QUADERNS
DMACS nº 39

Fotografia aèria de l'any 1956 al riu Segre (paratge de Sant Julià, municipi d'Alòs de Balaguer); Font: Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire.

Ortofotomapa de l'any 2008 al riu Segre paratge de Sant Julià, municipi d'Alòs de Balaguer); Font: Institut Cartogràfic de Catalunya

METODOLOGIA PER AL DIAGNÒSTIC HIDROLÒGIC I MORFOSEDIMENTARI DE CURSOS FLUVIALS.

L'EXEMPLE DEL RIU SEGRE

RIUS
Grup de dinàmica fluvial

Universitat de Lleida

ÍNDEX

FITXA TÈCNICA..... 3

OBJECTIU GENERAL..... 4

RESUM..... 5

1. INTRODUCCIÓ..... 6

2. METODOLOGIA..... 9

2.1. Hidrologia i Règim de Crescudes

2.2. Dinàmica Fluvial

3. RESULTATS (L'exemple del Segre)..... 29

3.1. Caracterització Hidrològica General

3.2. Caracterització d'Hidrogrames de Crescuda

3.3. Evolució Morfològica del Tram Mig del Segre

4. REFERÈNCIES AL TEXT 53

ANNEX A. ESQUEMES METODOLÒGICS..... 56

ANNEX B. VALORS HABITUALS (RESULTATS)..... 58

ANNEX C. VALORS EXTREMS (RESULTATS)..... 64

ANNEX D. EVOLUCIÓ MORFOLÒGICA (RESULTATS)..... 70

FITXA TÈCNICA

Descripció: Aquest quadern s'ha preparat a partir de la informació generada durant la realització de la Tasca 2 del Projecte Bàsic del conveni entre el Centre Tecnològic Forestal de Catalunya i l'Agència Catalana de l'Aigua (CTFC-ACA CV08000251). Aquest informe es va lliurar el 10 de desembre de 2012 i, posteriorment, es va rebre l'autorització per part de l'ACA per a la seva publicació i difusió.

Elaboració: Jordi Tuset, Damià Vericat i Ramon J. Batalla (RIUS - Fluvial Dynamics Research Group, UdL-CTFC-ICRA). www.fluvialdynamics.com

Data d'edició: 10 de desembre de 2012

ISBN: 84-616-2527-7

OBJECTIU GENERAL

L'objectiu general d'aquest treball és exposar d'una manera seqüencial i integrada **mètodes de diagnosi hidrològic i sedimentari** que sovint es troben fragmentats o dispersos i que permetin avançar en l'avaluació de l'estat morfosedimentari de trams fluvials regulats per preses i extraccions d'àrids. La premissa bàsica del treball és el reconeixement que la relació fonamental entre aigua, sediments i morfologia conforma la base de la dinàmica fluvial.

Amb aquest objectiu es presenta el treball d'avaluació de l'estat morfosedimentari de trams representatius del curs mig del Segre a partir d'observacions de camp, dades hidrològiques, topografia, mostreigs granulomètrics, modelització i anàlisi de fotografia aèria antiga i actual. El tram mig del riu Segre s'ha escollit com a cas d'estudi per a la presentació dels diferents mètodes d'anàlisi, i s'ha definit entre Ponts i Alòs de Balaguer. Ponts identifica l'inici del tram aigües avall de l'embassament de Rialb i Alós de Balaguer s'ha pres com a punt final abans d'entrar al congost que porta a la confluència amb la Noguera Pallaresa (Estret de Mur). No s'ha analitzat el tram fins a Lleida perquè es tracta d'un sector molt alterat per l'entrada d'altres rius regulats, canalitzacions i trams urbans que és complicat fer un seguiment hidromorfològic del riu seguint els criteris establerts. L'estudi analitza els diferents elements responsables de l'estat hidrosedimentari del tram mig del Segre i del seu grau d'alteració actual: (a) caracterització del règim hidrològic i de crescudes, i (b) caracterització morfològica i morfosedimentària. Al final de cada major apartat s'han afegit una sèrie d'idees força que resumeixen el contingut vist fins aquell moment i serveixen de guia als lectors sobre els aspectes essencials del document. Aquestes idees força es presenten dins de requadres de color gris.

RESUM

El **Règim Natural de Cabals** (i.e. *RNC*) d'un riu, respon al rang complet de variació intra- i interanual del seu règim hidrològic, amb les seves característiques associades a una determinada magnitud, estacionalitat, durada i freqüència dels cabals; aquests elements son crítics per a mantenir la **dinàmica fluvial** i amb ella la del funcionament de l'ecosistema. Des d'un punt de vista físic les **crescudes** aporten al sistema fluvial l'energia indispensable per a que es produeixi erosió i transport de sediments a la llera, mantenint activa, d'aquesta manera, la **dinàmica morfosedimentària** del riu. Tot i així, les crescudes son un dels elements que acostumen a experimentar més modificacions amb la regulació del cabal a través dels embassaments; si la seva energia queda alterada per una disminució sostinguda en la magnitud i la freqüència, el sistema fluvial reacciona amb una reducció de la llera activa i permet a la vegetació perenne colonitzar un espai anteriorment actiu des del punt de vista morfosedimentari. L'alteració del règim de cabals de crescuda és l'element que directament més relació té amb la dinàmica sedimentaria. L'impacte sobre la morfodinàmica és variable però pot arribar a ser important depenent de l'emplaçament i del grau de regulació, així com de la gestió de les descàrregues de cabal des de les preses. En molts casos, una gestió més lligada a la dinàmica del riu aigües avall podria contribuir a minimitzar alguns dels seus efectes.

El tram mig del Segre té tres infraestructures que modifiquen el seu RNC i la seva dinàmica morfosedimentària, i.e. l'embassament d'Oliana, l'embassament de Rialb i el canal d'Urgell, que regulen i/o detrauen directament cabals del riu i alteren el transport sòlid. En aquest cas examinem l'impacte de les infraestructures sobre la hidrologia i la morfologia mitjançant tres fases de treball:

a) Caracterització hidrològica general, basada en dues etapes, encaminades a la caracterització del règim natural, com a estat de referència i a l'avaluació de l'alteració hidrològica dels cabals màxims, gràcies als índex d'alteració de crescudes. El resultat final ha estat la valoració del règim de crescudes del tram en estudi, a partir d'una metodologia adaptada del treball '*Índices de Alteración Hidrológica en Ríos*' de Martínez i Fernández (2006) i completada amb el treball de Batalla *et al*. (2004).

b) Anàlisi d'hidrogrames de crescuda, basada en l'estudi de la forma i estacionalitat de diferents hidrogrames representatius registrats a les diferents estacions d'aforament, que permeten analitzar les alteracions produïdes pels embassaments d'Oliana i Rialb.

c) Anàlisi de l'evolució morfològica, basada en l'estudi dels canvis morfològics a partir de fotografies aèries de diferents períodes. L'estudi s'inicia l'any 1956, període considerat de referència. A partir d'aquest període s'estudien els canvis en l'extensió i tipologia de les unitats morfològiques en base a l'aparició d'infraestructures de regulació i el corresponent canvi en la freqüència i magnitud de les riuades.

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Hidrologia i Règim Crescudes

El **Règim Natural de Cabals** d'un riu (i.e. *RNC*) és el resultat de la integració de tots els factors i processos a la conca de drenatge i.e. clima, topografia, geologia, sòls, vegetació, mida i forma de la conca, tipologia de la xarxa de drenatge, usos del sòl, etc. Alguns d'aquests factors es caracteritzen per la seva estabilitat en el temps, com el cas de la geologia. Els usos del sòl, pel contrari, poden experimentar canvis notables en períodes breus, com a conseqüència d'incendis, desforestació, reforestació i/o urbanització del terreny. Aquests canvis afecten el règim hidrològic, alterant les pautes d'infiltració i d'escolament a la conca i traduint-se en modificacions en els cabals de crescudes, en els temps de concentració, etc. Hi ha estudis que analitzen la tendència temporal del fluxos hidrològics en relació als canvis dels usos del sòl, per exemple a la conca de l'Ebre (e.g. Gallart *et al*., 2003 i 2004). En aquest context entenem el règim natural de cabals tal com s'ha descrit anteriorment, en contraposició al règim alterat (Règim Modificat de Cabals - *RMC*), per la regulació i/o detracció directa de cabals des de la llera. S'han fet estudis que analitzen aquestes alteracions, per exemple també al conjunt de la conca de l'Ebre (e.g. Batalla *et al*., 2004). Cal tenir present que les crescudes extraordinàries i ordinàries, i també els cabals mitjans del règim natural són els que més controlen directament el funcionament de l'ecosistema fluvial i la seva morfologia. Més concretament la morfologia del riu representa la resposta del mateix a les entrades de massa tan líquida com sòlida i a l'energia definida pel pendent de la vall per la que discorre el riu (Williams i Wolman, 1984).

El tram escollit com a exemple per aquest estudi és del riu Segre en el seu tram mig, que té tres infraestructures que alteren el seu RNC, i.e. la presa d'Oliana, la presa de Rialb i el canal d'Urgell. L'embassament d'Oliana fou construït per les Forces Hidroelèctriques del Segre, aprofitant el grau d'Oliana, amb una capacitat d'emmagatzematge de 101 hm^3. L'embassament es va dissenyar per a regular els cabals del riu, per a produir electricitat i assegurar el reg d'estiu dels canals d'Urgell. El canal d'Urgell deriva l'aigua aigües avall de Ponts, el seu tronc principal té 144 km de longitud i va iniciar la seva activitat el 1862. Finalment, l'embassament de Rialb té una capacitat de 403 hm^3 i va ser inaugurat l'any 2000; capta les aigües dels rius Segre, Rialb i Ribera Salada. Els seus principals destinataris són els canals d'Urgell i el Segarra-Garrigues, aquest darrer en fase de construcció, a més de proveir d'aigua a vuitanta nuclis de població. En aquest context els objectius del treball són:

- L'anàlisi de l'evolució del règim hidrològic al tram mig del Segre
- L'anàlisi de l'alteració al règim hidrològic en relació als embassaments d'Oliana i Rialb

En el treball es dedica un interès preferent als episodis de crescuda ja que son un component important en el manteniment i en la dinàmica hidrosedimentària. La caracterització del règim natural de cabals s'ha desenvolupat en dos fases de treball, cadascuna progressivament més centrada en les crescudes:

a) Caracterització hidrològica general
    i. Valors habituals
    ii. Valors màxims: Règim de crescudes
b) Caracterització dels hidrogrames de crescuda

Per assolir aquests objectius s'ha creat una base de dades hidrològiques actuals i històriques del tram mig del riu Segre en base a la informació existent a la base de dades "Anuario de Aforos 2008-2009" de la pàgina web del CEDEX (CEDEX, 2010). Els registres estan disponibles per a una mostra raonable de punts de control. En alguns casos les sèries es troben incompletes en anys amb episodis d'alta magnitud que són d'interès en el camp de la dinàmica fluvial; aquest fet limita el coneixement exacte de les crescudes, reduint parcialment la longitud de les sèries útils dels registres d'aforament. Tot i així, són suficients per avaluar l'alteració del règim hidrològic en relació als embassaments.

1.2 Dinàmica Fluvial

Els rius son sistemes complexes que transfereixen aigua i sediments des de les zones de capçalera fins les zones de sedimentació (Schumm, 1977). La interacció entre la dinàmica hidrològica i sedimentària determina no tan sols l'equilibri entre els processos físics (Lane, 1955) sinó també l'estat ecològic i la disponibilitat i característiques de l'hàbitat (e.g. Sambrook-Smith, 2007). De manera general, les característiques morfològiques i sedimentaries d'un riu son el resultat de la interacció entre la competència del flux (magnitud i freqüència de riuades), el subministrament de sediments (proper i d'aigües amunt) i les alteracions/modificacions antròpiques (canvis usos del sol, extraccions àrids, etc.) (Leopold *et al*., 1964). Totes aquelles alteracions que generin canvis en el règim hidrològic i sedimentari produiran una ruptura en l'equilibri dels processos morfo-sedimentaris. El riu buscarà un nou equilibri en base a la nova situació. L'assoliment d'un nou equilibri no és immediat i, després d'un *període de relaxació* en el que els efectes a l'alteració poden ser mínims (as per Petts i Gurnell, 2005), la cerca del nou equilibri pot generar efectes sobre la morfologia, sedimentologia i ecologia fluvial (e.g. Vericat i Batalla 2006; Batalla *et al*., 2006; Rinaldi *et al*., 2005; Wyzga *et al*., 2011).

El tram mig del riu Segre ha sofert nombroses alteracions antròpiques que han modificat l'equilibri entre els processos físics i l'estat ecològic. Entre aquetes alteracions cal destacar les extraccions d'àrids i la construcció d'embassaments. Les extraccions d'àrids generen un impacte puntual amb efectes que es propaguen aigües amunt i avall degut al propi punt de ruptura topogràfic que l'extracció genera. Les extraccions d'àrids també redueixen la disponibilitat de sediments a la llera, de la mateixa manera que modifiquen l'estructura sedimentaria i morfològica. Aquestes alteracions poden generar efectes sobre la disponibilitat dels recursos hídrics (e.g. sobredrenatge d'aqüífers) i sobre l'hàbitat fluvial (e.g. pèrdua de d'idoneïtat sedimentària per a la fresa dels peixos). Els embassaments alteren el règim hidrològic i específicament el de crescudes, al mateix temps que redueixen l'aportació de sediments. Aquestes alteracions generen, principalment, canvis morfològics (e.g. reducció amplada llera activa) i sedimentaris (e.g. cuirassament de la llera), que a la vegada poden afectar en l'ecologia fluvial. L'estudi morfològic abans i després de les alteracions mitjançant la comparació de fotografies aèries, conjuntament amb la caracterització del règim de crescudes per cadascun d'aquests períodes, permet analitzar la direcció i magnitud dels efectes, la distribució espacial, i la relació d'aquests amb el règim de crescudes.

En aquest context un dels objectius principals d'aquest treball és l'avaluació de la dinàmica morfològica del curs mig del Segre a partir de l'anàlisi de fotografies aèries històriques, actuals

i d'ortofotomapes. Es presenta un disseny metodològic integrat per a l'estudi de l'evolució morfològica de trams fluvial. L'estudi es composa de les següents tasques:

a) Adquisició de fotografies aèries i ortofotomapes de diferents vols representatius de l'evolució morfològica del tram mig del Segre.
b) Tractament de les imatges per a la seva georeferenciació i posterior anàlisis mitjançant un Sistema d'Informació Geogràfic.
c) Identificació, delimitació i digitalització d'unitats sedimentàries al llarg del tram del Segre.
d) Creació d'una base de dades cartogràfica digital i georeferenciada.
e) Anàlisi evolutiu de les diferents unitats sedimentàries.

De tots els components del règim natural de cabals, els cabals màxims i.e. les crescudes són els que tenen un major significat geomorfològic. Les crescudes son crítiques en la formació i l'estabilitat de la llera, mantenint-la en un equilibri dinàmic, tan en secció com en planta. La magnitud, la freqüència, la variabilitat i la duració de les crescudes tenen implicacions en la granulometria dels materials transportats i sedimentats al llarg del corredor fluvial i en la remobilització (i.e. grau de dinamisme) del llit fluvial. L'avaluació de la dinàmica morfològica a partir de l'anàlisi de fotografies aèries històriques permet arribar a una diagnosi de la dinàmica actual del riu.

2 METODOLOGIA

2.1 Hidrologia i Règim de Crescudes

2.1.1 Dades i Punts de Control (i.e. valors ordinaris i màxims)

De manera prèvia a l'anàlisi, s'han identificat els punts de control hidromètric que permetin analitzar tan l'RNC com l'RMC, en relació a la seva ubicació i als seus anys de funcionament. En el cas del Segre aquests punts són quatre estacions d'aforament, dos embasaments i un canal, tots ells localitzats en el seu tram mig, entre Organyà i la confluència amb la Noguera Pallaresa (figura 1 i taula 1).

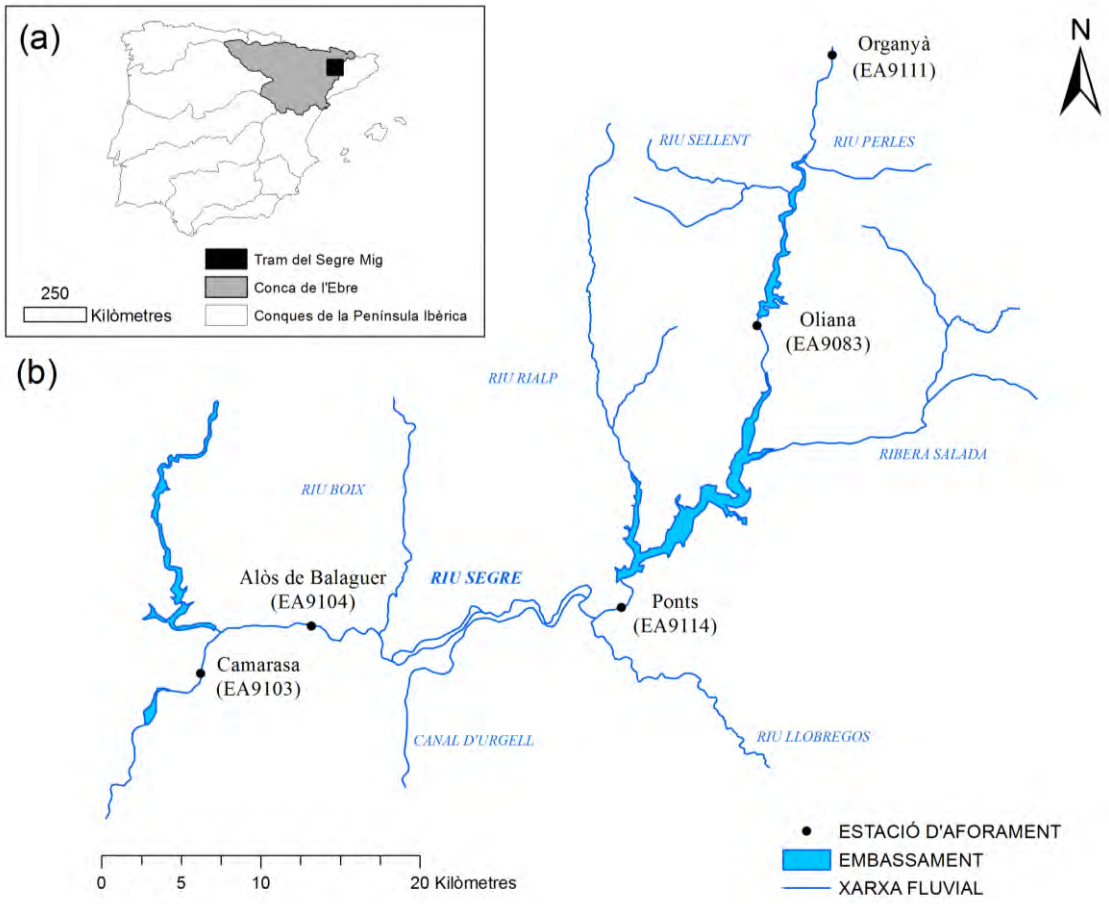


Figura 1: Mapa del tram mig del Segre amb la localització de les estacions d'aforament, els embassaments i el canal d'Urgell. Les estacions d'aforament s'identifiquen amb un punt.

Malgrat disposar de força punts de control hidromètric (taula 1), cal seleccionar aquells que proporcionin registres amb prou anys disponibles per garantir una bona representació del comportament hidrològic del tram; en aquest sentit resultarà més eficient per a l'anàlisi si els anys de les sèries completes de les diferents estacions seleccionades coincideixen el màxim possible. En el cas del Segre mig s'han estudiat diversos components de l'RNC i.e. quatre relacionats amb valors habituals i quatre en relació a valors màxims. L'objectiu és determinar els efectes dels embassaments sobre la dinàmica hidrològica (magnitud, freqüència,

estacionalitat, variabilitat i duració de les aportacions generals i de les crescudes). Per a cada component són necessàries les variables recollides a la taula 2.

