and Processes: a new perspective*. London: Ed. Arnold.
- McCULLY P. (1996). *Silenced Rivers. The Ecology and Politics of Large Dams*. London: Ed. Zed Books.
- PETTS G. (1986). *Impounded Rivers. Perspectives for Ecological Management*. Chichester: Ed. J. Wiley & Sons.
- SHAW E.M., BEVEN K.J., CHAPPELL N.A., LAMB R. (2011). *Hydrology in Practice*. London & N.Y.: Ed. Spon Press.
- YEAGER B.L. (1994). *Impacts of Reservoirs on the Aquatic Environment of Regulated Rivers*. Norris, Tennessee: Ed. Tennessee Valley Authority, Water Resources, Aquatic Biology Department.

Articles

- ALVARES D., SAMPER J. (2009). "Evaluación de los recursos hídricos de la cuenca hidrográfica del Ebro mediante modelización semidistribuida con GIS-BALAN". Estudios en la zona no saturada del suelo. Vol. 9.
- ASSANI A.A., BUFFIN-BÉLANGER T., ROY A.G. (2002). "Analyse des impacts d'un barrage sur le régime hydrologique de la rivière Matawin (Québec, Canada)". *Revue des Sciences de l'Eau*, 15: p. 557- 574.
- ASSANI, A.A., STICHELBOU E., ROY A.G., PETIT F. (2006). "Comparison of impacts of dams on the annual maximum flow characteristics in three regulated hydrologic regimes in Québec (Canada)". *Hydrological Processes*, 20: p. 3485 - 3501.
- BABEL M., DINH C. N., MULLICK Md. R. A., NANDURI U.V. (2012). "Operation of a hydropower system considering environmental flow requirements: A case study in La Nga river basin, Vietnam". *Journal of Hydro-environment Research*, 6: p. 63 - 73.
- BATALLA R. J., GÓMEZ C. M., KONDOLF G.M. (2004). "Reservoir-induced hydrological changes in the Ebro River basin (NE Spain)". *Journal of Hidrology*, 290: p. 117 - 136.
- BUNN, S. E, ARTHINGTON, AH. (2002). "Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity." *Environmental Management*, 30 (4): p. 492 - 507.
- GIPPEL C.J.(1995). "Environmental hydraulics of large wood debris in streams and rivers". *Journal of Environmental Engineering*, 121: p. 388 - 395.

- HU W., WANG G., DENG W., LI S. (2008). "The influence of dams on ecohydrological conditions in the Huaihe River basin". *Ecological engineering*, 33: p. 233 - 241.
- IBARS A. P. (1994). "Los mal llamados caudales ecológicos: Bases para una propuesta de cálculo". *Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, 28.
- LAJOIE F., ASSANI A. A., ROY A.G., MESFIOUI M., (2007). "Impacts of dams on monthly flow characteristics. The influence of watershed size and seasons. *Journal of Hydrology*, 334: p. 423 - 439.
- LIGON F.K., DIETRICH W.E., TRUSH W.J. (1995). "Downstream ecological effects of dams, a geomorphic perspective". *BioScience*, 45: p.183 - 192.
- MAHESHWARI B.L., WALKER K. F., McMAHON T. A. (1995). "Effects of regulation on the flow regime of the River Murray, Australia". *Regulated Rivers: Research and Management*, 10: p.15 - 38.
- MALMRENÖFÄLT B., JANSSON R., NILSSON C. (2010). "Effects of hydropower generation and opportunities for environmental flow management in Swedish riverine ecosystems" *Freshwater Biology*, 55: p. 49 - 67.
- MOORE J. N., ARRIGONI A. S., WILCOX A. C. (2012). "Impacts of dams on flow regimes of the Columbia river basin, United States". *Journal of the American water resources association*, 48(5): p. 925 - 938.
- PETERS D.L., PROWSE T. (2001). "Regulation effects on the lower Peace River, Canada". *Hydrological Processes*, 15: p. 3181 - 3194.
- PINAY G., CLÉMENT J.C., NAIMAN R.J. (2002). "Basic Principles and Ecological Consequences of Changing Water Regimes on Nitrogen Cycling in Fluvial Systems". *Environmental Management*, 30(4): p. 481 - 491.
- POFF N.L., ALLAN.J.D. (1995). "Funcional organization of stream fish assemblages in relation to hydrological variability". *Ecology*, 76: p. 606 - 627.
- POFF, N.L., ALLAN, J.D., BAIN, M.B., KARR, J.R. PRESTEGAARD, K.L., RICHTER, B.D., SPARKS, R.E. AND STROMBERG, J.C. (1997). "The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration". *BioScience*, 47: p.769 - 784.
- RICHTER B.D., BAUMGARTNER J.V., POWELL J., BRAUN D.P (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystem. *Conservation Biology*, 10: p. 1163 -1174.
- RICHTER B.D., BAUMGARTNER J.V., BRAUN D.P., POWELL J. (1998) "A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network". *Regulated Rivers: Research and Management*, 14: p. 329 - 340.
- RICHTER B.D., RICHTER H.E. (2000). "Prescribing Flood Regimes to Sustain Riparian Ecosystems along Meandering Rivers". *Conservation Biology*, 14(5): p.1467 - 1478.
- RICHTER B.D., THOMAS G.A. (2007). "Restoring environmental flows by modifying dam operations". *Ecology and Society*, 12(1): p.12.
- RICHTER B.D., POSTEL S., REVENGA C., SCUDDER T., LEHNER B., CHURCHILL A., CHOW M. (2010). "Lost in development's shadow: The downstream human consequences of dams". *Water Alternatives*, 3(2): p. 14 - 42.

- SMAKHTIN, V.U (2000). "Low flow hidrology: a review". *Journal of Hydrology*, 240: p. 147 - 186.
- STANFORD J.A., WARD J.V., LISS W.J., FRISSELL C.A., WILLIAMS R.N., LICHTOWICH J.A., COUTANT C.C. (1996). "A general protocol for restoration of regulated rivers". *Regulated Rivers: Research & Management*, 12: p. 391 - 414.
- YIN X. A., YANG Z.F., PETTS G.E. (2012). "Optimizing environmental flows below dams" *River Research and Applications*, 28: p. 703 - 716.
- ZHAO Q., LIU S., DENG L., DONG S., YANG J., WANG C. (2012). "The effects of dam construction and precipitation variability on hydrologic alteration in the Lancang River Basin of southwest China". *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 26: p. 993 - 1011.

Estudis tècnics i Memòries de plans i projectes

- VERA M.G. (director), COLÁS M. M. (consultor), (2000), "Los aprovechamientos en la cuenca del Ebro: Afección en el régimen hidrológico fluvial", Oficina de Planificación Hidrológica; Referencia cronológica: 12/2000, Clave: 2000-PH-24.I, Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient.
- SANZ C. B., MORA B., TORRES M.R., SCHERMER D., JEREZ A.T., NAVARRO R.S. (2007-2013) "Establecimiento del régimen de caudales ecológicos y de las necesidades ecológicas de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de la demarcación hidrográfica del Ebro", Ministeri de Medi Ambient Rural i Marí.
- CONFEDERACIÓ HIDROGRÀFICA DE L'EBRE (2012). "Propuesta de proyecto de Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro 2010-2015", Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi ambient.