Codi[1]	Punt de control	Tipus	Any d'inici	Estat actual
9111	Organyà	Estació aforament	1949	Operativa
9083	Oliana	Estació aforament	1952	Operativa
9114	Ponts	Estació aforament	1946	No operativa des de 1982
9104	Alòs de Balaguer	Estació aforament	1944	No operativa des de 1982
9862	Oliana	Embassament	1958	Operatiu
9876	Rialp	Embassament	1998	Operatiu
9411	Canal d'Urgell	Canal	1907	Operatiu

[1]Codi de les Estacions d'Aforament (EA) de la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre

Taula 1. Punts de control hidromètrics utilitzats per a estudiar els RNC i RMC del tram mig del riu Segre (veure localització a la figura 1).

Si és possible, cal fer un reompliment de les sèries de cabal per a millorar-ne el seu abast temporal. En el cas del mig Segre s'ha intentat aprofitar les sèries de cabal mig diari de les estacions d'aforament de Ponts i d'Alòs de Balaguer. La sèrie de Ponts s'ha completat amb els registres de cabal mig diari de la sortida de la presa de Rialb, donada la seva proximitat. Pel contrari, l'estació d'Alòs de Balaguer s'ha descartat ja que no ofereix resultats prou sòlids.

Etapes	Components	Aspecte	Dades de partida
Cabals Habituals	Anuals i mensuals	Magnitud	Aportacions anuals o cabal mig diari (Q_m)
		Variabilitat	Aportacions mensuals o cabal mig diari (Q_m)
		Estacionalitat	Aportacions mensuals o cabal mig diari (Q_m)
	Diaris	Variabilitat	Cabal mig diari (Q_m)
Cabals Màxims	Crescudes	Magnitud i freqüència	Màxim Cabal instantani anual (Q_{ci}) Màxim Cabal mig diari (Q_c)
		Variabilitat	Màxim Cabal mig diari (Q_c)
		Estacionalitat	Màxim Cabal mig diari anual (Q_c)
		Durada	Màxim Cabal mig diari anual (Q_c)

Taula 2. Dades necessàries per a la caracterització hidrològica dels valors habituals i màxims d'un tram de riu.

A la taula 3 s'especifica el nombre d'anys complerts, l'any d'inici i l'any final de la sèrie de dades utilitzades per cada interval. Com es pot observar cada estació té un registre d'anys diferent, fet que s'ha de tenir present a l'hora de treballar les dades conjuntament.

Anys	Organyà	Oliana	Ponts[1]
Anys Disponibles	51	50	42
Any inicial	1950	1952	1946
Any final	2005	2009	2009

[1] Sèrie hidrològica de Ponts (1946-1982) completada amb les sortides de Rialb (2000-2009)

Taula 3. Registres de dades en els punts de control hidromètric al tram mig del Segre.

2.1.2 Caracterització Hidrològica General

La metodologia emprada en la caracterització de l'estat hidrològic es basa en el treball '*Índices de Alteración Hidrológica en Ríos* (IAHRIS)' de Martínez i Fernández (2006)[1] i completat amb el treball de Batalla *et al.* (2004). D'aquesta manera aquest treball proposa un conjunt d'índexs denominats d'Alteració Hidrològica (IAH) que permeten avaluar de manera objectiva els canvis dels principals elements el règim de cabals, sobretot d'aquells amb més transcendència geomorfològica. El procés consta de dues fases encaminades a i) la caracterització del règim natural de cabals (RNC) i.e. com ha situació de referència, i ii) l'avaluació de l'alteració hidrològica (RMC) en base als IAH. El resultat final és la valoració de l'estat hidrològic del tram en estudi, en aquest d'un riu regulat. L'IAHRIS troba com a una aplicació informàtica gratuïta, que permet obtenir:

- Paràmetres per a la caracterització del règim hidrològic d'un riu.
- Índexs que valoren el grau d'alteració del règim hidrològic.
- Criteris per assignar la condició d'alteració d'una massa d'aigua (Directiva Marc de l'Aigua).
- Escenaris de règims ambientals de cabals es poden generar a partir dels patrons de l'RNC.

La caracterització hidrològica s'estructura en dos blocs (veure la figura 2 i la figura metodològica de l'annex A), un primer (RNC), que analitza el règim de cabals, en el cas del Segre a partir del registre de l'estació d'Organyà (com a únic punt de control lliure de regulació en el conjunt del tram; i un segon bloc (RMC), on s'ha avaluat l'alteració de l'RNC per les diverses infraestructures dels valors dels cabals habituals i dels valors dels cabals màxims. Posteriorment s'analitza de manera particular el règim de crescudes donat el seu significat geomorfològic.

[1] Des de l'abril del 2010 l'IAHRIS és la referència metodològica de la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente.

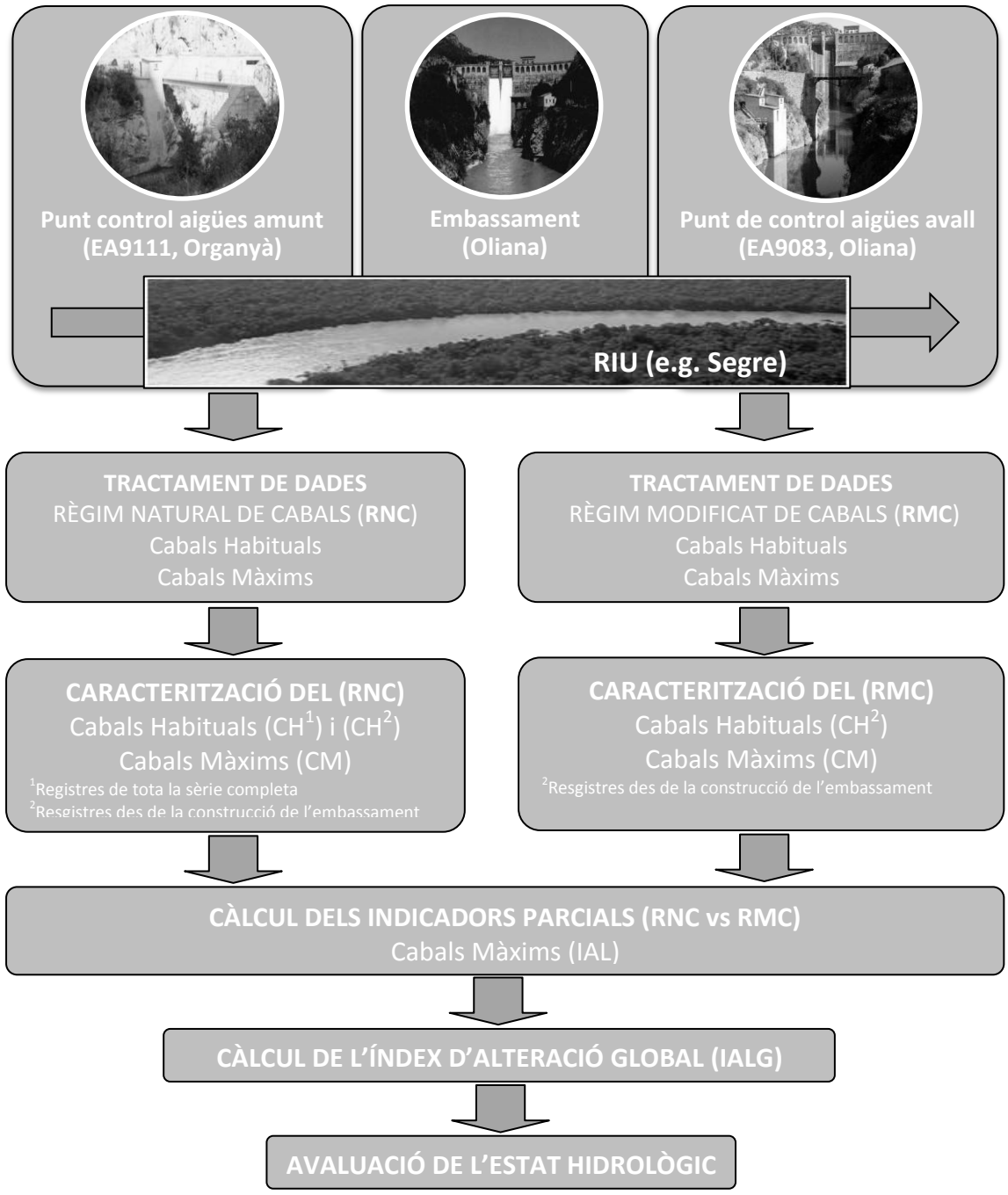


Figura 2. Diagrama per a l'avaluació de l'Alteració Hidrològica del RNC produïda per un embassament.

A tall de resum la figura 2 mostra el diagrama complet però per a l'avaluació de l'alteració de l'RNC en un tram de riu afectat per una infraestructura. Com a exemple es presenta el cas de la d'Oliana al tram mig del riu Segre.

2.1.2.1 Règim Natural de Cabals (RNC)

En aquest bloc es caracteritza el règim natural de cabals a partir de tota la sèrie de registres disponibles dels cabals mitjans diaris de l'estació d'Organyà, únic punt de control lliure de

d'alteracions hidrològiques. S'efectua una anàlisi dels valors anuals, mensuals i diaris amb l'objectiu de determinar les característiques bàsiques del règim hidrològic (i.e. magnitud, freqüència, estacionalitat, variabilitat i duració de les aportacions hídriques).

a. Magnitud, variabilitat i estacionalitat de les aportacions anuals i mensuals

Les aportacions anuals i mensuals no s'associen generalment de manera directa a processos geomorfològic, però aporten informació en el cas de rius regulats de l'efecte de les preses sobre les aportacions globals de l'any hidrològic. Els paràmetres que es tenen en compte son:

- *CH1.1.Magnitud* de l'escolament. S'analitza a partir de les aportacions mitjanes anuals i mensuals, calculant per a cada any la mitjana de les aportacions de la sèrie completa d'anys disponibles, i per a cada mes la mitjana de les aportacions mensuals de la sèrie completa d'anys disponibles sense realitzar cap diferenciació entre anys secs, normals i humits.
- *CH1.2.Variabilitat* intranual de l'escolament. S'analitza a partir de la diferència entre l'aportació mensual màxima i la mínima de l'any. Aquest valor respon al comportament del sistema fluvial sotmès al règim climàtic de la conca aigües amunt de l'embassament, i reflecteix l'amplitud hidrològica del riu (força alta en el cas del Segre). La variabilitat és important per als processos físics a la llera. La geometria de la llera del riu respon a l'energia dels cabals circulants i a la seva distribució en el temps, principalment durant crescudes i cabals alts.
- *CH1.3.Estacionalitat*. Fa referència als mesos de màxima i mínima aportació al llarg de l'any.

b. Variabilitat diària

La corba de cabals classificat o corba de freqüència de cabals permet analitzar la variabilitat diària. Aquesta corba mostra el tipus de règim d'un riu, indicant més torrencialitat quan més pendent sigui la corba. Aquest és l'instrument que millor representa la variabilitat de cabals al llarg de l'any, indicant el % de temps que, com a mitjana, un determinat cabal és igualat o superat. Aquesta corba permet identificar els valors mitjans i màxims de cabal en el conjunt del règim. Aquesta eina també permet comparar la durada dels cabals en entre diferents trams de riu i/o rius diferents.

- *CH2.1.Variabilitat diària.* Per a representar la variabilitat diària de cabals (VDC) és fa servir el quocient entre la diferència dels percentils 90% i 10% i la mediana (50%) (e.g. Puckridge *et al*., 1998; Growns i Marsh, 2000):

$$\frac{(Q_{90} - Q_{10})}{Q_{50}} = VDC$$

2.1.2.2 Règim Modificat de Cabals (RMC)

En aquest bloc s'avalua el règim modificat dels cabals **Habituals (RMC-1)** i **Màxims (RMC-2)**, en l'exemple del Segre en relació als embassaments d'Oliana i Rialb, i posteriorment al canal d'Urgell. Per a fer aquest treball cal identificar dos punts de control per a cada embassament (aigües amunt i avall), si és possible amb la mateixa disponibilitat de dades. El grau d'alteració es relaciona amb (*AL1.1*) l'Índex de Regulació IR (Batalla *et al*., 2004), pres com a indicador de la capacitat d'alteració de l'RNC per les preses. L'IR es representa com el quocient entre l'aportació anual mitja i la capacitat de l'embassament, expressat com una fracció adimensional.

RMC-1. Cabals Habituals (AL)

Etapa centrada en la l'avaluació de l'alteració hidrològica per la regulació del règim dels cabals habituals (o mitjans).

a. Magnitud, variabilitat i estacionalitat de les aportacions anuals i mensuals

En el cas d'Oliana, disposem de l'estació d'Organyà aigua amunt, i l'estació d'Oliana aigua avall. A Rialb, l'estació d'Oliana passa a ser l'estació d'aigua amunt i el punt de control de la sortida de la presa de Rialb passa a ser el d'aigua avall; principalment busquem si la construcció o gestió d'aquestes infraestructures han alterat els valors del paràmetre estudiat. Els paràmetres que es tenen en compte per valorar l'alteració son (*AL*):

- *AL1.2.Magnitud* anual de l'escolament. Es calcula la mitjana anual de les aportacions en cada punt de control durant els anys previs a la construcció de l'embassament; d'aquesta manera permet, a posteriori, avaluar anualment si es produeix una distorsió en el règim circulant de les aportacions anuals respecte el règim natural, alteració que es produeix quant les entrades difereixen de les sortides en el còmput anual. Aquest fenomen és habitual sobretot després d'un episodi de sequera on els embassaments han quedat buits i sense reserves.
- *AL1.3.Variabilitat* mensual de l'escolament. Es compara el comportament hidrològic mensual dels dos punts de control calculant el coeficient de correlació dels registres mensuals (Batala *et al.*, 2004) (per exemple, un valor negatiu indica una inversió del règim de cabals).
- *AL1.4.Variabilitat* interanual de l'escolament. S'analitza a partir de la diferència entre l'aportació mensual màxima i mínima de l'any en situació de RNC i RMC.
- *AL1.5.Estacionalitat*. S'examina la desviació entre RNC i RMC entre els punts de control en relació al mes amb la màxima i la mínima aportació hídrica.

b. Variabilitat diària

- *AL2.1.Variabilitat diària.* Per a representar la variabilitat diària de cabals en règim modificat (VDC') és fa servir el quocient entre la diferència dels percentils 90% i 10% i

la mediana (50%). La relació entre VDC i VDC' indica el grau l'alteració del règim diari aigües avall de la presa.

RMC-2. Cabals Màxims (CM)

L'anàlisi dels cabals màxims (crescudes) es realitza en base a dos elements principals i) el màxim cabal mig diari anual (Q_c) i, si se'n disposa, el cabal màxim instantani anual (Q_{ci}) i, ii) el cabal màxim ordinari donat pel percentil d'excedència del 5% (Clausen i Biggs, 2000; Baeza *et al*., 2003; Baker *et al.*, 2004; Batalla *et al*., 2004) en una corba de cabals classificats. Les variables que s'han analitzat son:

- Magnitud i freqüència dels cabals màxims
- Variabilitat, estacionalitat, i durada dels cabals màxims (explicant en apartats successius)

Amb l'objectiu d'avaluar l'alteració dels embassaments sobre les crescudes, l'anàlisi fa ús d'indicadors d'alteració. Aquests indicadors treballen amb els registres de dades de dos punts de control, un situat aigües amunt i un altre aigüe avall de l'embassament (per exemple, per a la presa de Rialb emprem les sèries de dades de l'estació d'Oliana i les de la sortida de la presa de Rialb). En cada cas, l'anàlisi es basa en la comparativa dels paràmetres explicatius (e.g. cabal formatiu, cabal de la crescuda habitual, etc.) dels diferents aspectes (magnitud, freqüència, etc.) emprats per analitzar el règim de cabals entre els punts de control de cada embassament, utilitzant pel càlcul dels paràmetres només aquelles anys on les dues estacions guardin sèries complertes d'anys coincidents.

La desviació dels cabals màxims en RNC i en RMC s'ha examinat també a partir dels índexs proposats per Martínez i Fernández (2006) i Batalla *et al*. (2004) i aplicat en aquest treball només a crescudes. Aquests índexs relacionen les crescudes amb la dinàmica hidrosedimentària i permeten avaluar el grau de desviació en rius sotmesos a regulació. Finalment, s'han utilitzat una sèrie d'índexs per a mesurar el grau d'alteració dels cabals entre RNC i RMC. Els índexs d'alteració (IAL) utilitzats es defineixen com el quocient entre el valor del paràmetre RNC i en RMC. Aquests índexs segueixen recomanacions del CIS-WDF (2003) referent als EQR (*Ecological Quality Ratios*). L'estacionalitat no es pot expressar a través d'aquests IAL. Els IAL es mouen en el rang 0>IN<1, essent 0 l'expressió de l'alteració màxima i 1 l'absència d'alteració. Tot hi això hi ha la possibilitat que es superi la unitat (0>i>1), i en aquests casos se li assignarà el número invers (per exemple, l'índex del la magnitud del cabal bankfull per a l'embassament d'Oliana entre els anys 1958-2005 és de 1,10, en aquest cas se li assignarà l'invers que correspon a 0,91).

a. Magnitud - Freqüència

La magnitud i la freqüència de les crescudes son els elements responsables del manteniment de la forma i la geometria de la llera, i de mantenir la granulometria del substrat en equilibri dinàmic en relació al pendent del riu. La magnitud i la freqüència es poden caracteritzar a partir dels següents paràmetres:

- *CM1.1.Mitjana dels cabals màxims diaris anuals* ($\overline{Q_C}$), com a indicador de la magnitud i de la freqüència de les crescudes. La distribució al llarg del temps d'aquesta variable extrema permet definir els períodes de recurrència hidrològica del punt de control en cada tram del riu estudiat.

- *CME1.2.Cabal Formatiu* o Generador (Q_{Bank}) correspon al cabal geomorfològicament dominant que conforma la geometria del canal principal ple o *bankfull*. Aquest cabal es pot estimar a partir de formules estadístiques a partir de cabals màxims diaris anuals; a més d'aquestes equacions empíriques hi ha la possibilitat d'estimar el cabal, també anomenat cabal de màxima crescuda ordinària, a partir de la geometria del canal, de la presència de vegetació perenne i de les característiques granulomètriques del llit i dels marges (e.g. Williams 1978), entre d'altres elements fluvials. El CEDEX al seu manual '*Aspectos prácticos de definición de la máxima crecida ordinària'* (MIMAM, 2003) proposa l'expressió següent per al càlcul de la Màxima Crescuda Ordinària (Q_{MCO}):

$$Q_{MCO} = (Q_C) \times (0.7 + 0.6 \times CV(Q_C)) \cong Q_{Bank}$$

on

Q_{MCO} = Cabal corresponent a la Màxima Crescuda Ordinària

Q_{Bank} = Cabal *bankfull*, de llera plena o formatiu

(Q_c) = Mitjana de la sèrie de cabals màxims mitjans diaris anuals (si és possible, és recomanable l'ús del Q_{ci}).

CV (Q_c) = Coeficient de variació de la sèrie de màxims cabals mitjans diaris anuals

- *CM1.3.Crescuda Habitual*, presa com a paràmetre que delimita l'inici del transport de materials fins (< 2 mm) de la llera del riu, emprat per diversos autors com el cabal mínim necessari per considerar un augment del cabal circulant com una crescuda (e.g. Schmitd i Potyondy, 2004). Amb aquest objectiu s'ha escollit el percentil del 5% de la corba de cabals classificats per discriminar el cabal de crescuda habitual (Clausen i Biggs, 2000; Baeza *et al*., 2003; Baker *et al*., 2004; Batalla *et al*., 2004). Aquest percentil representa el cabal igualat o superat 18 dies a l'any, essent ja un fenomen de certa magnitud i de recurrència.

Els índexs d'alteració (*IAL*) permeten avaluar la desviació entre paràmetres que designen la magnitud i la freqüència de crescudes aigües amunt i avall de de l'embassament (i/o abans i després de la construcció d'una presa en el mateix punt de control):

- *IAL1.1.Índex de les Crescudes Màximes*: Avalua el grau d'alteració en el valor mig de les crescudes màximes:

$$I_{AM} = \frac{\overline{(Q_c)_{RMC}}}{\overline{(Q_c)_{RNC}}}$$

on,

$\overline{(Q_C)}_{RMC}$ = Mitjana dels màxims cabals mitjans diaris anuals de la sèrie disponible en RMC.

$\overline{(Q_C)}_{RNC}$ = Mitjana dels màxims cabals mitjans diaris anuals de la sèrie disponible en RNC.

Es pot considerar indicatiu també de l'alteració en la freqüència d'aquestes avingudes, atesa la relació existent entre Q_c (o Q_{ci} en el seu cas) i el període de retorn. En el cas que es disposi de registres de cabals màxims instantanis (Q_{ci}) en dues estacions de control aigües amunt i avall de la presa podem aplicar el mateix índex per a crescudes amb períodes de retorn concrets e.g. $T_{5,10,25,50}$, on T expressa el període de retorn en anys.

- *IAL1.2.Índex del Cabal Bankfull (o formatiu):* Avalua el cabal responsable de la forma de la llera i el processos de transport:

$$I_{Bank} = \left(\frac{Q_{Bank\,RMC}}{Q_{Bank\,RMC}} \right)^{0.5}$$

on,

$Q_{Bank\ RMC}$ = Cabal *bankfull* (o formatiu) corresponent al règim alterat
$Q_{Bank\ RNC}$ = Cabal *bankfull* (o formatiu) corresponent al règim natural

- *IAL1.3.Índex de les Crescudes Habituals:* Avalua l'alteració en el valor de la crescuda habitual entre els dos règims.

$$I_{CH} = \frac{Q_{H_RMC}}{Q_{H_RNC}}$$

on,

$Q_{H\ RMC}$ = Crescuda habitual en règim alterat
$Q_{H\ RNC}$ = Crescuda habitual en règim natural

b. <u>Variabilitat - Estacionalitat - Duració</u>

La variabilitat interanual juga un paper director en la dinàmica geomorfològica dels rius. Per exemple, Thoms i Sheldon (2002) constaten les afeccions derivades d'una pèrdua de variabilitat, destacant a nivell geomorfològic la modificació dels processos d'erosió i sedimentació, la reducció de la funcionalitat dels meandres, i la pèrdua de variabilitat hidràulica a la llera i en la plana d'inundació. L'estacionalitat pren interès geomorfològic en el moment que aquestes alteracions produeixen canvis en la dinàmica hidrosedimentària en confluències per la pèrdua de sincronia amb els tributaris (Brizga *et al*., 2001). Les alteracions en la dinàmica hidrosedimentària derivades de distorsions en la duració de les avingudes pot produir la pèrdua de ràpids com a hàbitats de qualitat (Poff *et al*., 1997) o canvis geomorfològics com el tall de meandres o les migracions laterals (Richter i Richter, 2000). Finalment, una menor durada de les crescudes implica una menor capacitat erosiva, de

transport de sediments i sedimentària. La caracterització d'aquests elements hidrològics dels següents paràmetres:

- *CM2.1.Variabilitat*: *Coeficient de variació dels màxims cabals diaris anuals* i.e. CV (Q_c)

- *CM2.2.Variabilitat*: *Coeficient de variació dels cabals corresponents a la crescuda habitual* CV ($Q_{5\%}$)

- *CM2.3.Estacionalitat*: *Nº de dies al mes amb cabals mitjos diaris superiors al* $Q_{5\%}$

- *CM2.4.Durada*: *Màxim número de dies consecutius amb un cabal mig diari superior al* $Q_{5\%}$

El grau d'alteració d'aquests paràmetres s'han analitzat, com en el cas de la magnitud i la freqüència, amb un seguit d'Índexs d'Alteració (IAL) que mesuren el canvi agües avall de les preses.

- *IAL2.1.Índex de Variabilitat de les crescudes màximes diàries anuals*:

$$I_{VarQc} = \frac{CV(Q_C)_{RMC}}{CV(Q_C)_{RNC}}$$

on,

$CV(Q_c)_{RMC}$ = Coeficient de variació de la sèrie de màxims cabals mitjos diaris anuals corresponents a RMC

$CV(Q_c)_{RNC}$ = Coeficient de variació de la sèrie de màxims cabals mitjos diaris anuals corresponents a RNC

- *IAL2.2.Índex de Variabilitat de les Crescudes Habituals*:

$$I_{VarCH} = \frac{CV(Ch)_{RMC}}{CV(Ch)_{RNC}}$$

on,

$CV(Ch)_{RMC}$ = Coeficient de variació de la sèrie de valors corresponents a la crescuda habitual en RMC

$CV(Ch)_{RNC}$ = Coeficient de variació de la sèrie de valors corresponents a la crescuda habitual en RNC

- *IAL2.3.Índex d'Estacionalitat de Crescudes*:

$$I_{Esta} = 1 - \left[\frac{\left(N_mesos_amb_n_dies = 0_en_R.Alterat_i_N_dies \neq 0_en_R.Natural \right)}{12} \right] +$$

$$+ \left[\frac{\left(N_mesos_amb_n_dies \neq 0_en_R.Alterat_i_N_dies_en_R.Natural \right)}{12} \right]$$

on,

N_mesos_amb_n_dies=0_en_RMC_i_N_mesos_amb_n_dies≠0_en_RNC: Número de mesos del RMC sense cap dia amb un cabal superior al Cabal de Crescuda Habitual (Q_H) mentre que en el RNC si que s'observa dins en el mateix mes un cabal superior al Cabal de Crescuda Habitual .

N_mesos_amb_n_dies≠0_en_RMC_i_N_mesos_amb_n_dies=0_en_RNC: Número de mesos del RMC que contenen algun dia amb un cabal superior al Cabal de Crescuda Habitual ($Q_{5\%}$) mentre en el RNC no en trobem cap .

- *IAL2.4.Índex de durada de crescudes*

$$I_{Duració} = \frac{\left(Max_n_dies_amb_Q \succ Q_{5\%} \right)_{RMC}}{\left(Max_n_dies_amb_Q \succ Q_{5\%} \right)_{RNC}}$$

On

Max_n_dies_amb_Q>$Q_{5\%}$: Quantitat màxima de dies consecutius amb un Q > $Q_{5\%}$

Correspon al quocient entre el nº màxim de dies amb un Q superior al $Q_{5\%}$ en règim alterat amb el règim natural.

2.1.3 Índex d'Alteració Global (IALG)

Una vegada han estat caracteritzats els diferents aspectes hidrològics objecte d'anàlisi i calculats els índexs d'alteració corresponents, cal integrar-los per obtenir una valoració global (i.e. Índex d'Alteració Global – *IALG*). A la figura 3 s'observa que el valor assignat a qualsevol índex en RNC és 1. La representació gràfica de la sèrie de valors de la taula 4 en un pla amb tants eixos com índexs, donaria com a resultat dos polígons: i) el de la línia blava correspon als valors obtinguts per règim natural (1 per a tots ells) i, ii) el de la línia vermella als valors dels índex d'alteració parcials obtinguts en RMC de cada variable analitzada (a_i – a_j – a_k – a_l –a_m – a_n - a_o respectivament). Donada una seqüència determinada d'índexs d'alteració (que en aquest cas tenim: IAL1.1. – IAL1.2. - IAL1.3. – IAL2.1.– IAL2.2.– IAL2.3. - IAL2.4.), l'Índex d'Alteració Global (*IALG*) es calcula com el quocient entre l'àrea definida pel polígon de RNC i el de l'àrea de RMC.

Codi Índex	Valor índex	Valor del RNC
IAL1.1.	a_i	1
IAL1.2.	a_j	1
IAL1.3.	a_k	1
IAL2.1.	a_l	1
IAL2.2.	a_m	1
IAL2.3.	a_n	1
IAL2.4.	a_o	1

Taula 4: Càlcul de l'Índex de Alteració Global (IALG) a partir dels diferents índexs parcials.

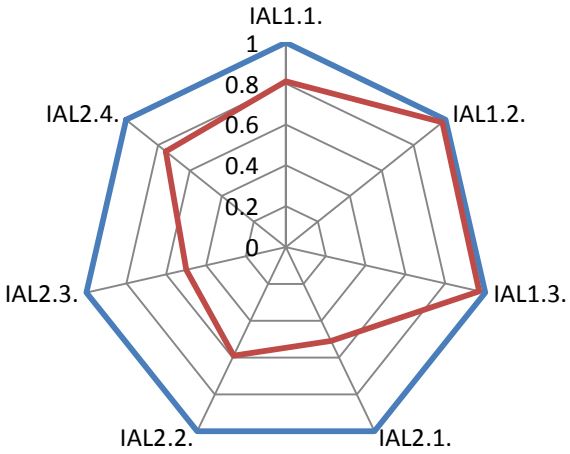


Figura 3: Representació gràfica de la dispersió entre índexs en RNC i RMC (i.e. línia blava correspon als valors obtinguts per règim natural i la línia vermella als obtinguts en règim alterat).

L'Índex d'Alteració Global (IALG) es calcula a partir de l'equació:

$$IAG = \frac{S_{RMC}}{S_{RNC}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} a_i * a_i + 1 * \text{sen}\frac{2\pi}{n}}{n * \left[\frac{1}{2}\text{sen}\frac{2\pi}{n}\right]} = \cdots = \frac{(\sum_{i=1}^{n} a_i)^2 - \sum_{i=1}^{n} a_i^2}{n(n-1)}$$

on,

S_{RMC} = superfície definida pel polígon en RMC
S_{RNC} = superfície definida pel polígon en RNC

a_i = el valor resultant que pren cada índex alteració parcial
n = nombre d'índexs d'alteració parcial que avaluen un aspecte del règim de cabals (en aquest cas 7)

2.1.4 Definició de l'Estat Hidrològic

Amb l'objectiu d'oferir una valoració no només quantitativa sinó també qualitativa del grau d'alteració hidrològica d'un tram de riu, es proposen cinc nivells o estats hidrològics, definits

seguint les recomanacions respecte a nivells i assignació de colors recollits en el document CIS-WFD (EU Common Implementation Strategy -CIS for the Water Framework Directive –WFD, 2003) en el seu epígraf 2.6 per a la classificació de l'estat ecològic a partir dels Ecological Quality Ratios (EQR). En aquest treball s'ha adoptat una distribució equitativa de les cinc classes propostes entre 0 i 1. La taula 5 resumeix els criteris de representació i d'assignació dels diferents estats d'alteració hidrològica deduïts a partir dels diferents índexs parcials:

ESTAT D'ALTERACIÓ HIDROLÒGICA, Índex Parcials (IAL)				
BAIX 0,8< IAL ≤1	MODERAT 0,6<IAL ≤0,8	IMPORTANT 0,4<IAL ≤0,6	SEVER 0,2<IAL ≤0,4	MOLT SEVER 0≤IAL ≤0,2

Taula 5. Escala de colors i valors corresponents dels índexs d'alteració parcials (IAL) pels diferents estats hidrològics.

Respecte a l'Índex d'alteració global (taula 6) s'obtenen els següents criteris de representació i d'assignació (cal recordar la relació quadràtica existent entre els índexs d'alteració parcials i globals):

ESTAT D'ALTERACIÓ HIDROLÒGICA, Índex Globals (IALG)				
BAIX 0,64<IALG≤1	MODERAT 0,36<IALG≤0,64	IMPORTANT 0,16<IALG≤0,36	SEVER 0,04<IALG≤0,16	MOLT SEVER 0≤IALG≤0,04

Taula 6. Escala de colors i valors corresponent a l'índex d'alteració global (IALG) per als diferents estats hidrològics.

2.1.5 Caracterització d'Hidrogrames de Crescuda

La disponibilitat de dades fiables és un requisit indispensable per a qualsevol tipus d'anàlisi hidrològic, en particular, d'aquell relacionat amb esdeveniments extrems, en els que l'error, i la presència i/o absència d'una dada concreta, pot alterar notablement la magnitud i freqüència amb la que es qualifiqui finalment un esdeveniment. L'objectiu d'aquest apartat es caracteritzar i analitzar les crescudes com a element generador de processos morfosedimentaris. Amb aquest propòsit s'han analitzat parelles d'hidrogrames, registrats aigües amunt i avall de l'impacte, en aquest cas els embassaments d'Oliana i Rialb. Els hidrogrames s'han classificat en dos grups en funció de la seva potencial repercussió sobre la geomorfologia del riu. Per un costat hi ha les **crescudes ordinàries** amb cabals superiors al percentil d'excedència del 5% de la corba de cabals classificats considerades d'alta freqüència (Clausen i Biggs, 2000; Baeza *et al*., 2003; Baker *et al*., 2004; Batalla *et al*., 2004); i per un altre tenim les **crescudes extraordinàries** que es prenen com aquelles amb cabals superiors al cabal de llera plena (*bankfull*, o formatiu), que tenen un període de retorn més elevat (inferior a 2 anys). L'anàlisi s'ha portat a terme a partir de les dades de cabal de freqüència quinceminutal (i.e. registre actualment actiu i que funciona des del gener del 1997 mitjançant el SAIH) disponible a les estacions d'Organyà i Oliana, i des del 2004 a la sortida de l'embassament de Rialb; i en el cas de la crescuda del novembre del 1982 les dades de cabal tenen una freqüència horària (font: Puigdefàbregat, 1983).

L'estació d'aforament d'Organyà (EA9111) és el punt de control on s'ha pogut definir el $Q_{5\%}$ i Q_{Bank} sense alteració de l'RNC de tot el tram, ja que està aigües amunt dels embassaments i, a més a més, recull una sèrie de 51 anys de cabals (1950-2005). Les crescudes ordinàries tenen cabals prou grans per activar el transport del sediment a la llera del riu però sense capacitat suficient per definir de nou la geometria de la secció transversal ni el patró general de drenatge. En canvi, els cabals de les crescudes extraordinàries aporten prou energia al sistema per trencar l'equilibri del patró morfològic de referència definit pel nivell *bankfull*. El cabal corresponent a les crescudes extraordinàries dels registres d'Organyà serveixen com a llindar per identificar aquells cabals que ompliran el canal del riu arribant a ocupar parcialment o totalment la plana d'inundació, caracteritzats per aportar màxima eficiència en la dinàmica geomorfològica del sistema. La tasca principal d'aquesta anàlisi és l'estudi de parelles d'hidrogrames, aigües amunt i avall de l'embassament, per tal d'identificar i relacionar: i) l'estacionalitat, ii) la variació de la magnitud del pic de l'hidrograma, iii) el comportament de l'ona de l'avinguda enfront unes condicions de inicials i, iv) la variació de la forma de l'hidrograma de sortida.

2.2 Dinàmica Fluvial

En aquest apartat es descriuen els materials i mètodes emprats per al tractament de les fotografies aèries, així com la descripció de la tipologia d'unitats morfològiques utilitzada per fer l'anàlisi evolutiu (veure la figura metodològica de l'annex B),.

2.2.1 Elecció de les Fotografies Aèries i els Ortofotomapes

L'elecció de les fotografies aèries està determinat pel nombre de períodes temporals que es vulguin analitzar i, amb major mesura, per la disponibilitat d'imatges. En el cas de que es disposi de més d'una fotografia per a cadascun dels períodes que es vulgui analitzar serà necessari tenir en compte:

(a) el regim de crescudes entre les diferents opcions (i.e. més episodies competents → més dinàmica morfològica),

(b) la qualitat de les fotografies (e.g. altura vol o resolució píxel),

(c) la tipologia (e.g. blanc in negre, color) i, finalment

(d) el format en el que es poden adquirir (i.e. paper o digital).

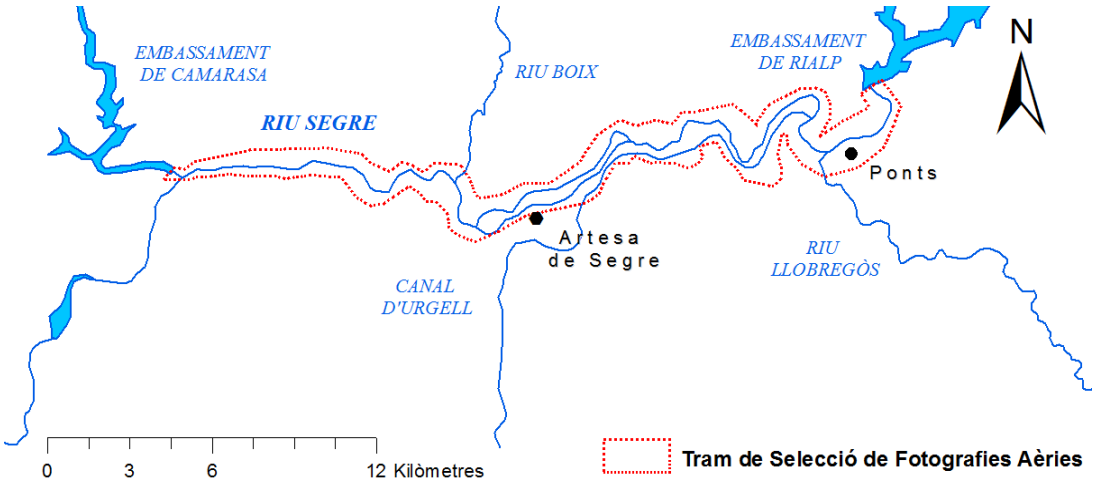


Figura 4. Tram seleccionat per a l'estudi del diagnòstic sedimentari Segre Mig. Recorregut delimitat pels municipis de Ponts, aigües avall de l'embassament de Rialb, i el d'Alós de Balaguer, just aigües amunt de l'Estret del Mu, congost que porta a la confluència amb la Noguera Pallaresa.

En el cas del mig Segre, s'ha fet la cerca de fotografies (i.e. contactes) que englobin el tram que transcorre des de l'embassament de Rialb fins l'embassament de Camarasa (Figura 4). De manera específica, aquests han estat els criteris emprats en la selecció de fotografies aèries per aquest estudi:

- Abast: de l'embassament de Rialb a l'embassament de Camarasa.
- Periodicitat: sèries separades per intervals temporals inferiors a 10 anys, o que coincidissin amb la posada en funcionament d'un embassament, o fossin realitzades just després d'una gran crescuda.

- Tipologia i format: fotografies aèries en format paper, digital i ortofotomapes digitals.
- Escala: valor mínim d'e 1:32.000; mínima variabilitat possible entre escales per tal de mantenir les incerteses de càlcul entre fotografies.

La taula 7 recull els criteris de selecció per a l'adquisició de les fotografies aèries i ortofotomapes.

Any	Escala	Format	Tipologia	Vol (Data)	Proveïdor/Lloc cerca
1956-57	1:30000	Paper	Fotografies aèries	21/04/1957 i 29/06/1957	Universitat de Geologia (UB)
1975	1:18000	Paper	Fotografies aèries	Octubre 1975	Institut Cartogràfic de Catalunya
1982-83	1:13500	Paper	Fotografies aèries	14/12/1982 i 02/02/1983	Institut Cartogràfic de Catalunya
1992-93	1:22000	Paper	Fotografies aèries	14/07/1992 i 20/06/1993	Institut Cartogràfic de Catalunya
1999	1:32000	Paper	Fotografies aèries	10/08/1999	Institut Cartogràfic de Catalunya
2008	1:5000	Digital	Ortofotomapes	Desembre 2008	Institut Cartogràfic de Catalunya

Taula 7. Criteris de selecció per a l'adquisició de fotografies aèries i ortofotomapes

En total s'han adquirit 41 contactes que posteriorment han estat escanejats amb un escàner d'alta resolució (600 dpi). Aquests contactes han estat georeferenciats mitjançant un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG).