Recursos web

- CONFEDERACIÓ HIDROGRÀFICA DE L'EBRE, Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient:
www.chebro.es
- CENTRE DE RECERCA ECOLÒGICA I APLICACIONS FORESTALS, Universitat Autònoma de Barcelona:
www.creaf.cat
- OFICINA DE PLANIFICACIÓ HIDROLÒGICA, Ministeri de Medi Ambient, Rural i Marí:
oph.chebro.es
- SCARCE CONSOLIDER PROJECT, Ministeri de Ciència i innovació:
www.scarceconsolider.es

11. ANNEXES

Annex I: Codi aplicació Matlab

A continuació es presenta el codi utilitzat per al desenvolupament de l'aplicació destinada al tractament (reordenació) de les dades foromètriques obtingudes dels anuaris oficials de la CHE. Aquesta aplicació, desenvolupada per Àlex Vallmitjana (Dept. d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Inf. Ind.; UPC), mitjançant el software Matlab, és exclusiva per al format d'exportació de dades del citat anuari.

```
function [ ] = reordena()

[arxiu ruta]=uigetfile('txt');

aux=fopen([ruta '\ ' arxiu, 'rt');
hh=fscanf(aux, '%c');
fclose(aux);

hh=hh(208:end);
hh=[' ' hh];
aux=fopen('temp.txt', 'wt');
fprintf(aux, hh);
fclose(aux);

aux=fopen('temp.txt', 'rt');
hh=fscanf(aux, '%4d %10c %f %f');
fclose(aux);

dades=cell(length(hh)/13, 6);
% estacio dia mes any altura cabal

for ii=1:length(hh)/13

    dades{ii, 1}=hh(((ii-1)*13)+1);
    %
    dades{ii, 2}=[char(hh(((ii-1)*13)+2))    char(hh(((ii-
1)*13)+3))];
    %ara llegeixo el mes
    dades{ii, 3}=[char(hh(((ii-1)*13)+5))    char(hh(((ii-
1)*13)+6))];
    % lany
    dades{ii, 4}=[char(hh(((ii-1)*13)+8))    char(hh(((ii-
1)*13)+9))    char(hh(((ii-1)*13)+10))    char(hh(((ii-
1)*13)+11))];
    %
    dades{ii, 5}=(hh(((ii-1)*13)+12));
    %
    dades{ii, 6}=(hh(((ii-1)*13)+13));

end

nombrededies=[31 30 31 31 28 31 30 31 30 31 31 30];
primer=str2num(dades{1, 4});

ultim=str2num(dades{end, 4});
matriu=933230273*ones((ultim-primer+1)*32, 13);

for ii=1:size(dades, 1)
    any=str2num(dades{ii, 4});
    mes=str2num(dades{ii, 3})-8;
    if(mes<2), mes=mes+12; end
    dia=str2num(dades{ii, 2});
    cabal=(dades{ii, 6});
    if(mes==2), matriu(dia+(((any-primer+1)*32)-
32), 1)=dia-1; end
    if((mes==2)&&(dia==1)), matriu(dia+(((any-
primer+1)*32)-32), 1)=any; matriu(dia+(((any-
primer+1)*32)-32)+31, 1)=31; end
    if(mes>4), any=any-1; end

    matriu(dia+(((any-primer+1)*32)-32)+1, mes)=cabal;

end

parrafada=cell(size(matriu, 1), 1);
conta=0;
for ii=1:size(matriu, 1)

    conta=conta+1;
    for jj=1:13

        if(matriu(ii, jj)==933230273)
            parrafada{conta}=[parrafada{conta} ' '];
        else
            parrafada{conta}=[parrafada{conta} ' '
num2str(matriu(ii, jj))];
        end

    end

    aux=parrafada{conta};
    parrafada{conta}=aux(2:end);
    parrafada{conta}=[parrafada{conta} ' '];
end

pumpum=fopen([arxiu(1:end-4) '.csv'], 'wt');
for ii=1:length(parrafada)

    fprintf(pumpum, '%s\n', parrafada{ii});

end
fclose(pumpum);

%xlswrite([arxiu(1:end-4) '.xls'], matriu);
end
```


Annex II: Resultats de la selecció d'estacions foromètriques

Es presenten els resultats parcials obtinguts al llarg del procés de selecció d'estacions foromètriques que disposen de dades representatives de l'efecte dels diferents tipus d'embassaments estudiats.

L'anàlisi de la informació continguda al SIG permet desglossar els resultats obtinguts a partir de la resolució progressiva dels criteris fixats (Veure Capítol 5: Metodologia; Apartat 5.1.2: Criteris de selecció de dades), tal com es mostra a continuació:

i. Criteris de localització

Existeixen un total de 253 embassaments i 415 estacions d'aforament repartits/des en el conjunt de la conca hidrogràfica de l'Ebre (Fig. 19). Si bé aquestes dades inclouen alguns embassaments fora de servei (o inclús en construcció) i un considerable nombre d'estacions actualment inactives, la relació entre l'existència dels primers i la disponibilitat d'un registre associat suficientment ampli en les segones, és suficient per a l'estudi de l'efecte produït als cabals mínims en funció dels diferents tipus d'usos d'un embassament.

De les 415 estacions localitzades, 277 disposen de dades històriques d'aforament mesurades al propi riu, mentre que la resta o bé prenen les seves mesures en canals artificials (64 estacions) o bé en la pròpia sortida dels embassaments (74 estacions)(Fig. 19).

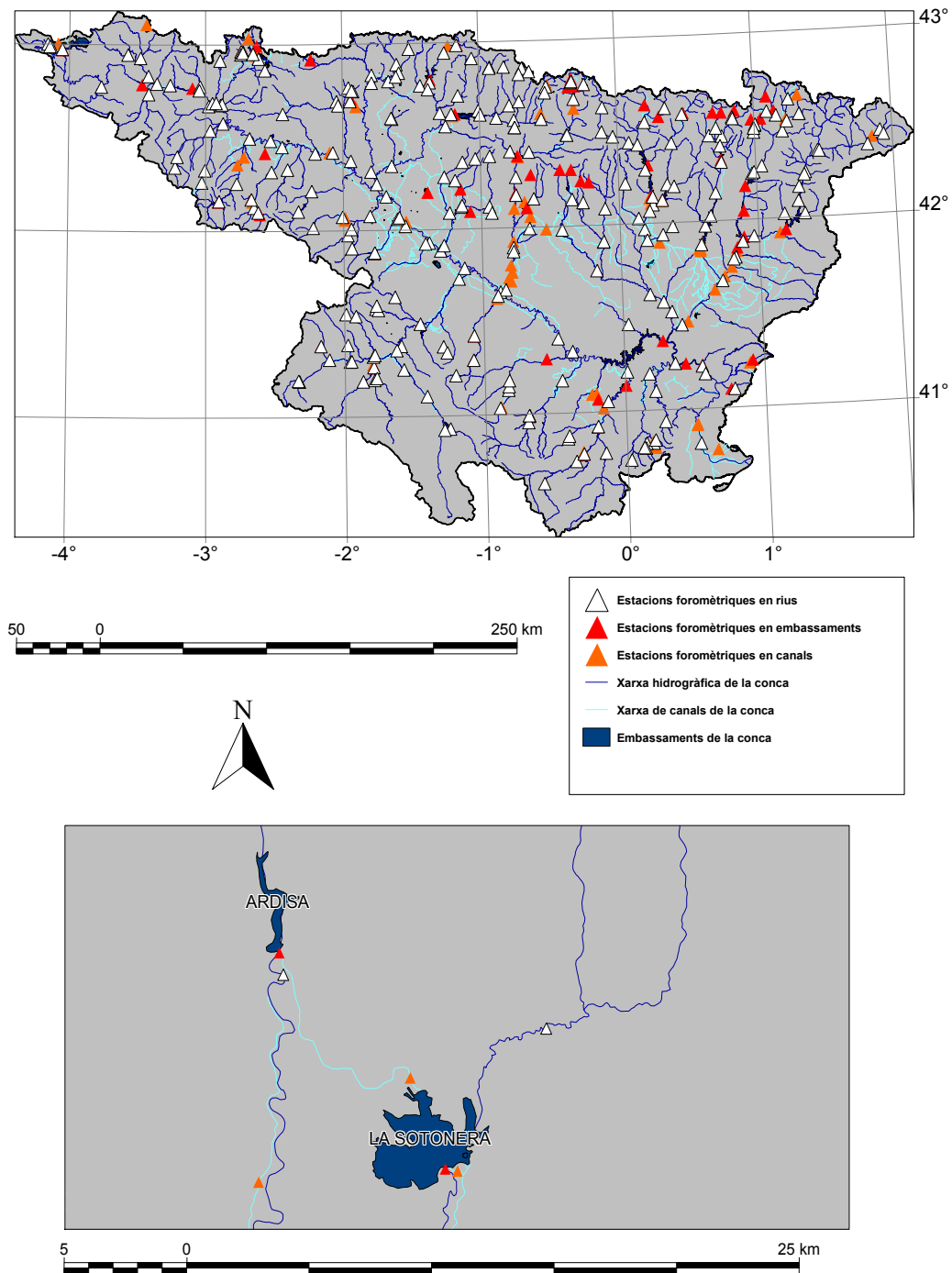


Fig. 19: Distribució de la xarxa d'estacions formètriques a la conca i exemple detallat dels diferents tipus d'aforaments existents.

Amb l'ajuda d'un mapa de distàncies relatives generat per a aquestes 277 estacions situades en rius (Fig. 20), i a partir de la combinació analítica de capes i la selecció manual, es quantifiquen i localitzen les estacions candidates en base a la seva localització.

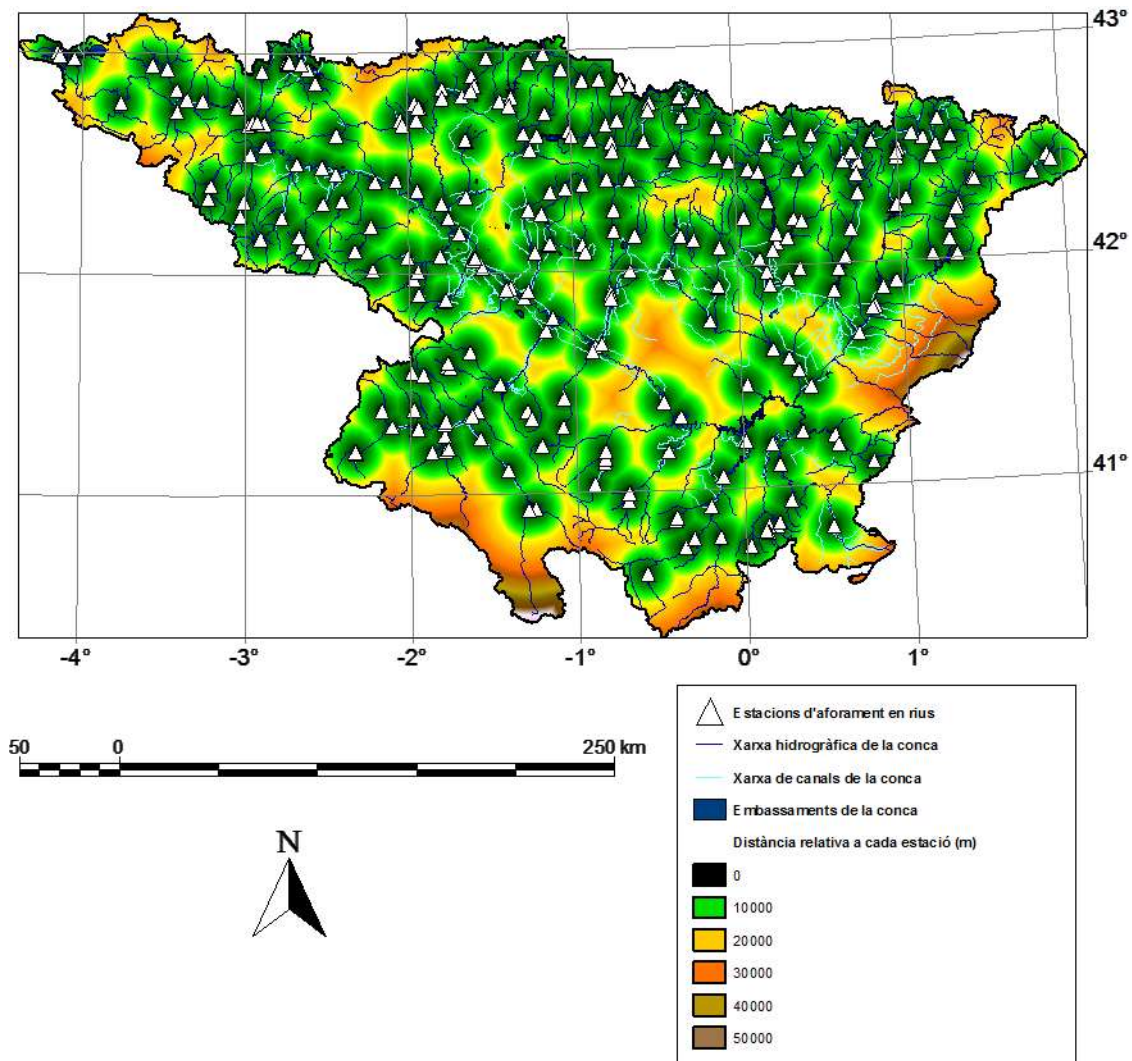


Fig. 20: Distàncies relatives a les estacions d'aforament situades en rius.