2.2.2 Georeferenciació de les Fotografies Aèries

Per a la georeferenciació de les imatges s'ha utilitzar l'extensió *Georeferencing* de l'ArcMap 9.3®. Tot i això, en l'actualitat existeix un seguit de programari lliure que permet desenvolupar aquestes tasques seguint els mateixos algoritmes de pots-procés. La correcció s'ha realitzat sota una òptica bidimensional utilitzant punts de control (i.e. GCP) coincidents entre fotografies. El número de punts de control oscil·la entre 22 i 87 per imatge. La variabilitat en el nombre de GCPs està influenciada per la presència d'elements fixes coincidents, sent menor en zones agrícoles i boscoses on es difícil realitzar aquesta identificació. S'ha obtingut la coordenada geogràfica d'aquests punts de control mitjançant l'ortofotomapa de 2008 (en aquest treball l'anomenarem ortofotomapa de base; taula 7). El sistema de coordenades utilitzat ha estat l'UTM (31N) amb el sistema de referència ED50 i l'el·lipsoide de Hayford de 1924. Les coordenades de localització X-Y dels píxels corresponents als punts de control per a cadascuna de les imatges digitals han estat transformades a coordenades UTMX-UTMY. Per a la transformació s'han utilitzat mètodes de transformació no polinomials: *Spline* i *Adjust*. Mitjançant la transformació *Spline* es realitza un triangulació entre els GCPs, el que permet transformar les coordenades en base a models de transformació locals enlloc d'un model conjunt per a tota la imatge. El mètode *Adjust* optimitza la precisió de la transformació al

voltant dels punts de control i també a les zones allunyades d'aquests. El procés de transformació d'aquest mètode consta de dues fases: (a) aplicació d'una primera transformació global en base a un polinomi i utilitzant tan sols una part dels GCPs i, posteriorment, (b) ajust de la transformació al voltant dels punts de control mitjançant una triangulació entre aquests utilitzant la resta de GCPs (aquest segona transformació es similar a la que es realitza a la del Spline; mes detalls a la documentació d'ArcMap®). El resultat ha estat l'obtenció d'imatges geomètricament corregides a una mida de píxel que oscil·la de 1,5 × 1,5 metres a 3 × 3 metres.

El procés de correcció de les fotografies aèries implica certs errors i incerteses de càlcul. Pel que fa a les incerteses, tot i que és difícil quantificar la seva influència, és necessari que siguin considerades per tal d'avaluar i certificar la qualitat dels resultats. En el cas d'aquest treball, les principals incerteses recauen en (a) la distorsió de les imatges en el moment de ser escanejades, (b) la precisió de la localització dels punts de control i (c) la no consideració dels efectes del relleu sobre la georectificació. Per tal de minimitzar el màxim la distorsió de les imatges durant el procés d'escaneig s'ha utilitzat un escàner d'alta resolució d'impremta escanejant a una resolució de 600 dpi. La precisió en la localització dels GCPs estarà, en major mesura, determinada per la resolució de l'ortofotomapa de base: l'ortofotomapa a partir del que es seleccionen i s'obtenen les coordenades de cada punt de control. Específicament, influenciarà la mida real dels punts de control en relació a la mida de píxel de l'ortofotomapa de base. Si els elements coincidents entre fotografies no son nítids degut a que la mida d'aquests es inferior a la mida de píxel, la qualitat de la coordenada dels GCPs serà menor i, conseqüentment, l'error de transformació podria no només estar influenciat pel model de transformació utilitzat, sinó també per la incertesa de les coordenades de control. En el cas d'aquest estudi aquesta consideració s'ha tingut en compte mitjançant l'elecció de GCP nítids en tot el rang d'escales de treball, reduint així els graus d'incertesa del procés de transformació. Per últim, degut a que es tracta d'un estudi morfològic en el que la variabilitat o complexitat topogràfica al voltant de la llera és mínima, es considera que els errors de georectificació associats al relleu en les zones d'anàlisis són relativament baixos i no afecten substancialment els resultats de l'estudi evolutiu.

La qualitat de la transformació s'ha avaluat mitjançant l'Error Mig Quadràtic dels residuals de cadascun del GCPs (EMQ o també conegut com RMSE):

$$EMQ = \sqrt{\frac{{e_1}^2 + {e_2}^2 + \ldots + {e_n}^2}{n}}$$

on e_i és l'error del GCPi calculat com la diferència entre la localització real del GCPi i l'obtinguda per al mateix punt un cop la fotografia està transformada. L'error e_i correspon a un vector (xi, yi) que indica la discrepància (e_{xi}, e_{yi}) en la localització del GCPi en una fotografia georeferenciada en base a les coordenades reals del mateix.

Els EMQs tindran com a unitat el metre en el cas que s'utilitzin coordenades UTM per a la localització dels GCPs. Tot i això, es necessari remarcar que l'EMQ no correspon a l'error absolut de transformació de la fotografia. Tal i com s'ha indicat anteriorment, hi ha diferents factors que controlen el grau d'incertesa d'aquest procés i, conseqüentment, determinaran

conjuntament amb l'EMQ l'error total de transformació. L'EMQ dels 41 contactes georeferenciats oscil·la entre 0,1 i 1,24, amb una mitjana de 0,3 metres i una desviació estàndard de 0,28 m. La mitjana de l'EMQ oscil·la entre el 10% i el 20% de la mida de píxel de les fotografies un cop georeferenciades.

Per a l'elecció de les fotografies aèries es necessari considerar (a) la seqüència temporal en la que l'estudi evolutiu es vol realitzar en base al règim de crescudes i les alteracions entre períodes, (b) la qualitat dels contactes, i (c) la tipologia i format d'aquests. Les fotografies es georectifiquen mitjançant punts de control (i.e. GCP) que es poden identificar a la fotografia origen i dels que es sap la coordenada de localització. Un cop feta la transformació s'obté l'error mig quadràtic d'aquesta però també es necessari fer un anàlisis de les incerteses en el procés de georeferenciació: (a) distorsió de les imatges en el moment de ser escanejades, (b) precisió de la localització dels punts de control i (c) no consideració dels efectes del relleu sobre la georectificació. Un cop les imatges estan georeferenciades es pot realitzar la cartografia necessària per a l'estudi morfològic, previ a la identificació i classificació de les unitats morfològiques a representar.

2.2.3 Classificació i Tipologia de les Unitats Morfològiques

Els criteris utilitzats per a la identificació visual d'**unitats morfològiques** es basen amb i) la forma, ii) la mida, iii) l'estructura, iv) la textura, v) la tonalitat i vi) els colors (e.g. Carre, 1974). Un cop identificades les unitats s'han cartografiat en planta amb l'objectiu de delimitar-les i calcular la seva extensió. La cartografia s'ha realitzat a partir d'una escala de treball única per a tots els contorns, mantenint així, l'exactitud en la delimitació dels polígons. En el cas d'aquest estudi s'ha treballat a una escala 1:5000. A partir d'aquesta cartografia s'ha creat un arxiu *.shp poligonal en el que cada unitat té un codi únic i de classificació. Cadascuna de les unitats s'ha classificat en base a una tipologia prèviament acordada i descrita. Aquesta tipologia s'ha obtingut a partir de la proposta de Campy i Macaire (1989) i tenint en compte els objectius específics del treball i la qualitat de la informació de base. La taula 8 presenta la descripció i nomenclatura de les unitats morfològiques utilitzades en el procés d'identificació i d'interpretació visual.

Els arxius *.shp són arxius de dades espacials en els que les diferents formes geomètriques cartografiades (i.e polígons en el cas d'aquest estudi) estan georeferenciades i associades a una taula que inclou l'identificador de cadascuna d'aquestes, a l'igual que altres característiques tan numèriques com alfanumèriques que poden ser úniques o comunes si s'escau. Aquests arxius poden ser visualitzats, editats i analitzats en la majoria de SIGs. Així, per exemple, si es disposa de la cartografia d'una barra fluvial durant diferents períodes es pot analitzar la seva evolució, el percentatge de pèrdua d'àrea activa, la superfície colonitzada per la vegetació de ribera etc. En aquest estudi s'ha utilitzat la fotografia del 1956-57 com a base per a la identificació d'unitats morfològiques. L'evolució d'aquestes s'ha realitzat comparant la

cartografia obtinguda en períodes subseqüents. Tan la cartografia com l'anàlisi temporal posterior s'ha realitzat amb ArcMap 9.3®.

NOMENCLATURA	CODI	DESCRIPCIÓ
Aigües Baixes	AB	Unitat que delimita el canal d'aigües baixes, l'àrea ocupada per l'aigua en condicions de cabal mig.
Barra Central Activa	BCA	Barres (i.e. diposit sedimentari en condicions de cabal mig) situades en el centre de la llera, envoltades de dos lleres actives i amb presència de sediments i poca vegetació. Es caracteritzen per la presència de materials mòbils durant crescudes freqüents i de magnitud moderada.
Barra Central Vegetada	BCV	Barres centrals sense activitat sedimentaria i colonitzades per la vegetació.
Barra Lateral Activa	BLA	Barres actualment actives situades a un dels marges de la llera. Tan sols hi ha un canal actiu en situació cabal mig. Aquestes barres poden passar a ser centrals en situacions de crescuda.
Llera Activa	LLA	Superfície que resta inundada en cabals de recurrència freqüent però no extrems. De manera general es pot dir que coincideix en el cabal associat a nivells de canal ple (i.e. bankfull). Superfície que inclou el(s) canal(s) d'aigües baixes i les barres actives.
Màxima Extensió Inundada	MAXI	Màxima ocupació de la làmina d'aigua sobre el territori fluvial durant una crescuda de magnitud no ordinària.
Vegetació Ribera	VEG	Ocupació natural als marges de la llera per vegetació de ribera.
Zona Activa Sedimentaria	ZAS	Zona amb activitat sedimentaria que el riu arriba a ocupar molt esporàdicament en ocasions de crescudes molt excepcionals i extraordinàries (alta magnitud i baixa freqüència). Aquesta zona inclou barres actives i tots els lòbuls de sedimentació (després de grans crescudes) ubicats tan a la llera activa com en les planes al·luvials.
Conreus	CON	Part de la llera ocupada per cultius sense modificar la seva forma bàsica. Aquesta pertorbació (impacte) redueix l'àrea activa prèvia a l'ocupació.

Taula 8. Tipologia i descripció de les unitats morfològiques utilitzades en el procés d'interpretació visual de les fotografies aèries.

Any	Data del vol	Cabal mig (m^3/s)[a]
1956-57	21/04/1957 29/06/1957	6,5 52
1975	Octubre 1975[1]	10,5 (6-16)[2]
1982-83	14/12/1982 02/02/1983	55[3] 20[3]
1992-93	14/07/1992 20/06/1993	26,5 22,75
1999	10/08/1999	14,25
2008	Desembre 2008[1]	7,4 (3,6 a 18,8)

[a] Cabal a les estacions d'aforament d'Oliana (per al període anterior a l'any 2000) i Rialb (per al període posterior a l'any 2000).

[1] No es disposa del dia exacte, cabal mensual.

[2] Entre parèntesis el valor mínim i màxim per al període

[3] Dades de sortida de l'embassament d'Oliana, l'estació d'aforament d'Oliana no operativa

Taula 9. Cabals registrats en el moment de l'obtenció de les fotografies aèries (Font dades cabal: CEDEX, 2010).

La identificació de les **unitats morfològiques** i tots els càlculs que se'n deriven estan influenciats per les condicions de cabal en el moment de l'obtenció de les fotografies aèries. L'evolució del nombre d'unitats i l'extensió d'aquestes podria ser erroni al comparar períodes on el cabal circulant es significativament diferent. La taula 9 mostra les condicions de cabal del tram d'estudi per a cada període d'anàlisis. Pel contrari, per a les fotografies de l'any 1975 i 2008 tan sols s'ha obtingut el mes en el que es va realitzar la fotografia. En aquests tres casos es presenta el cabal mig del mes i el valor màxim i mínim mensual com a indicador de la variabilitat del cabal. El valors de la taula 9 mostren com les fotografies es van obtenir en cabals baixos (del 10% al 32% del valor *bankfull*, veure taula 10), relativament similars i en cap cas en situació de crescuda (cabals elevats → menys superfície visible).

Per a la cartografia geomorfològica es necessari seleccionar i descriure la tipologia d'unitats morfològiques a identificar en cadascuna de les fotografies aèries. Un cop identificades, son cartografiades i codificades. Es necessari mantenir l'escala en la que es realitza la cartografia per no modificar l'exactitud en la identificació d'aquestes. La cartografia permet el càlcul d'extensions i superfícies per cadascun dels períodes d'anàlisis que poden ser comparats subseqüentment per estudiar els canvis al llarg del període d'estudi i en relació a les crescudes i/o impactes.

3 RESULTATS (l'exemple del Segre)

3.1 Caracterització Hidrològica General

3.1.1 Règim Natural de Cabals (RNC)

Aquest apartat, de menor rellevància dins del camp de la dinàmica hidrosedimentària del riu (cabals habituals) s'ha desenvolupat àmpliament en l'annex A, deixant una síntesis dels resultats més destacats a continuació.

Les aportacions anuals al mig Segre assoleixen un màxim mig anual de 982 hm^3 a l'estació de Ponts (de la mitjana dels anys disponibles entre 1946-2009), amb una amplitud hidrològica interanual a Ponts de 166 hm^3 evidenciant un increment en el volum d'aigua superficial circulant a l'augmentar la superfície de la conca.

L'embassament d'Oliana, el pantà de Rialp i el canal d'Urgell han regulat des de la seva posada en funcionament el cabal del riu Segre, alterant el règim natural de cabals (RNC).

- **Oliana:** Tot i el baix grau d'embassament d'Oliana, IR= 0,1, es produeixen alteracions al regim de cabal a escala mensual a partir del més d'abril, afectant a la variabilitat de la distribució mensual del cabal mig. A partir d'aquest mes, l'embassament comença a retenir aigua, principalment del desglaç, per donar resposta a la demanda del canal d'Urgell fins al setembre. Fet que altera mínimament l'estacionalitat i la variabilitat anual reduïda per la suavització dels cabals extrems. La variabilitat dels valors habituals diaris disminueix casi un 10%, tot i la poca capacitat d'emmagatzematge d'Oliana homogeneïtzant els cabals diaris en termes generals.
- **Rialb:** La distribució mensual de les aportacions es troba actualment modificada i adaptada a les exigències de la demanda del reg. Emmagatzemant entre octubre i maig, moment on l'alliberament d'aigua es prou gran per començar a reduir el volum envasat fins a finals de setembre. Mostrant una alteració en la variabilitat mensual i una dilatació de l'estacionalitat, explicat per l'alt valor del grau de regulació de Rialb, que és d'un IR= 0,5 . Fet que incrementa la severitat de l'estiatge i suavitza la resposta hidrològica del caràcter nival de la conca alta del Segre.
- **Canal d'Urgell:** Les captacions d'aigua del canal d'Urgell, sobretot entre abril i setembre, alteren la magnitud de les crescudes habituals aigua avall de la toma del canal d'Urgell, deixant el pas a un volum d'escorrentia inferior. Fet, que en alguns casos, les crescudes habituals queden absorbides per la toma d'aigua, alterant l'energia i la freqüència de les mateixes.

3.1.2 Règim Modificat de Cabals (RMC)

En la caracterització del règim natural de cabals com a element de la dinàmica fluvial (geomorfològica en aquest cas), cal prestar una especial atenció als valors extrems de cabals que aporten les crescudes, ja que son els episodis responsables d'activar la maquinaria erosiva i sedimentària de la xarxa fluvial.

L'estació d'aforament d'Organyà, situada a l'inici del tram del mig Segre, enregistra el que s'aproximaria més al RNC, quedant al marge de les alteracions que comportaria estar sota la influència d'un cabal regulat. Així podem definir (veure taula 10) el valor dels paràmetres que posen de manifest el potencial geomorfològic dels cabal alts que circulen pel riu.

Paràmetre	(m^3/s)
CM1.1. Cabal mig de les Crescudes Màximes anuals $\overline{Q_C}$	160,6
CM1.2. Cabal *Bankfull* (o formatiu) (Q_{Bank})	168,1
CM1.3. Cabal mig de les Crescudes Habituals **($Q_{5\%}$)**	75,3

Taula 10: Recull del valor de la mitja del cabal màxim circulant anual, del cabal bankfull i del cabal corresponen al llindar inferior de les crescudes habituals de la sèrie completa de l'estació d'aforament d'Organyà (1950-2005).

Les infraestructures de regulació del Segre, l'embassament d'Oliana i de Rialb, guarden una important capacitat d'afecció sobre alguns dels elements del RNC. Els diferents índex d'alteració aporten l'oportunitat de quantificar les noves condicions del RMC. Els resultats corresponents a la caracterització hidrològica general per a cabals màxims es presenten sintetitzats a continuació (taula 11) i àmpliament desenvolupats a l'annex B.

Components	Codi	Indicadors	Valor
Magnitud i Freqüència	IAL1.1.	Índex de les Crescudes Màximes[1]	0,92
	IAL1.2.	Índex del Cabal Bankfull (o formatiu)[1]	0,91
	IAL1.3.	Índex de les Crescudes Habituals	1,00
Variabilitat	IAL2.1.	Índex de Variabilitat de les Crescudes màximes diàries anuals[1]	0,74
	IAL2.2.	Índex de Variabilitat de les Crescudes Habituals[1]	0,77
Estacionalitat	IAL2.3.	Índex d'estacionalitat de Crescudes	1,00
Duració	IAL2.4.	Índex de duració de Crescudes[1]	0,91

[1] Situació on l'índex >1, substituint el valor obtingut pel seu invers

Taula 11: Índexs d'alteració de Magnitud i Freqüència (IMF), Variabilitat (IV), d'Estacionalitat (E) i Duració (ID) corresponents a l'embassament d'Oliana (1958-2005).

- **Oliana:** El període d'estudi per a l'embassament d'Oliana està format per dues sèries de 40 anys de dades completes i temporalment coincidents (1958-2005) entre les estacions d'Organyà i Oliana. La taula 11, recull el global dels resultats obtinguts de l'aplicació dels Índexs d'alteració de Magnitud i Freqüència (IMF), Variabilitat (IV), Estacionalitat (IE) i Duració (ID) corresponents a l'embassament d'Oliana.

  S'ha analitzat la recurrència de les crescudes per un període de retorn de 50 anys. Emprant la distribució de valors extrems de Gumbel (tipus 1) ajustant els valors de Q_c i Q_{ci} en les estacions d'Organyà i d'Oliana (veure figura 5) pel període posterior a la construcció de l'embassament. Es pot observar com amb un baix grau d'embassament

IR d'Oliana (0,1) és suficient per distorsionar la principal font d'energia del sistema fluvial, el Q_{ci}, tendència no compartida per la freqüència esperada del Q_c.

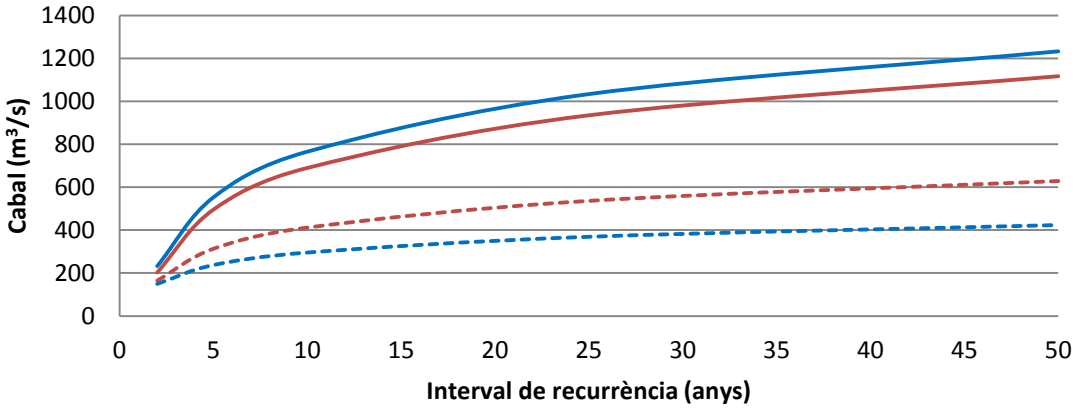


Figura 5: Anàlisis de la freqüència a partir del model de distribució de Gumbel dels registres de Q_c (línia discontinua) i Q_{ci} (línia continua) dels anys hidrològics 1958-59 al 2006-07 en les estacions d'Organyà (línia blava) i d'Oliana (línia vermella).