Existeixen 55 punts d'aforament situats aigües avall d'un embassament i a una distància euclidiana igual o menor a 10 km d'aquest. Dins d'aquestes 55 estacions, 43 es troben, alhora, lliures de l'aportació d'afluents entre la pròpia estació i la presa, resultant doncs idònies, per a l'estudi de l'efecte produït en el règim hidrològic per part de l'embassament (Fig. 21).

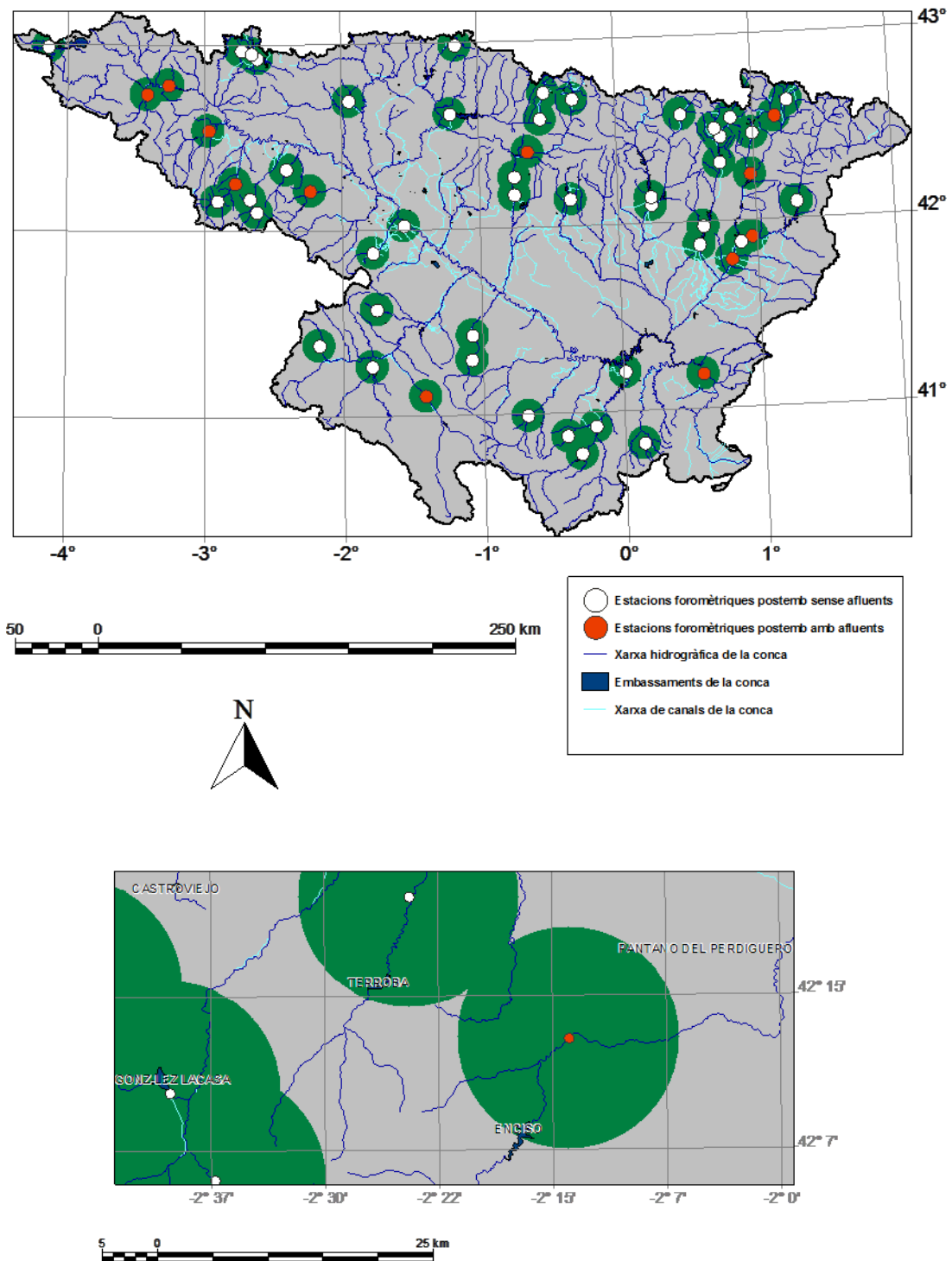


Fig. 21: Estacions situades a una distància euclidiana igual o menor a 10 km aigües avall dels embassaments i exemple de la classificació feta en funció de la presència d'afluents entre l'embassament i l'estació.

ii. Criteri d'usos dels embassaments

En concordança amb les categories d'embassament considerades, es descarten, dins les 43 estacions que compleixen els criteris de localització, les estacions 9197 (*Leza en Leza de río Leza*) i 9221 (*Subialde en Larrinoa*) degut a l'aprofitament industrial i d'abastament que presenten, respectivament, els seus embassaments predecessors (Taula 21).

Taula 21: Ús dels embassaments predecessors a les estacions que responen als criteris de localització (Font: CHE) i estacions descartades per incomplir els criteris de tipologia d'ús de l'embassament.

Nº d'estació	Codi estació (CHE)	Nom	Tipologia d'usos (CHE)
1	9203	<i>HUJAR en REINOSA</i>	Hidroeléctrico
2	9197	<i>LEZA en LEZA DE RIO LEZA</i>	Riego/Abast/ Industrial
3	9233	<i>GUADALOPE en CALANDA</i>	Hidroeléctrico/Riego/Abast
4	9131	<i>NOGUERA DE TOR en LLESP</i>	Hidroeléctrico
5	9133	<i>NOGUERA RIBAGORZANA en CANELLES</i>	Hidroeléctrico
6	9173	<i>ESERA en REVERSIONES</i>	Hidroeléctrico/Riego/Abast
7	9016	<i>CINCA en EL GRADO</i>	Hidroeléctrico/Riego/Abast
8	9232	<i>NAJIMA en MONTEAGUDO VICARIAS</i>	Riego
9	9116	<i>NOGUERA DE TOR en CALDAS DE BOHI</i>	Hidroeléctrico
10	9012	<i>GALLEGO en ARDISA</i>	Hidroeléctrico/Riego/Abast
11	9018	<i>ARAGON en JACA</i>	Hidroeléctrico
12	9034	<i>NAJERILLA en MANSILLA</i>	Hidroeléctrico/Riego/Abast
13	9039	<i>ALBERCOS en ORTIGOSA</i>	Hidroeléctrico/Riego/Abast
14	9059	<i>GALLEGO en SANTA EULALIA</i>	Riego
15	9076	<i>IRATI en ORBAICETA</i>	Hidroeléctrico/Riego
16	9083	<i>SEGRE en OLIANA</i>	Hidroeléctrico/Riego/Abast
17	9084	<i>SALADO en ALLOZ</i>	Hidroeléctrico/Riego
18	9090	<i>Barranco VAL en LOS FAYOS</i>	Riego/Abastecimiento
19	9097	<i>NOGUERA RIBAGORZANA en LA PIÑANA</i>	Hidroeléctrico/Riego/Abast
20	9099	<i>GUADALOPE en CASPE</i>	Riego/Abastecimiento
21	9101	<i>ARAGON en YESA</i>	Riego/Abastecimiento
22	9128	<i>ESERA en BARASONA</i>	Hidroeléctrico/Riego
23	9105	<i>HUERVA en MEZALOECHA</i>	Riego/Abastecimiento
24	9106	<i>GUADALOPE en SANTOLEA</i>	Hidroeléctrico/Riego/Abast
25	9109	<i>PENA en VALDERROBRES</i>	Riego/Abastecimiento
26	9118	<i>MARTIN en OLIETE</i>	Riego/Abastecimiento
27	9124	<i>HUERVA en LAS TORCAS</i>	Riego/Abastecimiento
28	9125	<i>PIEDRA en CARENAS</i>	Riego/Abastecimiento
29	9130	<i>NOGUERA RIBAGORZANA en GINASTE</i>	Hidroeléctrico
30	9142	<i>LUMBRERAS en LUMBRERAS</i>	Hidroeléctrico/Riego/Abast
31	9144	<i>NOGUERA DE CARDOS en TABESCAN</i>	Hidroeléctrico
32	9145	<i>ESERA en ERISTE</i>	Hidroeléctrico
33	9162	<i>EBRO en PIGNATELLI</i>	Riego
34	9190	<i>FLUMEN en QUICENA</i>	Riego/Abastecimiento
35	9201	<i>GUADALOPILLO en GALLIPUEN</i>	Riego
36	9221	<i>SUBIALDE en LARRINOA</i>	Abastecimiento
37	9238	<i>ARANDA en MAIDEVERA</i>	Riego/Abastecimiento
38	9250	<i>GALLEGO en BUBAL</i>	Hidroeléctrico/Riego/Abast
39	9267	<i>FLAMISELL en CAPDELLA</i>	Hidroeléctrico
40	9271	<i>ARAGON en CANFRANC ANTIGUO</i>	Hidroeléctrico
41	9107	<i>ZADORRA en ULLIVARRI</i>	Hidroeléctrico/Riego/Abast
42	9108	<i>SANTA ENGRACIA en URRUNAGA</i>	Hidroeléctrico/Riego/Abast
43	9252	<i>NOGUERA PALLARES en ESCALO</i>	Hidroeléctrico

D'aquesta manera, s'obté un resultat de 41 estacions foromètriques que respecten les 3 categories d'ús de l'embassament considerades i, alhora, responen als criteris de localització imposats.

La reclassificació de les tipologies d'ús dels embassaments descrites per la CHE en els tres grups proposats, prèvia comprovació de la inexistència d'abastaments importants mitjançant les fitxes dels embassaments presents al SIG, permet concloure que, dins d'aquestes 41 estacions foromètriques, n'hi ha 11 de condicionades per un embassament hidroelèctric, 14 condicionades per un embassament de reg i 16 condicionades per un embassament mixt.

iii. Criteris de disponibilitat de dades

A partir de l'anàlisi de la taula de dades associada a les 41 estacions que compleixen els criteris de localització i tipologia de l'embassament predecessor requerits, es descarten aquelles estacions amb un rang de dades menor de 20 anys (Taula 22).

Taula 22: Rang de dades d'aforament disponible per cada estació i estacions descartades d'entrada per insuficiència de dades.

Nº d'estació	Codi estació (CHE)	Nom	Data inici registre	Data final registre	Rang de dades (anys)
1	9203	HUIAR en REINOSA	1976	2010	34
2	9233	GUADALOPE en CALANDA	0	0	0
3	9131	NOGUERA DE TOR en LLESP	1962	1996	34
4	9133	NOGUERA RIBAGORZANA en CANELLES	1950	1958	8
5	9173	ESERA en REVERSIONES	1965	1970	5
6	9016	CINCA en EL GRADO	1912	1973	61
7	9232	NAJIMA en MONTEAGUDO VICARIAS	0	0	0
8	9116	NOGUERA DE TOR en CALDAS DE BOHI	1946	1996	50
9	9012	GALLEGO en ARDISA	1912	2010	98
10	9018	ARAGON en JACA	1930	2010	80
11	9034	NAJERILLA en MANSILLA	1930	2010	80
12	9039	ALBERCOS en ORTIGOSA	1930	2010	80
13	9059	GALLEGO en SANTA EULALIA	1934	2010	76
14	9076	IRATI en ORBAICETA	1959	2010	51
15	9083	SEGRE en OLIANA	1952	2010	58
16	9084	SALADO en ALLOZ	1935	2010	75
17	9090	Barranco VAL en LOS FAYOS	1935	1997	62
18	9097	NOGUERA RIBAGORZANA en LA PIÑANA	1946	2010	64
19	9099	GUADALOPE en CASPE	1973	2010	37
20	9101	ARAGON en YESA	1912	2010	98
21	9128	ESERA en BARASONA	1944	1982	38
22	9105	HUERVA en MEZALLOCHA	1945	2010	65
23	9106	GUADALOPE en SANTOLEA	1947	2010	63
24	9109	PENA en VALDEROBRES	1969	2010	41
25	9118	MARTIN en OLIETE	1946	2010	64
26	9124	HUERVA en LAS TORCAS	1949	2010	61
27	9125	PIEDRA en CARENAS	1953	2010	57
28	9130	NOGUERA RIBAGORZANA en GINASTE	1962	1996	34
29	9142	LUMBRERAS en LUMBRERAS	1950	2010	60
30	9144	NOGUERA DE CARDOS en TABESCAN	1954	1991	37

31	9145	<i>ESERA en ERISTE</i>	1951	2010	59
32	9190	<i>FLUMEN en QUICENA</i>	1978	2010	32
33	9201	<i>GUADALOPILLO en GALLIPUEN</i>	1977	1998	21
34	9221	<i>SUBIALDE en LARRINOA</i>	1978	2010	32
35	9238	<i>ARANDA en MAIDEVERA</i>	1987	2010	23
36	9250	<i>GALLEGO en BUBAL</i>	1988	2010	22
37	9267	<i>FLAMISELL en CAPDELLA</i>	1989	2008	19
38	9271	<i>ARAGON en CANFRANC ANTIGUO</i>	1991	2010	19
39	9107	<i>ZADORRA en ULLIVARRI</i>	1945	1954	9
40	9108	<i>SANTA ENGRACIA en URRUNAGA</i>	1945	1954	9
41	9252	<i>NOGUERA PALLARESA en ESCALO</i>	1947	1969	22

D'aquesta manera resulten, previ anàlisi dels hidrogrames i la conseqüent determinació del període dins la sèrie representatiu de l'efecte de l'embassament, un total de 35 estacions amb un rang de dades suficient: 10 estacions condicionades per un embassament hidroelèctric, 13 condicionades per un embassament de reg i 12 condicionades per embassaments mixts.