- **Rialb:** Treballem amb dos punts de control, l'estació d'aforament d'Oliana i la sortida de l'embassament de Rialb, amb sèries de 8 anys de dades completes i temporalment coincidents limitades pels anys hidrològics 2000 i 2009. La taula 12, recull el global de resultats obtinguts de l'aplicació dels Índexs d'alteració de Magnitud i Freqüència (IMF), Variabilitat (IV), d'Estacionalitat (IE) i Duració (ID) corresponents al pantà de Rialb (2000-2009).

Components	Codi	Indicadors	Valor
Magnitud i Freqüència	IAL1.1.	Índex de les Avingudes Màximes,	0,66
	IAL1.2.	Índex del Cabal Bankfull (o formatiu)	0,74
	IAL1.3.	Índex de les Crescudes Habituals	0,94
Variabilitat	IAL2.1.	Índex de Variabilitat de les Crescudes Màximes diàries anuals	0,61
	IAL2.2.	Índex de Variabilitat de les Crescudes Habituals	0,48
Estacionalitat	IAL2.3.	Índex d'Estacionalitat de Crescudes	0,92
Duració	IAL2.4.	Índex de Duració d'Avingudes	1,0

Taula 12: Índexs d'alteració de Magnitud i Freqüència (IMF), Variabilitat (IV) i d'Estacionalitat (IE) i Duració (ID) corresponents al pantà de Rialb (2000-2009).

Els índex d'alteració mostres la Variabilitat, la Magnitud i la Freqüència com els elements més perjudicats del règim hidrològic en la regulació del pantà de Rialb, incidint en aquells elements més importants per al manteniment de l'estat i de la dinàmica morfològica del riu.

En paral·lel, la corba de recurrència dels màxims cabals diaris esperats aigua amunt i aigua avall de la presa de Rialb, torna a reflectir una important eliminació de la magnitud i de la freqüència dels màxims cabals anuals esperats. La corba mostra la distribució de cabals a partir del mètode de distribució de Gumbel (veure figura 6), i son el resultat de l'alta capacitat d'alteració de l'embassament de Rialb fruit del notable grau d'embassament (IR = 0,5).

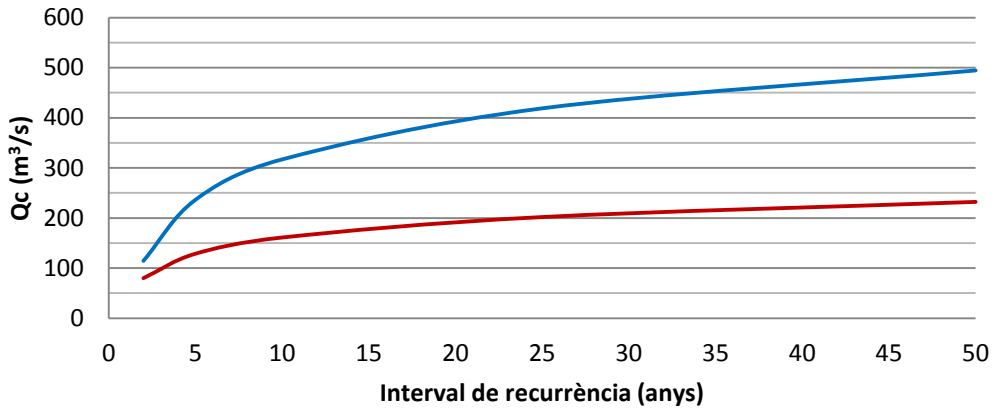


Figura 6: Anàlisi de freqüències del Q_c esperats a Oliana (línia blava) i a la sortida de l'embassament de Rialb (línia vermella).

3.1.3 Estat Hidrològic

Valoració de l'estat d'alteració hidrològica respecte RNC per l'embassament de:

- **Oliana**

  La taula 13 resumeix l'assignació dels diferents estats o nivells hidrològics deduïts dels índexs parcials:

Codi	Índex	Valor	Baix	Moderat	Important	Sever	Molt sever
IAL1.1.	Índex de les Avingudes Màximes,	0,92					
IAL1.2.	Índex del Cabal Bankfull (o formatiu)	0,91					
IAL1.3.	Índex de les Crescudes Habituals	1,00					
IAL2.1.	Índex de Variabilitat de les Crescudes Màximes diàries anuals	0,74					
IAL2.2.	Índex de Variabilitat de les Crescudes Habituals	0,77					
IAL2.3.	Índex d'Estacionalitat de Crescudes	1,00					
IAL2.4.	Índex de Duració d'Avingudes	0,91					

Taula 13: Índex d'alteració hidrològica (IAL) i estats hidrològics per a l'embassament d'Oliana.

- **Rialb**

  La taula 14 resumeix l'assignació dels diferents estats o nivells hidrològics deduïts dels índexs parcials:

Codi	Índex	Valor	Baix	Moderat	Important	Sever	Molt sever
IAL1.1.	Índex de les Avingudes Màximes,	0,66					
IAL1.2.	Índex del Cabal Bankfull (o formatiu)	0,74					
IAL1.3.	Índex de les Crescudes Habituals	0,94					
IAL2.1.	Índex de Variabilitat de les Crescudes Màximes diàries anuals	0,61					
IAL2.2.	Índex de Variabilitat de les Crescudes Habituals	0,48					
IAL2.3.	Índex d'Estacionalitat de Crescudes	0,92					
IAL2.4.	Índex de Duració d'Avingudes	1,00					

Taula 14: Índex d'alteració hidrològica (IAL) i estats hidrològics per a l'embassament de Rialb.

La figura 7 i 8 recullen els detalls de l'alteració del subrègim de cabals de baixa freqüència (de crescuda) especificada a les taules 13 i 14, on cada índex d'alteració representat es troba identificat per un codi a les taules. En un primer examen visual, es pot apreciar que la pertorbació de la presa de Rialb és major i està en consonància amb el valor superior d'IR.

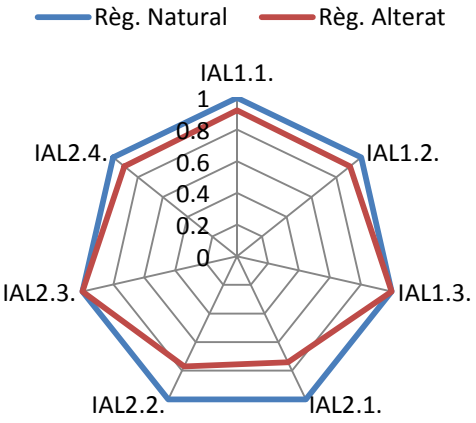


Figura 7: Detall dels índex de cabals màxims corresponents a la caracterització de l'alteració de l'embassament d'Oliana.

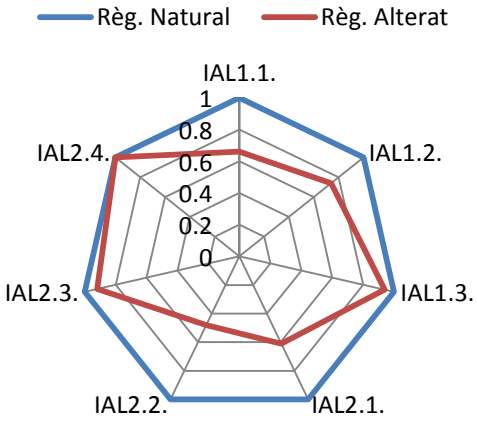


Figura 8: Detall dels índex de cabals màxims corresponents a la caracterització de l'alteració de l'embassament de Rialb.

ESTAT HIDROLÒGIC, Índex Alteració Global dels valors Extrems de Crescuda (IALG)					
Embassament	1	2	3	4	5
	BAIX	MODERAT	IMPORTANT	SEVERT	MOLT SEVER
	0,64< IAG≤1	0,36<IAG≤0,64	0,16<IAG≤0,36	0,04<IAG≤0,16	0≤IAG≤0,04
OLIANA	0,66				
RIALB		0,48			

Taula 15: Codi de colors i valors corresponents als índexs d'alteració global (IALG) per als diferents estats hidrològics.

Els resultats obtinguts conclouen que els components, funcions i processos de geomorfologia fluvial vinculats al subrègim de cabals extrems (crescudes) no es veuran sensiblement afectats per l'embassament d'Oliana (estat BAIX tocant a MODERAT, mirar taula 15) com a conseqüència de la seva construcció i/o gestió. Per interpretar aquest resultat cal tenir present que el grau d'emmagatzematge (IR=0,1) és molt petit.

El valor final sobre crescudes conclou en el seu Índex Alteració Global de Crescudes obtingut per l'embassament de Rialb (IALG = 0,48, mirar taula 15) correspon a un estat MODERAT. Estat explicat pel grau d'emmagatzematge (IR=0,5) que és d'una meitat de les aportacions anuals de la conca vessant aigua amunt. Cal tenir present que l'avaluació de l'Impacte del pantà de Rialb s'ha executat amb només 8 anys de sèries completes i disponibles de dades. S'aconsella repetir l'anàlisi amb la incorporació dels nous registres.

3.2 Caracterització d'Hidrogrames de Crescuda

Les crescudes comporten un augment de la velocitat i de la secció mullada, fet que incrementa la tensió de tall sobre la llera i, per tant, la intensitat de l'acció erosiva de l'aigua. Moltes vegades comporten canvis en la morfologia general del llit per l'abandonament del canal funcional en favor d'altres zones més deprimides o de menor recorregut.

La taula 16 recull els valors del llindar que limiten el màxim i mínim per a la selecció dels **hidrogrames** d'anàlisi de crescudes:

- Es considera que les crescudes ordinàries, tant aigües amunt i avall de l'embassament d'Oliana i de Rialb, son aquelles amb cabals superiors als 75,3 m^3/s i inferiors als 168 m^3/s al seu pas per a l'estació d'Organyà.
- Les crescudes extraordinàries, tan aigües amunt i avall de l'embassament d'Oliana i de Rialb, superen els 168 m^3/s al seu pas per a l'estació d'Organyà.

Estació d'Organyà	
Conca Vessant (km^2)	2384,0
Nº d'anys sèrie	51,0
$Q_{5\%}$ (m^3/s)	75,3
Q_{Bank} (m^3/s)	168,1

Taula 16: Valors llindar que limiten el màxim i mínim per a la selecció dels hidrogrames d'anàlisi de crescudes.

S'han analitzat 10 **crescudes ordinàries** i 7 d'**extraordinàries** entre els anys 1982 i 2010. De les 17 crescudes, solament se'n han donat 5 d'ordinàries i 3 d'extraordinàries després de la posada en funcionament del registre quinceminutal de la sortida de la presa de Rialb.

A grans trets, es pot considerar que les crescudes ordinàries es donen principalment a la primavera durant el procés de desgel i en alguns casos a la tardor i a l'hivern. Actualment, la gestió de l'embassament de Rialb ha incorporat crescudes ordinàries a ple estiu degut a l'alliberament de cabal per necessitats amb el reg, assolint a ple mes d'agost cabals de 80 m^3/s.

Les crescudes extraordinàries amb cabals superiors als 168 m^3/s s'han enregistrat principalment a la tardor i a la primavera; cal recordar que les crescudes a la conca del Segre amb major magnitud del segle XX van ocórrer a la tardor dels anys 1907, 1937 i 1982.

El règim nivo-pluvial de la conca mitja i alta del Segre fan que les crescudes es produeixin per un episodi de pluges sobre el Pirineu que pot durar diversos dies, per l'augment dels cabals d'origen nival en moment de desgel o per una suma de tots dos fenòmens.

3.2.1 Crescudes Ordinàries

- **Oliana**

  Oliana és un embassament relativament petit (IR=0,1), fet que altera poc els cabals extraordinaris però si els ordinaris, sobretot a la tardor i al principi de la primavera quan es troba més buit.

  S'han identificat diferents patrons d'alteració en els hidrogrames sortints:

  a. **Laminació total**: A la figura 9, es pot observar, com l'embassament d'Oliana ha laminat totalment la crescuda enregistrada a l'estació d'Organyà, fet que elimina la dinàmica hidrosedimentària aigua avall d'Oliana.

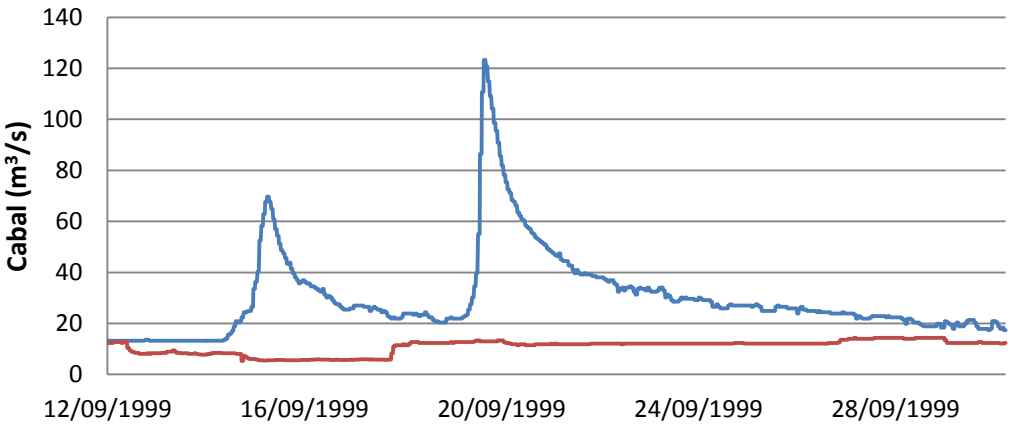


Figura 9: Crescuda ordinària laminada a l'embassament d'Oliana i enregistrada a les estacions d'aforament d'Organyà (línia blava) i d'Oliana (línia vermella) durant la segona quinzena de setembre de 1999.

b. **Laminació parcial:** Si està ple l'embassament lamina nomes parcialment (figura 10) les crescudes ordinàries. Aquest cas es pot observar que l'hidrograma corresponent a l'estació d'Oliana, que dibuixa un patró que es repeteix sovint tant a la tardor, com a l'hivern i a l'inici de la primavera quant encara no ha començat l'època de reg. En general, l'evolució de la corba d'ascens fins arribar al cabal pic té un pendent totalment vertical fins arribar al màxim i aquest es manté amb valor constant durant un cert temps. Finalment, el patró descriu una corba de descens esglaonada amb múltiples davallades brusques i sobtades on s'elimina la suavitat i la continuïtat d'una corba de recessió natural.

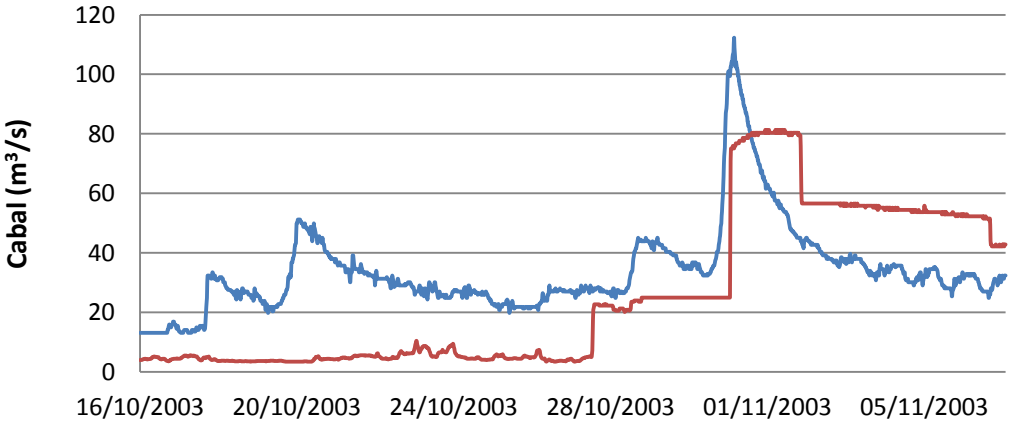


Figura 10: Crescuda ordinària laminada parcialment a l'embassament d'Oliana i enregistrada a les estacions d'aforament d'Organyà (línia blava) i d'Oliana (línia vermella) durant la segona quinzena d'octubre i primera de novembre de 2003.

c. **Propagació continua:** En Aquest cas la crescuda es propaga aigües avall amb un endarreriment temporal respecte l'hidrograma entrant. La baixa magnitud de l'esdeveniment permet un retard de l'hidrograma sortint degut a que l'embassament no està ple i encara té capacitat d'emmagatzematge disponible (veure figura 11). L'embassament endarrereix la resposta del sistema aigües avall i modifica parcialment els hidrogrames, reduint la diferència entre els valors màxims i mínims ja que el pendent de les corbes de recensió és més suau. Aquest fet suavitza el canvi a cada nova pulsació i també elimina les fluctuacions entre el dia i la nit típiques d'un règim pluvio-nival.

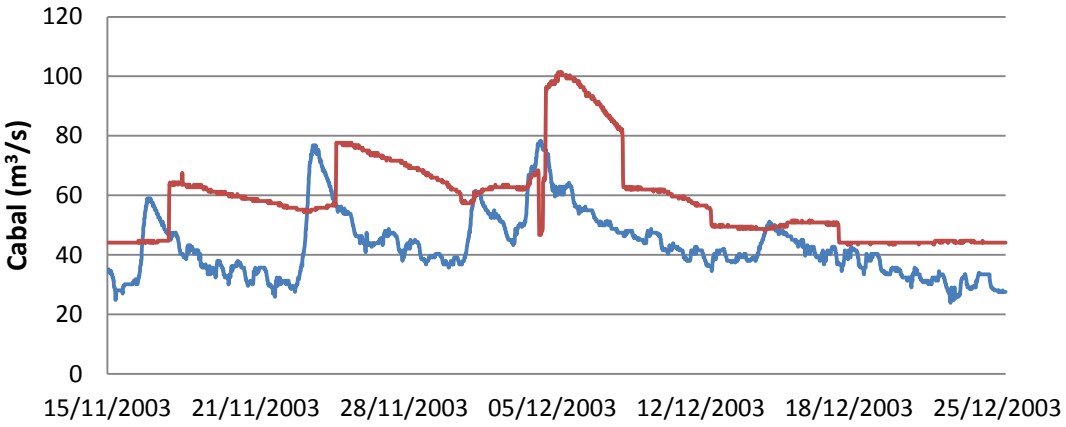


Figura 11: Crescuda ordinària enregistrada a les estacions d'aforament d'Organyà (línia blava) i d'Oliana (línia vermella) durant el novembre i desembre del 2003.

d. **Propagació continua 2:** En aquest cas el riu rep aportacions del desgel, les quals van augmentant progressivament dia a dia (veure figura 12). L'embassament ja es troba quasi a la seva màxima capacitat i no té cap altre possibilitat que obrir comportes i deixar passar l'aigua avall, fenomen que es repeteix usualment a mitjans de maig. L'hidrograma de sortida repeteix el patró morfològic descrit anteriorment a (b) laminació parcial. L'embassament intenta mantenir els màxims d'aigua per a tenir-los apunt per a l'inici de la campanya de reg.