Annex III: Resultats de la selecció de les sèries temporals

A partir de la representació dels hidrogrames de les sèries de cabal mig diari provinents de cadascuna de les 35 estacions preseleccionades s'obtenen els següents resultats:

a) Detecció de la sèrie disponible des de la posta operativa de l'embassament

Un cop acotades les sèries (exemple: Fig. 22), el resultat és el descart de les següents estacions foromètriques degut a la insuficiència de dades (Taula 23):

Taula 23: Estacions foromètriques descartades per insuficiència de dades (< aproximadament 20 anys).

Codi estació (CHE)	Nom	Embassament i construcció (any)	Rang de dades post embassament (anys)	Tipologia d'ús
9130	NOGUERA RIBAGORZANA en GINASTE	Baserca i Llauset, 1983	13	Hidroelèctric
9142	LUMBRERAS en LUMBRERAS	Pajares, 1995	15	Mixt
9016	CINCA en EL GRADO	Grado I, 1969	4	Mixt
9090	Barranco VAL en LOS FAYOS	El Val, 2001	0	Reg

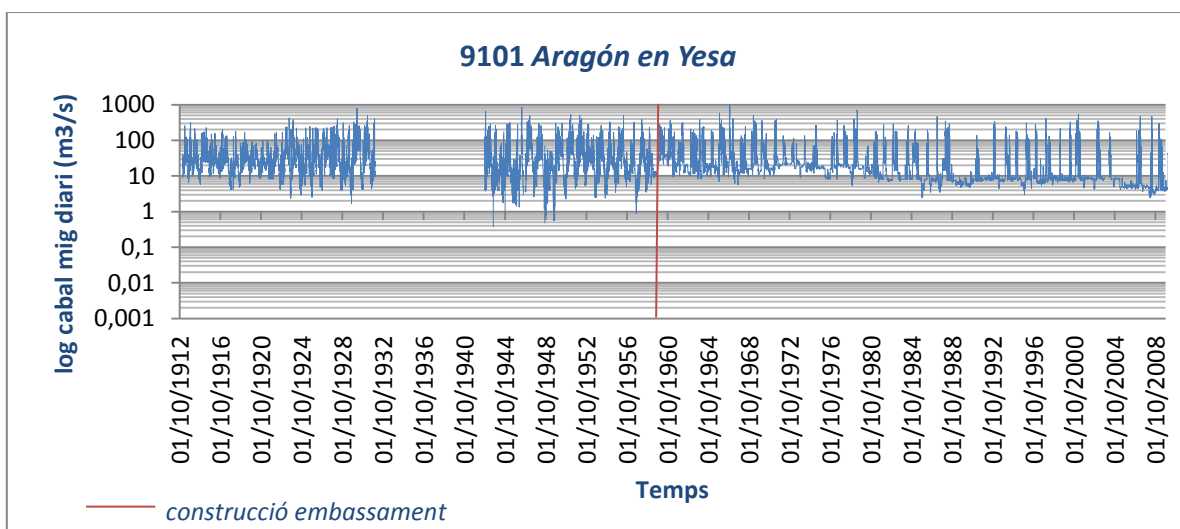


Fig. 22: Exemple de sèrie acotada a partir de la posada en funcionament de l'embassament per a l'estació 9101 Aragón en Yesa (construcció de l'embassament de Yesa: 1959).

b) Detecció de períodes sense dades dins el registre de les sèries

Es detecten períodes sense dades en els rangs que facilita la CHE (Veure Taula 22) pràcticament en totes les estacions foromètriques. Aquestes finestres temporals poden ser des de petites finestres (≤ 1 any) distribuïdes aleatòriament dins les sèries (exemple: Fig. 23), fins a grans finestres (≥ 1 any) que acostumen a situar-se a l'inici de la sèrie en aquelles estacions amb amplis registres o durant el període de construcció de l'embassament (exemple: Fig. 24). La presència de petites finestres sense dades no representa un problema si la sèrie és suficientment llarga després de la posta en funcionament de l'embassament.

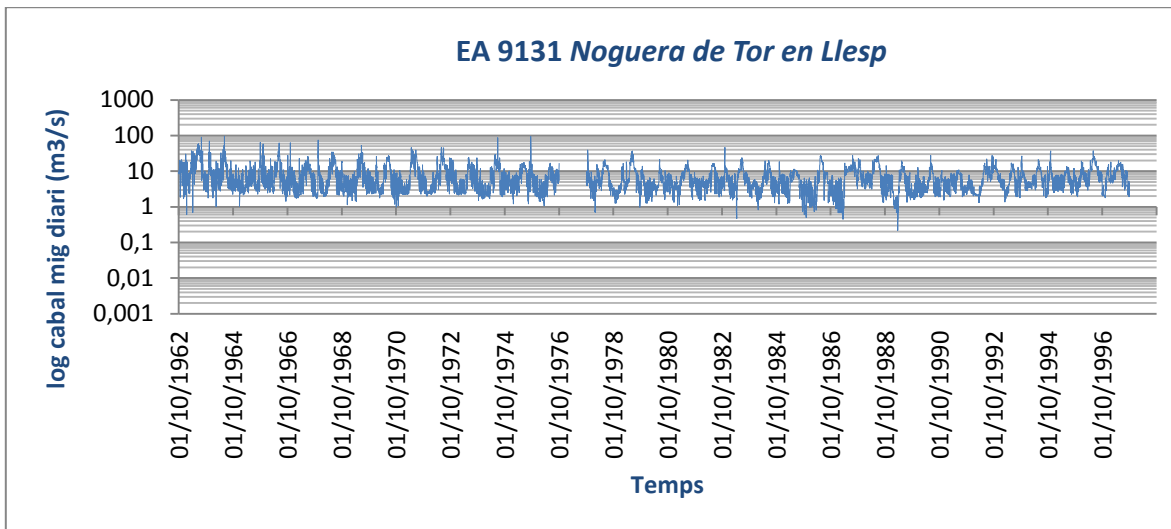


Fig. 23: Exemple per a l'estació 9131, *Noguera de Tor en Llesp* (construcció embassament de Llesp: 1954).

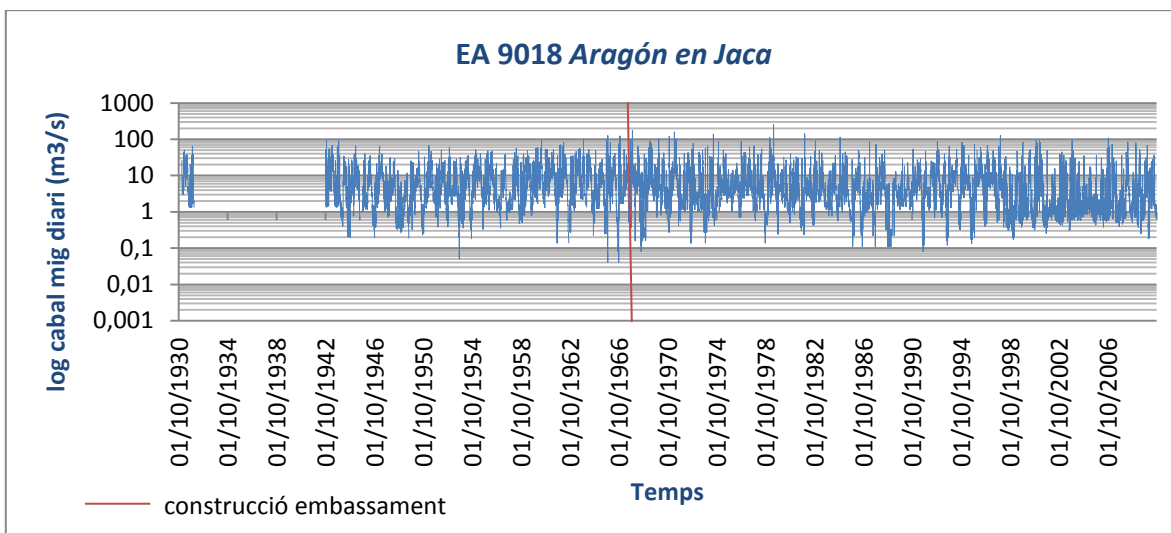


Fig. 24: Exemple per a l'estació 9018, *Aragón en Jaca* (construcció de l'embassament de Jaca: 1967).

Com a resultat de la detecció de períodes sense dades dins les sèries, es descarta l'estació foromètrica 9203, *Híjar en Reinosa* degut a l'elevada presència de finestres temporals que limiten el nombre de dades reals disponibles (Fig. 25).

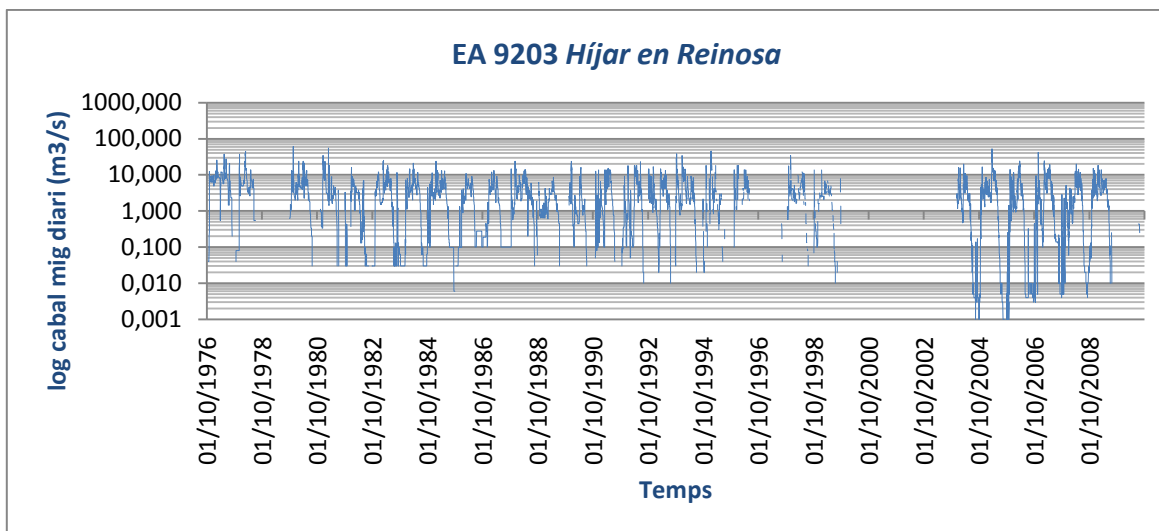


Fig. 25: Estació 9203, *Híjar en Reinosa*, descartada per l'elevada presència de finestres temporals sense dades.

c) Detecció de canvis bruscs en la sèrie no atribuïbles a l'efecte de l'embassament

La detecció de canvis evidents en l'hidrograma com a conseqüència d'alteracions del règim hidrològic posteriors a la posta operativa dels embassaments (exemple: Fig. 26) resulta en l'acotament de les sèries a analitzar per a les següents estacions (Taula 24):

Taula 24: Estacions amb sèries acotades com a conseqüència de la detecció de canvis en l'hidrograma no atribuïbles a la gestió ordinària dels embassaments.

Codi estació (CHE)	Nom	Sèrie completa després de l'embassament	Sèrie acotada	Tipologia d'ús
9145	<i>ESERA en ERISTE</i>	1971-2010	1971-1991	Hidroelèctric
9097	<i>NOGUERA RIBAGORZANA en LA PIÑANA</i>	1961-2010	1961-1981	Mixt
9012	<i>GALLEGO en ARDISA</i>	1927-2010	1927-1988	Mixt

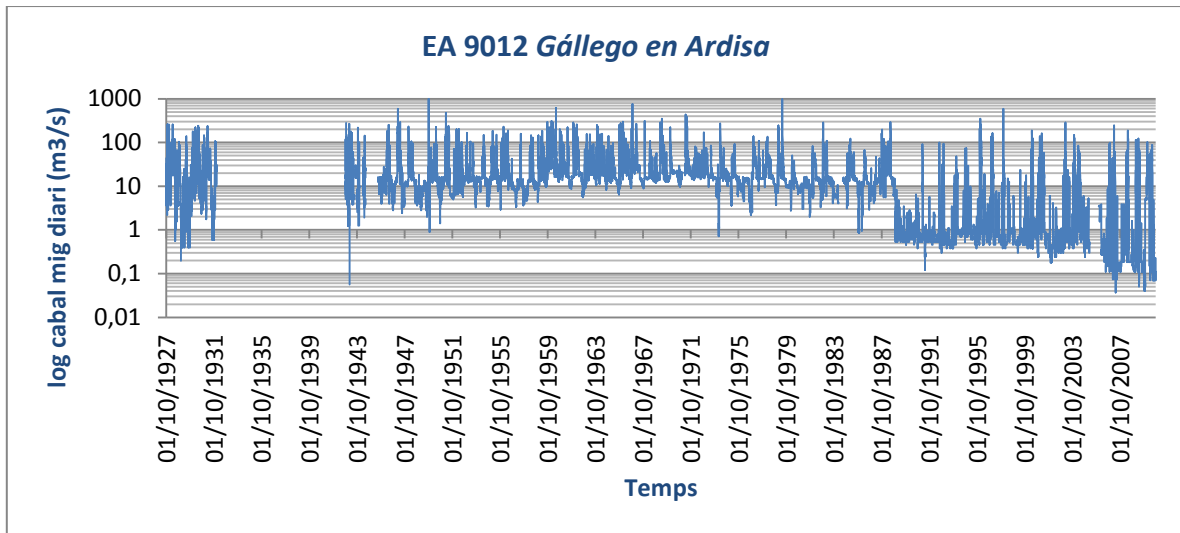


Fig. 26: Exemple de canvi hidrològic no atribuïble a la posta en funcionament de l'embassament per a l'estació 9012, *Gállego en Ardisa* (construcció de l'embassament d'Ardisa:1927).