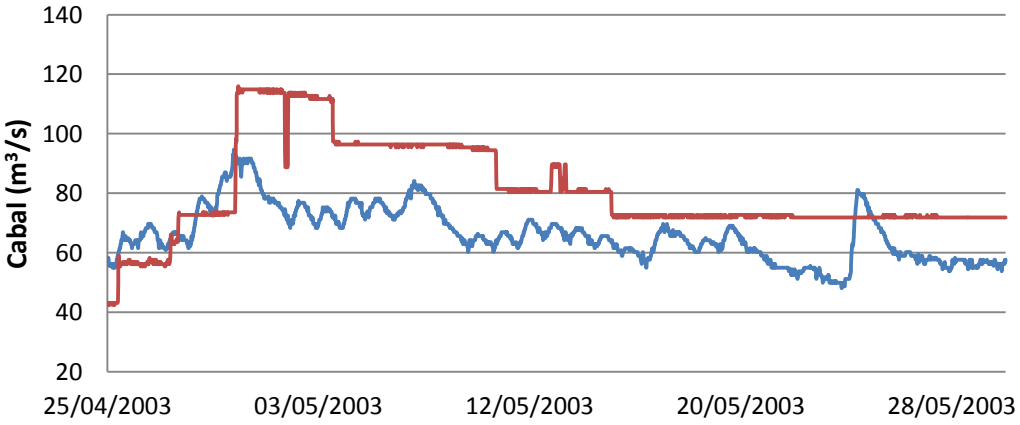


Figura 12: Crescuda ordinària enregistrada a les estacions d'aforament d'Organyà (línia blava) i d'Oliana (línia vermella) durant la primavera del 2003.

e. **Campanya de Reg:** L'embassament inicia la campanya de reg a mitjans de primavera intentant retenir la màxima quantitat de recursos possibles. En la figura 13 es pot observar com el volum que reté l'embassament augmenta paulatinament durant un tram de la campanya de reg, passant del 84% al 13 de maig al 100% a 11 de juny. Aportacions originaries principalment de les contribucions de la fusió nival. Fet que comporta cabals molt baixos aigües

avall de l'embassament d'Oliana. Al mateix temps, els recursos sortints dibuixen unes continues fluctuacions de cabal que donen resposta a les necessitats hídriques del regadiu. Aquestes fluctuacions eliminen la possibilitat d'assolir magnituds de cabals capaços d'activar el transport de sediments en trams aigües avall. L'hidrograma es caracteritza per seguir una distribució temporal de dents de serra amb cicles generalment inferiors a 24 hores. Aquesta gest modifica la dinàmica natural hidrosedimentària del riu, impedint tan la mobilització del llit en època d'aigües altes, com l'aportació d'energia necessària pel funcionament de l'ecosistema fluvial i la connectivitat amb els marges i les zones adjacents.

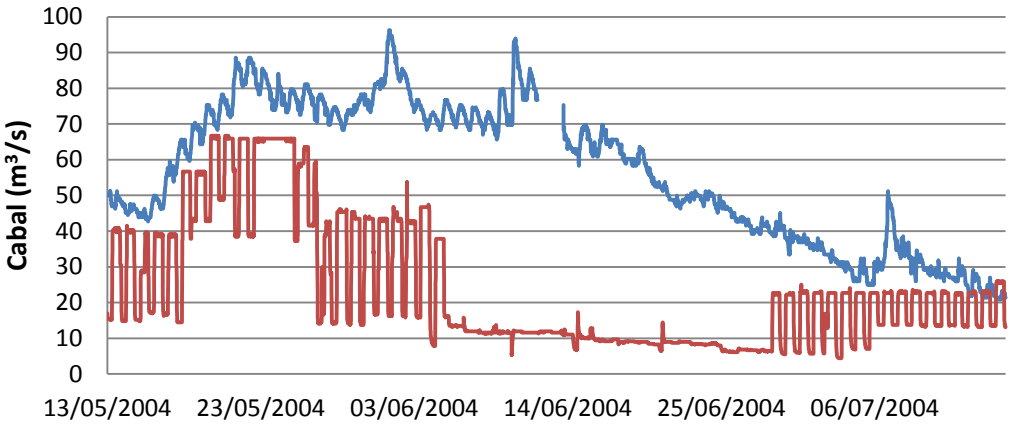


Figura 13: Crescuda ordinària enregistrada a les estacions d'aforament d'Organyà (línia blava) i d'Oliana (línia vermella) durant la primavera del 2004.

- **Oliana i Rialb**

L'embassament de Rialb es començà a omplir el 1999 i fou inaugurat l'any 2000. Com ja s'ha comentat anteriorment l'embassament té una capacitat de 402,8 hectòmetres cúbics, és a dir, quatre vegades el d'Oliana.

Des de que es va inaugurar al 1999, l'embassament de Rialb no s'havia pogut omplir mai del tot fins al 2010, fet que ha influenciat enormement sobre la gestió (i.e. capacitat de regulació) durant la seva primera dècada de funcionament. En aquest segon període s'ha analitzat la resposta hidrològica de les crescuda ordinàries al seu pas en sèries pels embassaments d'Oliana i Rialb.

S'han identificat diferents patrons d'alteració dels hidrogrames:

a. **Laminació total**: A la figura 14 es pot observar com l'embassament d'Oliana ha laminat totalment la crescuda enregistrada a l'estació d'Organyà. Aigua avall, tampoc es percep cap variació en el cabal de sortida de l'embassament de Rialb, el qual desembassa un volum de cabal baix. Aquesta tipus d'alteració s'ha observat en altres hidrogrames enregistrats a Rialb en diferents estacions de l'any, com a l'abril del 2007 i al maig del 2009 on el cabal de sortida no va ser tan baix com els anteriors.

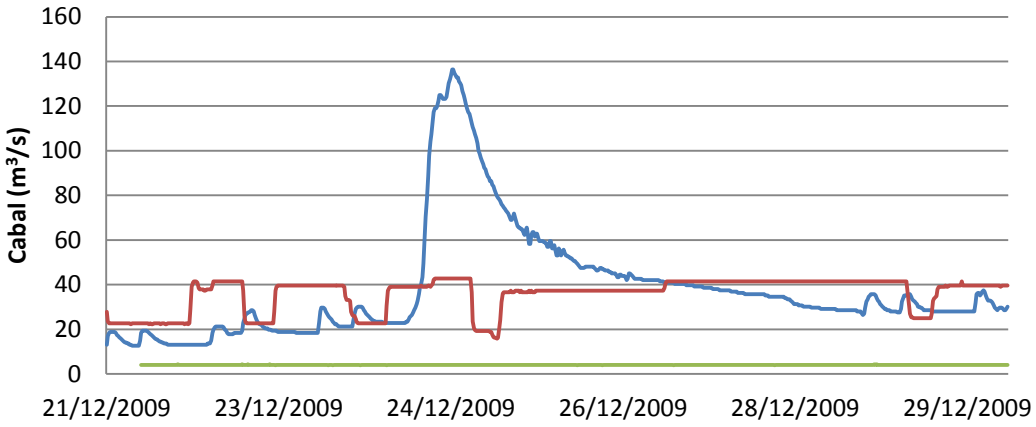


Figura 14: Crescuda ordinària enregistrada a les estacions d'aforament d'Organyà (línia blava) i d'Oliana (línia vermella) i a la sortida de l'embassament de Rialb (línia verda) durant el desembre del 2009.

a. **Posada en Càrrega:** A l'abril del 2010 es va donar inici al desembassament controlat d'aproximadament 123 hm³, amb cabals mitjos de 80 m³/s i amb un cabal punta superior als de 165 m³/s, magnitud normal en època de pluges i desglaç primaveral (mirar figura 15); es tracta d'un hidrograma totalment inusual, ja que correspon al pla d'omplement de Rialb per tal de traspassar-lo a la situació d'explotació ordinària. Tot i ser inusual, l'hidrograma enregistrat correspon a la tercera crescuda més gran enregistrada a la sortida de l'embassament de Rialb, des de la seva posada en funcionament.

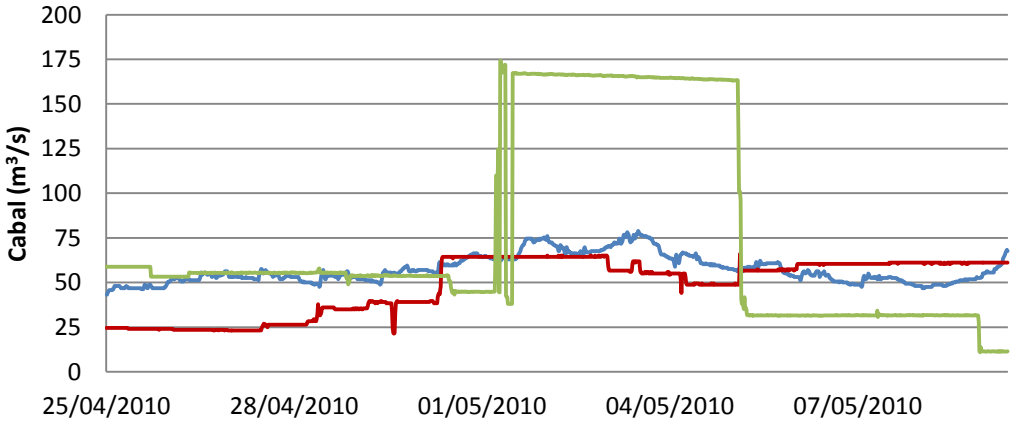


Figura 15: Crescuda ordinària enregistrada a les estacions d'aforament d'Organyà (línia blava) i d'Oliana (línia vermella) i a la sortida de l'embassament de Rialb (línia verda) durant l'abril i el maig del 2010. Hidrograma corresponent al pla d'omplement de Rialb (a la fase de posada en càrrega).

b. **Propagació continua 2**: En ple mes de juny, l'embassament d'Oliana està ple i sense capacitat de laminar ni emmagatzemar noves aportacions que deixa passar aigua avall; tot i així, deixa una empremta en la forma de l'hidrograma. Aquest que perd sinuositat, sobretot en la corba de descens, repetint el patró esglaonat i brusc descrit anteriorment. L'embassament de Rialb fusiona les

dues crescudes, simplificant la morfologia dels hidrogrames i la magnitud del cabal pic. L'alt grau d'emmagatzematge i la grandària de l'embassament li donen a Rialb prou capacitat de laminació encara que estigui ple (mirar la figura 16).

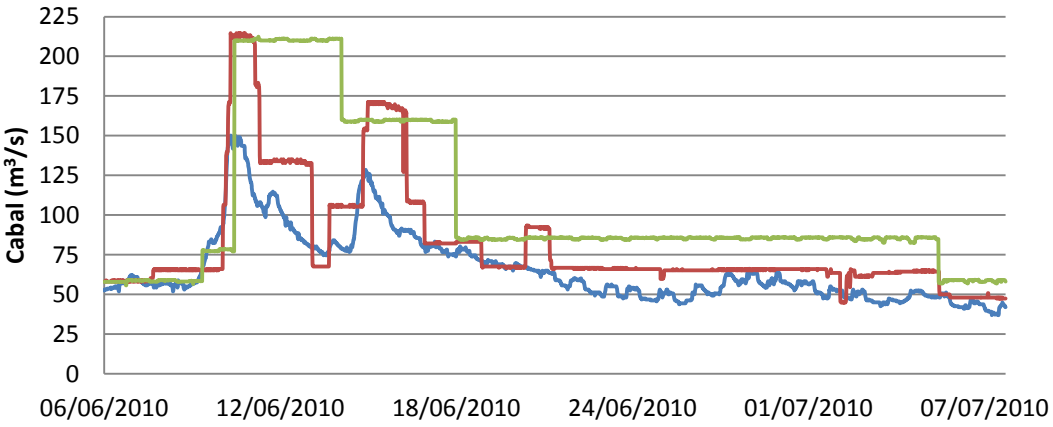


Figura 16: Crescuda ordinària enregistrada a les estacions d'aforament d'Organyà (línia blava) i d'Oliana (línia vermella) i a la sortida de l'embassament de Rialb (línia verda) durant el juny del 2010.

c. **Campanya de Reg:** L'embassament, durant els anys en els quals s'ha desenvolupat la seva posada en càrrega ja ha servit de suport per l'activitat agrícola de regadiu. Actualment no es pot descriure el règim de cabals aigua avall de Rialb fins a la posada en funcionament del canal Segarra-Garrigues. Tot hi això, durant la campanya de reg del 2010, es va enregistrar una crescuda ordinària a l'agost, creant un nou patró hidrològic on el cabal es va incrementar fins a magnituds de 80 m^3/s aigua avall de Rialb (figura 17).

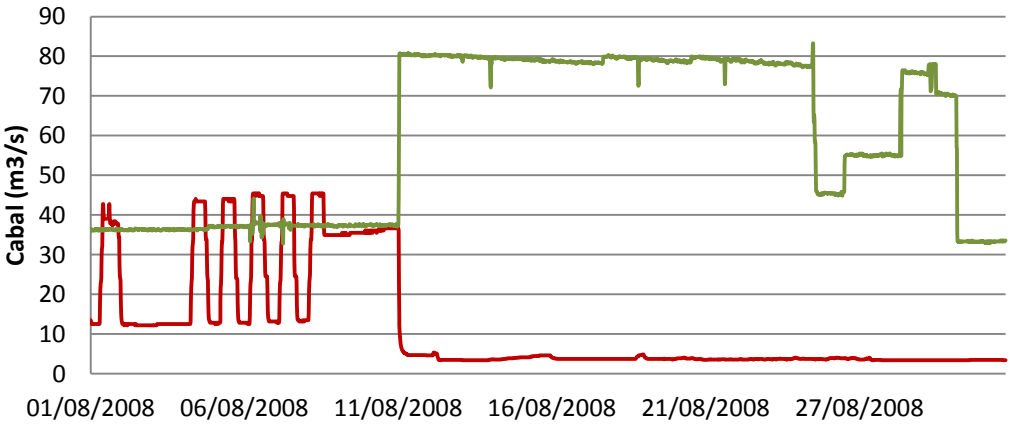


Figura 17: Crescuda ordinària enregistrada a l'estació d'Oliana (línia vermella) i a la sortida de l'embassament de Rialb (línia verda) durant l'agost del 2010.

3.2.2 Crescudes Extraordinàries

Les crescudes extraordinàries comportem alta quantitat d'energia i el subministrament massiu de càrrega sedimentària al sistema. Per aquest motiu la seva anàlisi es fonamental per a l'estudi de la dinàmica hidrosedimentària de qualsevol riu, en aquest cas el tram mig del riu Segre. Anteriorment, s'ha definit el llindar a partir del qual considerem en aquest estudi, quant una crescuda és de caràcter extraordinari.

Les crescudes extraordinàries es donen sobretot a la tardor i a la primavera, podent enregistrar magnituds instantànies de cabal a l'entrada d'Oliana superiors als 1500 m^3/s com en l'any 1982 amb un màxim de 1885 m^3/s. Oliana, amb una baixa capacitat d'emmagatzematge, té una capacitat de laminació limitada tot i que a la tardor aquesta es veu engrandida perquè les reserves son menors i l'embassament està més buit. En canvi, l'embassament de Rialb, (402,8 hm^3), aporta al sistema una alta capacitat de retenció d'aigua fet que permet reduir la freqüència i la magnitud de les crescudes extraordinàries. Fet que causa una alteració notable al subrègim de cabals màxims. En general, trobem la següent resposta hidràulica enfront a les crescudes extraordinàries al seu pas pels embassaments d'Oliana i Rialb:

- **Oliana**

    a. **Tardor:** L'hidrograma d'entrada de l'embassament d'Oliana acostuma a patir una laminació que posposa la seva propagació i en redueix la magnitud, tot i que el volum desembassat no difereix gaire del què ha entrat (i.e. figura 18). L'hidrograma de sortida mostra un pendent de la corba d'ascens menor al d'aigua amunt, sempre i quan la magnitud del cabal pic de sortida no difereixi gaire del registrat a l'entrada de l'embassament. En general, tornem a trobar un cabal màxim més atenuat i durador, donant una geometria rectangular. La corba de recessió varia força d'un cas a altre i depèn de l'estratègia seguida, les maniobres de desembassament acostumen a esglaonar la geometria de l'hidrograma.

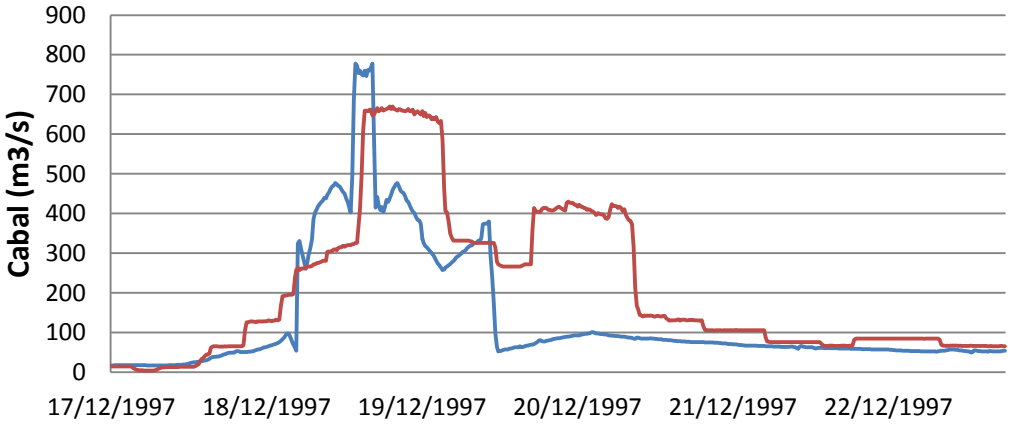


Figura 18: Crescuda extraordinària enregistrada a les estacions d'aforament d'Organyà (línia blava) i d'Oliana (línia vermella) durant el desembre del 1997.

L'any 1982 es va produir la crescuda més important de la segona meitat del segle XX a la conca del Segre. La crescuda va tenir un cabal pic a l'entrada de l'embassament d'Oliana superior als 1800 m^3/s (figura 19). L'embassament d'Oliana, amb una disposició volumètrica inicial per laminar 30 hm^3 dels 176 hm^3 que portava, solament va tenir capacitat per a retardar la propagació de l'hidrograma dues hores i reduir el cabal pic un 10%. L'alteració de l'hidrograma exercit per un embassament petit sobre una crescuda d'aquestes característiques es pot considerar insignificant. En aquest cas, l'embassament no va poder canviar el patró de l'hidrograma de sortida.

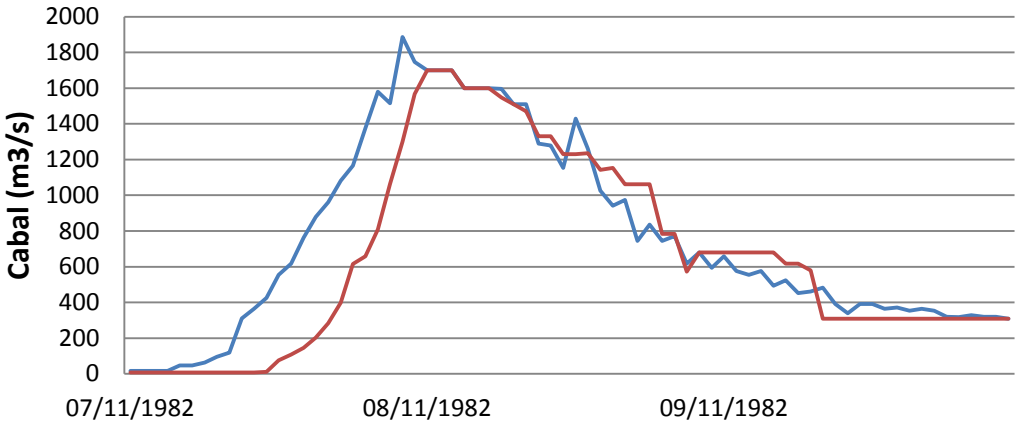


Figura 19: Crescuda extraordinària enregistrada a l'entrada (línia blava) i sortida (línia vermella) de l'embassament d'Organyà entre els dies 7 i 9 de novembre de 1982.

b. Primavera: Aquesta estació acostuma a presentar les crescudes ordinàries anuals originàries del desgel i de les pluges primaverals. Aquests fenòmens, si es produeixen conjuntament poden desencadenar crescudes importants que generalment troben l'embassament d'Oliana sense capacitat de laminació. Aquesta situació ha permès la propagació aigua avall de crescudes amb magnituds superiors a les enregistrades a Organyà. En altres situacions, per motius de seguretat, s'han incrementat els cabals de sortida per tal de buidar l'embassament i alleugerir la capacitat d'emmagatzematge. La figura 21 ens presenta un cas on l'embassament d'Oliana va haver de rebaixar el seu nivell de reserves (89 hm^3 a 85 hm^3) per poder donar entrada a una crescuda amb un cabal mig diari de 317 m^3/s. En tot moment s'intentà mantenir el nivell de reserves per sota dels 88 hm^3 durant els següents dies fins que les aportacions van minvar, permetent assolir el màxim d'emmagatzematge al final de l'episodi.

- **Oliana-Rialb**

L'embassament de Rialb es comporta diferent si l'any és humit o sec. La figura 20 recull la crescuda posterior a la que va donar fi a la sequera recent (2007-2008). La necessitat urgent de recursos va fer que es lamines al màxim l'hidrograma d'entrada a Oliana. Rialb, seguidament, eliminà en la seva totalitat la crescuda produïda aigües amunt. Com ja s'ha comentat anteriorment, la tardor, més propensa a tenir un nombre important de crescudes extraordinàries, facilita laminacions superiors a l'haver-se buidat els embassaments a finals de l'estiu. Per primer cop, es pot observar l'alta capacitat de laminació que dona el fet de tenir dos embassaments construïts en sèrie en tan poc recorregut del riu Segre.

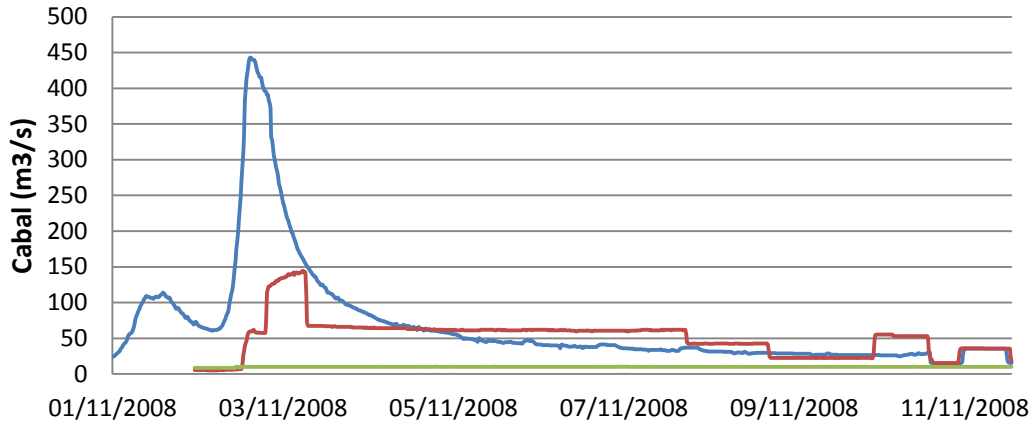


Figura 20: Crescuda extraordinària enregistrada a les estacions d'aforament d'Organyà (línia blava) i d'Oliana (línia vermella) i a la sortida de l'embassament de Rialb (línia verda) durant el novembre del 2008.

En crescudes de baixa freqüència com la del figura 21, amb una magnitud del cabal pic de 656 m^3/s a l'estació d'Oliana, el pantà de Rialb paralitza i reté la gran energia que comporta. Reduint a un terç el seu potencial geodinàmic i deixant la corba del descens de l'hidrograma amb una geometria novament esglaonada. Aigua avall, a la sortida de l'embassament de Rialb, per primer cop es produeix una crescuda d'origen natural però alterada. L'hidrograma resultant descriu un patró de baixa energia amb implicacions morfosedimentàries (i.e. poca activitat a la llera), ja que la corba d'ascens resultant és suau. Posteriorment el cabal pic es manté i acaba formant una nova corba de descens esglaonada i molt duradora.

Aquest patró dona claus per a fer el diagnòstic de la nova situació hidrològica que comporta la construcció del pantà de Rialb en relació a la dinàmica sedimentaria actual del riu i les possibles vies alternatives de gestió. Ens trobem en un nou escenari on la gestió de l'embassament de Rialb serà crucial per no eliminar completament la dinàmica hidrosedimentària del tram mig del Segre.

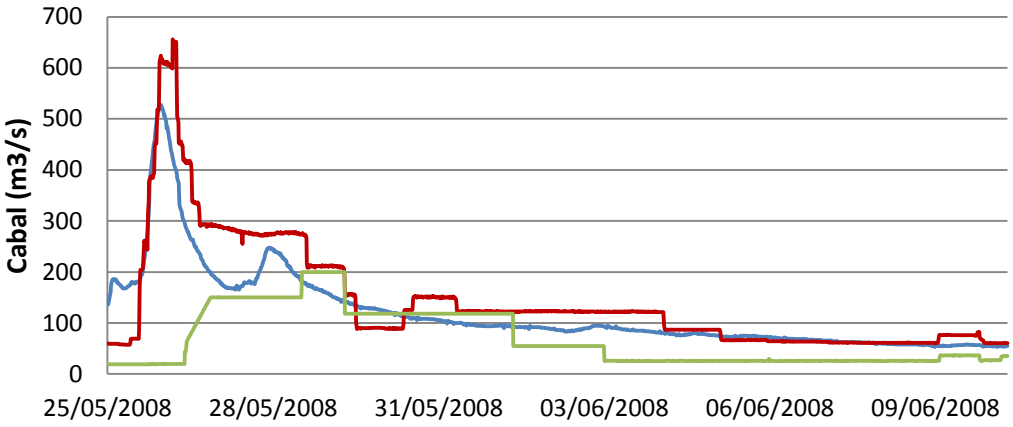


Figura 21: Crescuda extraordinària enregistrada a les estacions d'aforament d'Organyà (línia blava) i d'Oliana (línia vermella) i a la sortida de l'embassament de Rialb (línia verda) durant el maig i juny del 2008.

L'estat hidrològic del mig Segre es troba alterat des de finals dels anys 1950, resultant sensiblement afectada la magnitud, la freqüència i la variabilitat del seu Regim Natural de Cabals (RNC).

La metodologia exposada en aquest punt permet caracteritzar quantitativament la magnitud, la freqüència, la variabilitat i la duració del regim hidrològic d'un riu tan aigües amunt com aigües avall d'un embassament. La quantificació d'aquests aspectes és utilitzada per avaluar la modificació hidrològica originada en els cabals circulants respecte a la situació natural a través dels Índex d'Alteració Hidrològica, fent un especial èmfasi en els episodis extraordinaris.

L'estat hidrològic resultant propicia una alteració MODERADA, obtenint un estat més crític si s'avalués els dos embassaments com un de sol. L'evolució de la morfologia del riu demostra una notable disminució de la llera activa que no es pot explicar únicament amb la pèrdua de la magnitud i la freqüència de les crescudes, evidenciant en altres agents antròpics responsabilitats en la contracció de la llera. La disminució en la disponibilitat de material granular, tan per l'extracció d'àrids com per la captació de sediments en els embassaments, acaba d'explicar l'evolució morfològica del mig Segre.

3.3 Evolució Morfològica del Tram Mig del Segre

L'estudi de l'evolució morfològica del mig Segre es basa en la comparació de la cartografia obtinguda a partir de les fotografia aèries i seguint els mètodes descrits anteriorment. La secció analitzada correspon al tram fluvial entre l'embassament de Rialb i la Confluència amb la Noguera Pallaresa (figura 4). L'anàlisi morfològic inclou la identificació i cartografia de 9 tipologies morfològiques (taula 8) per a cada període d'anàlisis (taula 9). Es parteix de la cartografia obtinguda en base a al fotografia del vol americà (1956-57) per a la identificació i seguiment d'aquestes unitats. La fotografia d'aquest període es considera de referència degut a que en aquest període hi ha mínims impactes antròpics sobre la **dinàmica morfològica i sedimentària**. L'àrea d'anàlisis (superfície incloent tot el conjunt de tipologies d'estudi) en aquest període (1956-57) correspon a la superfície en la que l'evolució de les unitats morfològiques per a la resta de períodes es realitza. O sigui, imaginant i simplificant l'àrea activa de l'any 1956 com un rectangle de x-y metres, la identificació de les unitats morfològiques per a cada període i es realitza dintre d'aquest marc d'estudi x-y. L'estudi evolutiu finalitza l'any 2008. Els principals impactes antròpics durant el conjunt (1956-2008) del període d'anàlisis son: i) les extraccions d'àrids i ii) la construcció dels embassaments d'Oliana (any 1958) i Rialb (any 1998). La magnitud i freqüència de les extraccions d'àrids, els efectes que se'n deriven i aquells relacionats amb els embassaments s'analitzen de manera especifica al llarg d'aquest document.

La figura 22 presenta l'evolució cartogràfica obtinguda en un tram comprès entre la font de Sant Julià (a 2 km aigües amunt d'Alòs de Balaguer) i el Barranc dels Codonys (a 800 metres aigües amunt d'Alòs de Balaguer); tram ubicat just 32,5 km aigües avall de la presa de Rialb (figura 4). Les fotografies aèries pel mateix tram es mostren a la figura 23. L'evolució d'aquest tram és un clar exemple de la dinàmica observada en el conjunt de l'àrea d'estudi i per aquest motiu es considera representatiu per il·lustrar el treball. Es presenta la cartografia de la resta del tram d'estudi en l'annex C.

L'any 1956 es parteix d'un situació d'inestabilitat en la que els dipòsits sedimentaris son actius. La mobilitat dels sediments es relativament freqüent, el que limita i condiciona la presència de vegetació en les barres. La freqüència i magnitud de les crescudes durant aquest període es suficient per re-mobilitzar els sediments amb certa regularitat. El patró de la llera i les característiques sedimentaries evolucionen i canvien en relació a la magnitud de les crescudes, el subministrament de sediments i la pròpia estructura morfo-sedimentària de partida. Els dipòsits sedimentaris actius es redueixen notablement l'any 1975, mentre que la presència de la vegetació augmenta. Aquesta situació està atribuïda a un nou **estat hidro-sedimentari**, més estable i en el que la mobilitat s'ha reduït substancialment degut a la reducció de la freqüència i magnitud de les riuades atribuïda a la regulació de la conca (veure secció d'hidrologia i crescudes d'aquest document). La riuada del novembre del 1982 (la més important des de l'any 1937) genera una nova situació morfo-sedimentària degut a la seva elevada competència (e.g. riuada caracteritzada amb un període de retorn superior als 175 anys, segons CEDEX, 2011). El resultat d'aquesta riuada son fortes inundacions i desperfectes (Puigdefábregat, 1983). La magnitud d'aquest esdeveniment va provocar molts canvis en el patró y la forma de la llera, a l'igual que en el nombre i extensió de les unitat morfològiques actives (figura 22 i 23). De la mateixa manera, s'observa una clara reducció de la vegetació. El sistema es re-activa, tot

i que a partir d'aquest període comença una nova etapa d'estabilitat que estarà afectada per les extraccions d'àrids i per la construcció d'una nova presa, l'embassament de Rialb (1998). Aquestes alteracions estan analitzades en aquest document i permeten una millora en la diagnosis de l'estat hidro-sedimentari del mig Segre i en la proposta de mesures de millor geomorfològica. A partir d'aquest període, a nivell morfològic, s'observa una clara reducció de l'amplada activa de la llera amb una relació directa amb la intrusió de la vegetació de ribera (i conreus). La complexitat morfològica i sedimentaria es redueix a l'igual que la seva dinàmica (figura 22 i 23).

CODI	NOMENCLATURA	EXTENSIÓ EN PLANTA (km^2)					
		1956	1975	1982	1992	1999	2008
AB	Aigües_Baixes	1,02	1,52	1,82	1,46	1,34	1,21
BCA	Barra Central Activa	0,14	0,05	0,19	0,02	0,01	0,01
BCV	Barra Central Vegetada	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,06
BLA	Barra Lateral Activa	2,26	0,91	0,00	0,64	0,71	0,26
(ZAS)	Zona Activa Sedimentaria	0,00	0,00	4,04	0,00	0,00	0,00
MAXI	Màx. Superfície Inundada 1982	0,00	0,00	9,68	0,00	0,00	0,00
LLA	Llera_Activa[1]	3,41	2,48	6,05	2,12	2,06	1,48
CON	Conreus[1]	0,00	0,58	0,11	1,95	2,12	2,45
VEG	Vegetació Ribera[1]	2,26	2,68	0,98	3,03	2,99	3,21

[1] *La superfície d'anàlisis inclou la Llera Activa i l'ocupada per les tipologies Vegetació de Ribera i Conreus.*

Taula 17. Evolució temporal de l'extensió superficial de les unitats sedimentàries i morfològiques del tram mig del Segre entre els anys 1956 i 2008.

La cartografia de les diferents tipologies morfològiques permet realitzar un estudi comparatiu de la superfície associada a cadascuna d'aquestes unitats. La taula 17 conté l'evolució de la superfície de les diferents unitats expressada en quilometres quadrats (km^2, on 1 km^2= 10^6 m^2 o 100 ha), mentre que en la taula 18 es presenten els canvis percentuals entre els diferents períodes analitzats. La figura 24 presenta l'evolució d'algunes de les unitats morfològiques (i.e. amplada activa, superfície vegetada i de conreus) amb relació a la magnitud de les crescudes registrades entre els períodes d'anàlisis. Aquest anàlisis dona certa idea de la competència de les crescudes registrades entre períodes d'anàlisis i ajuda a interpretar l'evolució d'algunes de les unitats morfològiques objecte d'estudi. L'àrea especifica d'estudi (i.e. àrea activa d'anàlisis incloent tot el conjunt de tipologies d'estudi) cartografiada en base a la fotografia del 1956 es de 5,7 quilòmetres quadrats. Els nombrosos canvis morfològics associats a la riuada del 1982 generen un increment de l'àrea activa, situant-se al voltant dels 7 quilòmetres quadrats. De manera específica, es destaquen els següents trets més significatius:

a. Exceptuant la situació observada després de la riuada de 1982, els valors obtinguts per a l'any 1956 mostren un clar domini de les zones actives (barres) respecte les zones estables (barres amb vegetació). La riuada del 1982 va inundar un total de 9,7 km^2; fet que mostra l'alta activitat associada a aquest episodi. Com a resultat s'augmenta considerablement la llera activa al igual que apareixen zones actives sedimentaries en àrees de plana d'inundació (veure tipologies a la taula 8). A partir d'aquest període hi

ha un clar increment de les superfícies de conreus i les ocupades per la vegetació (i.e. zones estables). Entre els canvis s'hi destaquen (i) el canvi de la superfície ocupada per la vegetació entre el 1982 i 1992 (amb 10 anys es triplica; d'1 a 3 km^2); i (ii) la dinàmica de mobilitat (inestabilitat) observada entre el 1992 i 1999 bàsicament associada al regim de crescudes dels anys 1994-1995 i 1995-1996 (es registren crescudes de períodes de retorn de 10 anys, figura 24); aquesta dinàmica es tradueix en un increment de les barres actives (10%) i una reducció de la vegetació (-1%).

b. La superfície de la llera associada al canal d'aigües baixes a l'any 1956 presenta el valor mes baix observat. Aquest fet es deu a l'aparició de múltiples canals que bifurquen el flux i redueixen l'entitat del canal principal. Pel contrari, posteriorment, es veu un clar augment de la superfície associada a aquesta tipologia fins arribar a un valor de 1,2 km^2, un augment del 19% sobre la superfície obtinguda al 1956.

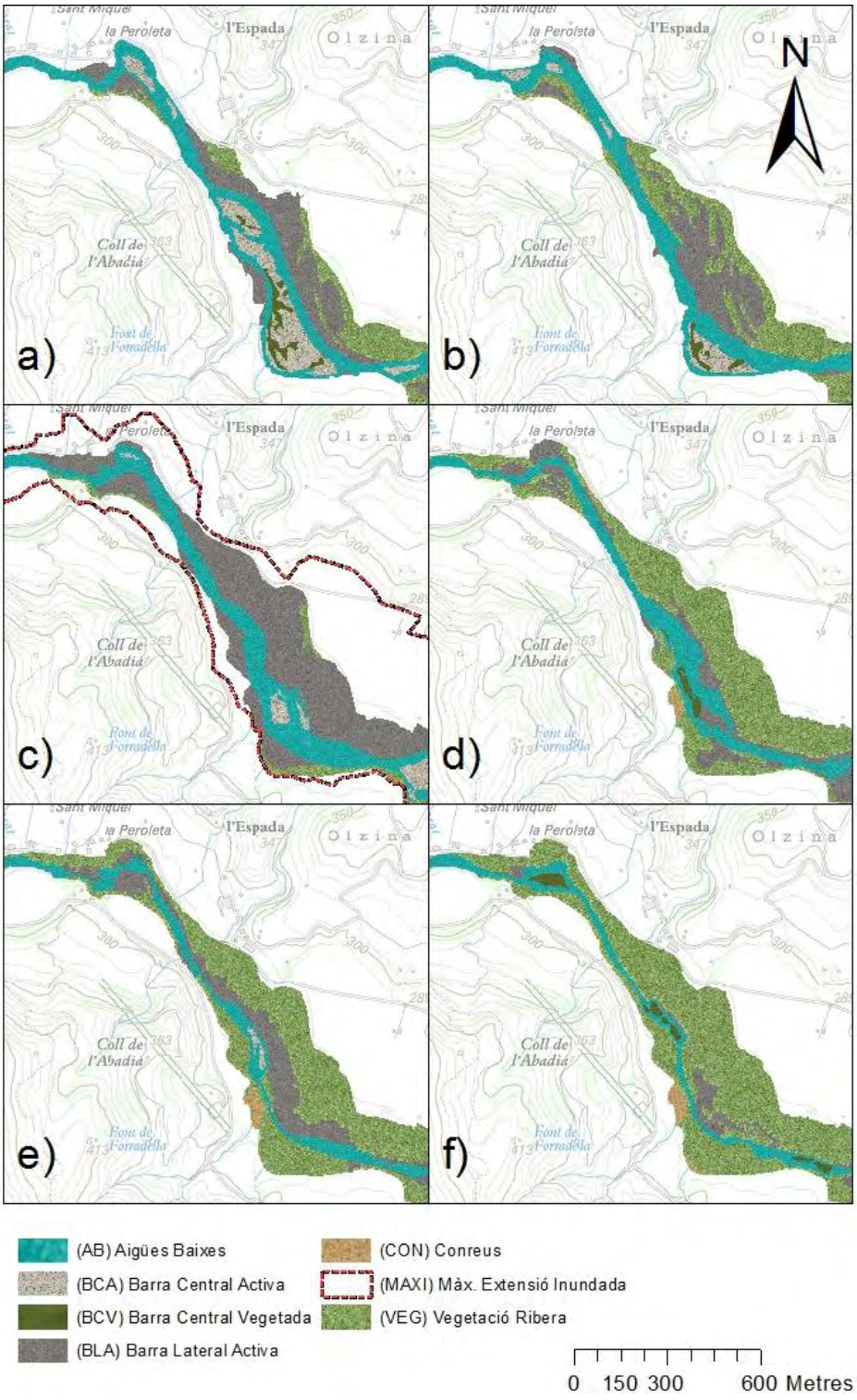


Figura 22. Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre al paratge de Sant Julià, municipi d'Alòs de Balaguer (32,5 km aigües avall de la presa de Rialb), referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del b) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va de sud-est a nord-oest de les imatges.