D'aquesta manera, resulten finalment, un total de 30 estacions amb un rang de dades representatiu de l'efecte de l'embassament en base als criteris utilitzats: 10 estacions condicionades per un embassament hidroelèctric, 12 condicionades per un embassament de reg i 10 condicionades per embassaments mixts (Taula 25).

Taula 25: Estacions seleccionades a partir de l'anàlisi SIG i l'elaboració dels hidrogrames.

Nº	Codi (CHE)	Nom	Ús de l'embassament	Sèrie temporal disponible	Sèrie temporal representativa	Nº de dades representatives (anys)
1	9131	NOGUERA DE TOR en LLESP	Hidroelèctric	1962-1997	1962-1997	35
2	9116	NOGUERA DE TOR en CALDAS DE BOHI	Hidroelèctric	1946-1997	1961-1997	36
3	9018	ARAGON en JACA	Hidroelèctric	1930-2010	1974-2010	36
4	9144	NOGUERA DE CARDOS en TABESCAN	Hidroelèctric	1966-1992	1966-1992	26
5	9145	ESERA en ERISTE	Hidroelèctric	1951-2010	1970-1990	20
6	9267	FLAMISELL en CAPDELLA	Hidroelèctric	1989-2008	1989-2008	19
7	9271	ARAGON en CANFRANC ANTIGUO	Hidroelèctric	1991-2010	1991-2010	19
8	9252	NOGUERA PALLARESA en ESCALO	Hidroelèctric	1989-2010	1989-2010	21
9	9012	GALLEGO en ARDISA	Mixt	1912-2010	1927-1988	61
10	9034	NAJERILLA en MANSILLA	Mixt	1930-2010	1960-2010	50
11	9039	ALBERCOS en ORTIGOSA	Mixt	1930-2010	1963-2010	47
12	9076	IRATI en ORBAICETA	Mixt	1959-2010	1959-2010	51
13	9083	SEGRE en OLIANA	Mixt	1952-2010	1959-2010	51
14	9084	SALADO en ALLOZ	Mixt	1976-2010	1976-2010	34
15	9097	NOGUERA RIBAGORZANA en LA PIÑANA	Mixt	1946-2010	1961-1981	20
16	9128	ESERA en BARASONA	Mixt	1949-1971	1949-1971	30
17	9106	GUADALOPE en SANTOLEA	Mixt	1947-2010	1947-2010	63
18	9250	GALLEGO en BUBAL	Mixt	1988-2010	1988-2010	22
19	9099	GUADALOPE en CASPE	Reg	1973-2010	1973-2010	37
20	9101	ARAGON en YESA	Reg	1912-2010	1959-2010	51
21	9105	HUERVA en MEZALLOCHA	Reg	1948-2010	1948-2010	62
22	9059	GALLEGO en SANTA EULALIA	Reg	1944-2010	1944-2010	66
23	9162	EBRO en PIGNATELLI	Reg	1962-1988	1962-1988	26
24	9201	GUADALOPILLO en GALLIPIUEN	Reg	1977-1999	1977-1999	22
25	9109	PENA en VALDERROBRES	Reg	1969-2010	1969-2010	41
26	9118	MARTIN en OLIETE	Reg	1946-2010	1946-2010	64
27	9124	HUERVA en LAS TORCAS	Reg	1949-2010	1949-2010	61
28	9125	PIEDRA en CARENAS	Reg	1953-2010	1964-2010	46
29	9190	FLUMEN en QUICENA	Reg	1978-2010	1978-2010	32
30	9238	ARANDA en MAIDEVERA	Reg	1987-2010	1987-2010	23

Annex IV: Figures de suport utilitzades a l'anàlisi descriptiu

A continuació es presenten els dos gràfics utilitzats com a referència del règim natural característic en la descripció del règim hidrològic per als dos exemples citats en l'anàlisi descriptiu (Capítol 6: Resultats i discussió; Apartat 6.2 Resultats de l'anàlisi de dades; Subapartat 6.2.1: Anàlisi estadístic descriptiu)(Fig.27).

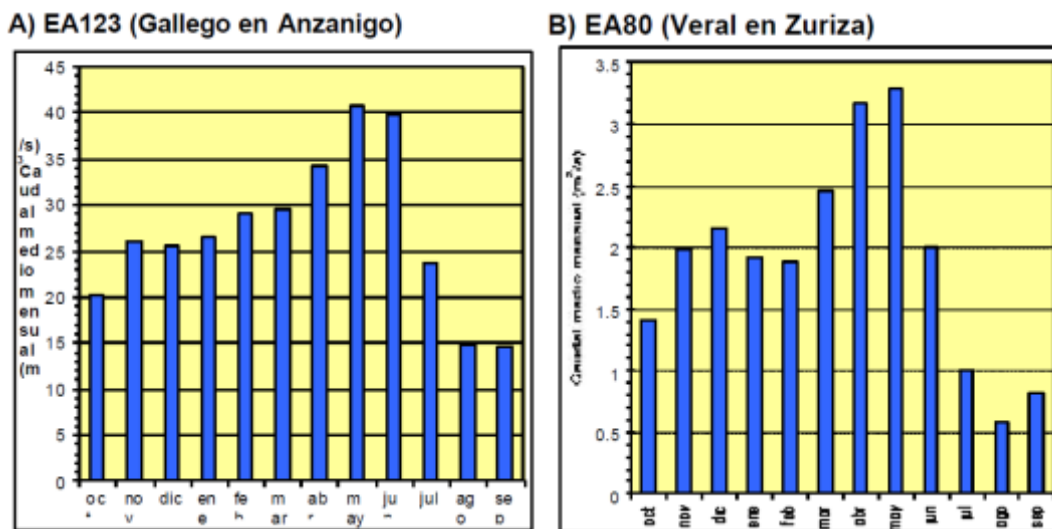


Fig. 27 : Hidrogrames mitjans mensuals per a les estacions formètriques del riu *Gallego* a *Anzánigo* (1949/50-1996/97) i del riu *Veral* a *Zuriza* (1951/52-1996/97)(Font:OPH).