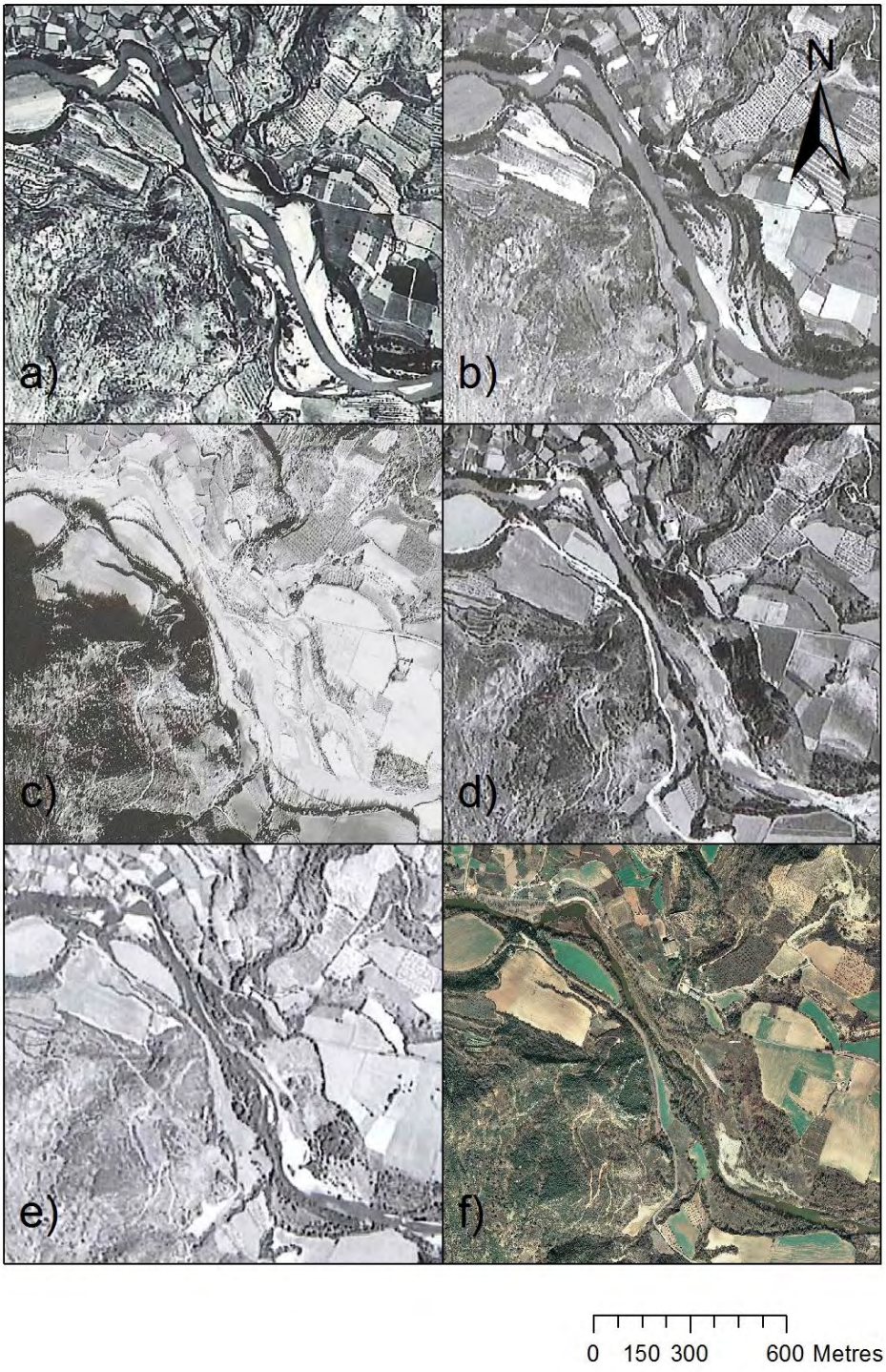
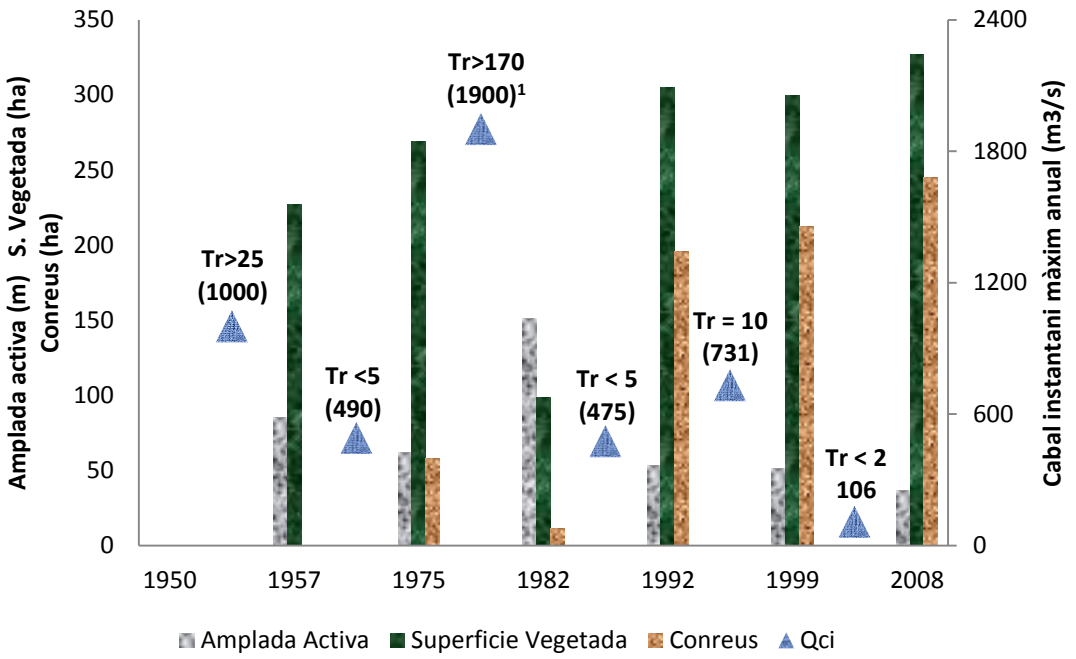


Figura 23. Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre en el paratge de Sant Julià, municipi d'Alòs de Balaguer (32,5 km aigües avall de la presa de Rialb. Entre les imatges del (a) 1956 i del b) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va de sud-est a nord-oest de les imatges.



[1]*Segons la publicació "Mapa de Caudales Máximos" (CEDEX, 2011) el període de retorn és de 179 anys.*

Figura 24. Evolució cronològica de l'amplada activa de la llera, la superfície vegetada (vegetació de ribera i barres centrals Vegetades) i dels conreus en relació al cabal màxim anual instantani entre cada període d'anàlisis del tram del Segre mig. La freqüència (Tr) i la magnitud del cabal màxim instantani anual dona una idea de la competència dels cabals entre cada interval d'estudi (font de la recurrència de cabals: Institut Cartogràfic de Catalunya, 2010).

NOMENCLATURA	1956 (km^2)	1956–75 %	1975-82 %	1982-92 %	1992-99 %	1999-08 %	1956-08 %
Aigües Baixes	1,02	53	20	-20	-8	-10	19
Barra Lateral Activa	2,26	-61	343	-84	10	-63	-88
Barra Central Activa	0,14	-62	258	-88	-58	-48	-96
Barra Central Vegetada	0,01	-63	-11	279	-89	3361	385
Llera Activa	3,41	-27	144	-65	-3	-28	-57
Conreus	0,00	0	-81	1674	9	16	-
Vegetació	2,26	19	-63	209	-1	7	42

Taula 18. Percentatges de variació areal entre vols consecutius per a les diferents unitats cartografiades (entre el 1956 i el 2008).

c. La relació entre la superfície associada a la llera activa i al canal d'aigües baixes permet avaluar el grau de *llibertat* que el riu disposa per modificar el seu curs en períodes d'elevada energia (competència). Fent un quocient entre ambdós (taula 19) s'obté un valor adimensional; **l'*índex de mobilitat potencial de la llera.*** Aquest índex serà pròxim a 1 quan el canal d'aigües baixes ocupa la majoria de la zona activa; situació associada a trams on el canal té molta capacitat de drenatge o en zones on les crescudes son relativament de baixa magnitud i no necessiten desbordar per a la transferència aigües avall dels cabals associats. Els valors son superiors a 1 en aquells trams en els que el riu canvia de patró de drenatge en certa freqüència, associat a desbordaments freqüents relacionats amb l'alta magnitud dels esdeveniments i la

poca complexitat topogràfica de la llera (menys capacitat de drenatge i mes *mobilitat potencial*). La mobilitat potencial de la llera del mig del Segre per a la situació de referència (1956), mostra com tan sols 1/3 de la superfície activa estava ocupada pel canal d'aigües baixes. L'estabilització morfo-sedimentaria (atribuïda a la reducció de la freqüència i magnitud de les crescudes –embassaments- i a la reducció de la disponibilitat de sediments –extraccions àrids-) genera una reducció d'aquest quocient a valors molt pròxims a 1; pràcticament la totalitat de la superfície activa esta ocupada pel canal d'aigües baixes. Virtualment totes les riuades alliberades per les preses poden ser transferides aigües avall inundant (activant) una àrea o superfície mínima. La majoria dels processos ocorreran en la pròpia llera. Per conseqüent, la dinàmica associada a l'acuirassament/incisió del canal principal serà clau per a l'estudi dels efectes morfosedimentaris del regim actual de crescudes. Pel contrari, en situacions extremes (i.e. 1982), l'alta magnitud dels episodis fa que s'inundi tota l'àrea activa de l'any 1956 (Figura 24). El resultat es un reinici del sistema amb unes noves condicions morfològiques i sedimentaries que seran modificades en base al regim posterior de crescudes i al dèficit de sediments. *L'índex de mobilitat potencial de la llera* es redueix fins arribar a un valor d'1,2 l'any 2008, fet que mostra el poc marge de mobilitat de la llera, indicant la forta estabilitat del sistema i el control dels processos per aquelles àrees mes estables com ho son els camps de conreu i les ocupades per la vegetació.

Vol	Amplada llera activa (LLA)	Amplada aigües baixes (AB)	LLA /AB
1956	85,3	25,4	3,36
1975	62,1	38,0	1,63
1982	151,2	45,6	3,32[1]
1992	53,0	36,4	1,46
1999	51,4	33,5	1,54
2008	36,9	30,3	1,22

[1] *Aquets índex podria estar influenciat per les condicions de cabal en el moment que es va adquirir la fotografia.*

Taula 19. Recull de l'amplada mitja de la llera activa, de l'amplada mitja de del canal d'aigües baixes i de la relació que hi ha entre elles.

L'evolució 1956-2008 mostra una clara reducció de totes les tipologies de barres actives (figures 21 i 22). Amb el temps les barres s'han anat vegetant i han quedat aïllades de la dinàmica morfosedimentària contemporània. La cartografia de l'any 2008 presenta l'extensió més petita de barres actives (sense presències de vegetació) de tots els períodes analitzats (taules 18 i 19, figura 23).

L'anàlisi de la dinàmica morfològica del tram del mig Segre mostra com la inestabilitat de la llera observada l'any 1956 (i.e. presencia d'estructures sedimentaries actives, e.g. barres obertes) es redueix com a conseqüència de l'increment dels impactes antròpics. Les situacions

d'inestabilitat estan associades a una alta mobilitat de la llera, mentre que a mesura que la dinàmica morfo-sedimentària es redueix, disminueix la mobilitat de la llera i la intrusió de la vegetació de ribera fa que el canal d'aigües baixes tendeixi a ocupar pràcticament la totalitat de la llera activa. Tot i que la interacció entre dinàmica morfològica i els impactes s'analitza de manera especifica en la secció de diagnosis, l'alteració del règim de crescudes, la retenció de sediments per part dels embassaments, i l'extracció d'àrids de la llera son elements fonamentals per entendre l'augment de l'estabilitat morfològica que s'observa en les fotografies més pròximes a l'actualitat (e.g. increment de les zones vegetades, reducció amplada activa de la llera, i.e. desequilibri sedimentari). En situacions de desequilibri sedimentari, tan sols la presencia d'esdeveniments extrems com el cas de la riuada de l'any 1982 generen una nova situació de certa inestabilitat, amb un augment considerable de la llera activa i d'unitats sedimentaries associades. Aquestes unitats son posteriorment modificades i estabilitzades per la vegetació i per l'acció antròpica, assolint paràmetres d'estabilitat similars als d'abans de l'esdeveniment extrem amb certa rapidesa (< 10 anys).

4. REFERÈNCIES

AGENCIA CATALANA DE L'AIGUA. (2011). *Masses d'aigua. Consulta IMPRESS.* [en línia]. [Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient Barcelona]. [Consultat: gener 2011]. Disponible a Internet: http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P12230544612082014 23967

BAEZA D., MARTÍNEZ-CAPEL F., GARCÍA DE JALÓN D. (2003). Variabilidad temporal de caudales: aplicación a la gestión de ríos regulados. *Ingeniería del Agua*, 10 (4), 469-479.

BATALLA R.J., GÓMEZ C.M., KONDOLF G.M. (2004). Reservoir–induced hydrological changes in the Ebro River basin (NE Spain)". *Journal of Hydrology*. 290 (1-2), 117-136.

BATALLA, R.J. VERICAT, D. MARTÍNEZ, T.I. (2006). River-channel changes downstream from dams in the lower Ebro River. *Zeitschrift für Geomorphologie*, *Supplementband*. 143, 1-15.

BRIZGA S., ARTHINGTON A., CHOY S., CRAIGIE N., MACKAY S., POPLAWSKI W., PUSEY B., WERREN G. (2001). Environmental Flow Report: Pioneer Valley. Water Resource Plan. Natural Resources and Mines. Queesland Government.

CAMPY, M.I, MACAIRE, J. (1989). *Geologie des formations sperficielles*. Masson. Paris. 433 p.

CARRE, J. (1974). *Lectura de las fotografías aéreas*. Editorial Paraninfo. Madrid. 247 p.

CEDEX (CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS). (Actualitzat: 2010, 2 de novembre). *Anuario de Aforos 2008 – 2009*. [en línia]. [Consultat: del 05/2010 al 09/2012]. Disponible a Internet: http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/default.asp

CEDEX (CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS). (Actualitzat: 2011, Juny). *Mapa de Caudales Máximos, Memoria técnica. Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*. [Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente]. 73p. [en línia]. [Consultat: 20 abril 2012]. Disponible a Internet: http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/memoria_tecnica_v2_junio2011_tcm7-162773.pdf

CIS-WFD, EUROPEAN COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY (CIS) FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE. (Actualitzat: 2003). *Guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters*. Working Group 2.3, REFCOND Guidance. [en línia]. [Consultat: 10/09/2012]. Disponible a Internet: http://forum.europa.eu.int/comm/Public/irc/env/wdf/libraryl

CLAUSEN B., BIGGS B.J.F., (2000). Flow variables for ecological studies in temperate streams: groupings based on covariance. *Journal of Hydrology*. 231, 184-197.

BAKER, D.B., RICHARDS, R.P., LOFTUS, T.T.; KRAMER, J.W. (2004). A new flashiness index: characteristics and applications to Midwestern rivers and streams". *Journal of the American Water Resources Association*. 40 (2), 503–522.

GALLART F., LLORENS P. (2002). La cubierta forestal de la cuenca del Ebro: Caracterización espacio-temporal y afección en la disminución de recursos hídricos. Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza.

GALLART F., LLORENS P. (2003). Catchment Management under Environmental Change: Impact of Land Cover Change on Water Resources. *Water International.* 28 (3), 334-340.

GALLART F., LLORENS P. (2004). Observations on land cover changes and water resources in the headwaters of the Ebro catchment, Iberian Peninsula. *Physics and Chemistry of the Earth*, Parts A/B/C, 29 (11–12), 769-773.

GROWNS J., MARSH N., (2000). *Characterisation of Flow in Regulated and Unregulated Streams in Eastern Australia*. Technical Report. Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology. Canberra, 66 p.

INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA (ICC) (2010). Estudis d'inundabilitat en l'àmbit del projecte PEFCAT: Memòria específica conca del baix Segre. (ed.) AGENCIA CATALANA DE L'AIGUA (ACA).

LANE, E.W. (1955). The importance of fluvial morphology in Hydraulic Engineering. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 81, 1-17.

LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G., MILLER, J.P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. Freeman, San Francisco, 522 p.

MANZANO, A. (2007). L'evolució de les aportacions del riu Segre fins a l'embassament d'Oliana. (ed.) Agència Catalana de l'Aigua. Barcelona.

MARTÍNEZ SANTA C., FERNÁNDEZ YUSTE, J.A. (2006). *Índices De Alteración Hidrológica En Ecosistemas Fluviales*. 1ª edición. Madrid: Mº Medio Ambiente. ISBN: 847790426X

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2003). *La delimitación del Dominio Público Hidráulico y de sus zonas inundables. El Proyecto Linde*. Dirección General de obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas.

PETTS, G.E., GURNELL, A.M. (2005). Dams and geomorphology: research progress and new directions. *Geomorphology*, 71, 27-47.

POFF, N.L., ALLAN, J.D., BAIN, M.B., KARR, J.R., PRESTEGAARD, K.L., RICHTER, B.D., SPARKS, R.E., STROMBERG, C. (1997). The Natural Flow Regime. A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*. 47 (11).

PUCKRIDGE, J.T., SHELDON, F., WALKER, K.F., BOULTON, A.J. (1998). Flow variability and the ecology of large rivers. *Marine and Freshwater Research.* 49, 55-72.

PUIGDEFÀBREGAT, C. (1983). *Efectes geomorfològics dels aiguats de novembre de 1982*. Servei Geològic de la Generalitat de Catalunya, Generalitat de Catalunya. Barcelona. 238p.

RICHTER, B.D., RICHTER, H.E. (2000). Prescribing Flood Regimes to Sustain Riparian Ecosystems along Meandering Rivers. *Conservation Biology*, 14 (5), 1467-1478.

RINALDI, M., WYŻGA, B., SURIAN, N. (2005). Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives. *River Research and Applications*, 21, 805–828.

SAMBROOK SMITH, G.H. (2007). *Fluvial Sedimentology: implications for riverine ecosystems*. In: Wood, P. J.; Hannah, D. M. and Sadler, J. P. (eds). Hydroecology and Ecohydrology: Past, Present and Future. Wiley & Sons. Chichester, 361-385.

SCHMITD L.J., POTYONDY J.P. (2004). Quantifying Channel Maintenance Instream Flows: An Approach for Gravel-Bed-Streams in the Western United States. USDA, United States Department of Agriculture, Forest Service. General Technical Report RMRS- GTR-128.

SCHUMM, S.A. (1977). *The Fluvial System*. Wiley, New York, 338 p.

THOMS M.C., SHELDON F. (2002). An ecosystem approach for determinig environmental water allocations in Australian dryland river systems: the role of geomorphology. *Geomorphology,* 47 (2), 153-168.

VERICAT, D., BATALLA, R.J. (2006). Sediment transport in a large impounded river: the lower Ebro, NE Iberian Peninsula. *Geomorphology*, 79 (1-2), 72-92.

WILLIAMS G.P., WOLMAN M.G. (1984). Downstream effects of dams on alluvial rivers. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 1286, 83 p.

WILLIAMS, J.C. (1978). Bank-full discharge of rivers. *Water Resources Research*, 14 (6), 1141-1154.

WYZGA, B. OGLE-CKI, P., RADECKI-PAWLIK, A., ZAWIEJSKA, J. (2011). "Diversity of Macroinvertebrate Communities as a Reflection of Habitat Heterogeneity in a Mountain River Subjected to Variable Human Impacts". In Simon, A.; S. J. Bennett, and J. M. Castro (Eds.). Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems: Scientific Approaches, Analyses, and Tools, Geophys. Monogr. Ser., vol. 194, 544 pp. [en línia]. [Consultat: 28/01/2011]. http://aca-web.gencat.cat/aca/sequera/ca/inici.jsp

ANNEX A. ESQUEMES METODOLÒGICS

Caracterització Hidrològica i de Crescudes

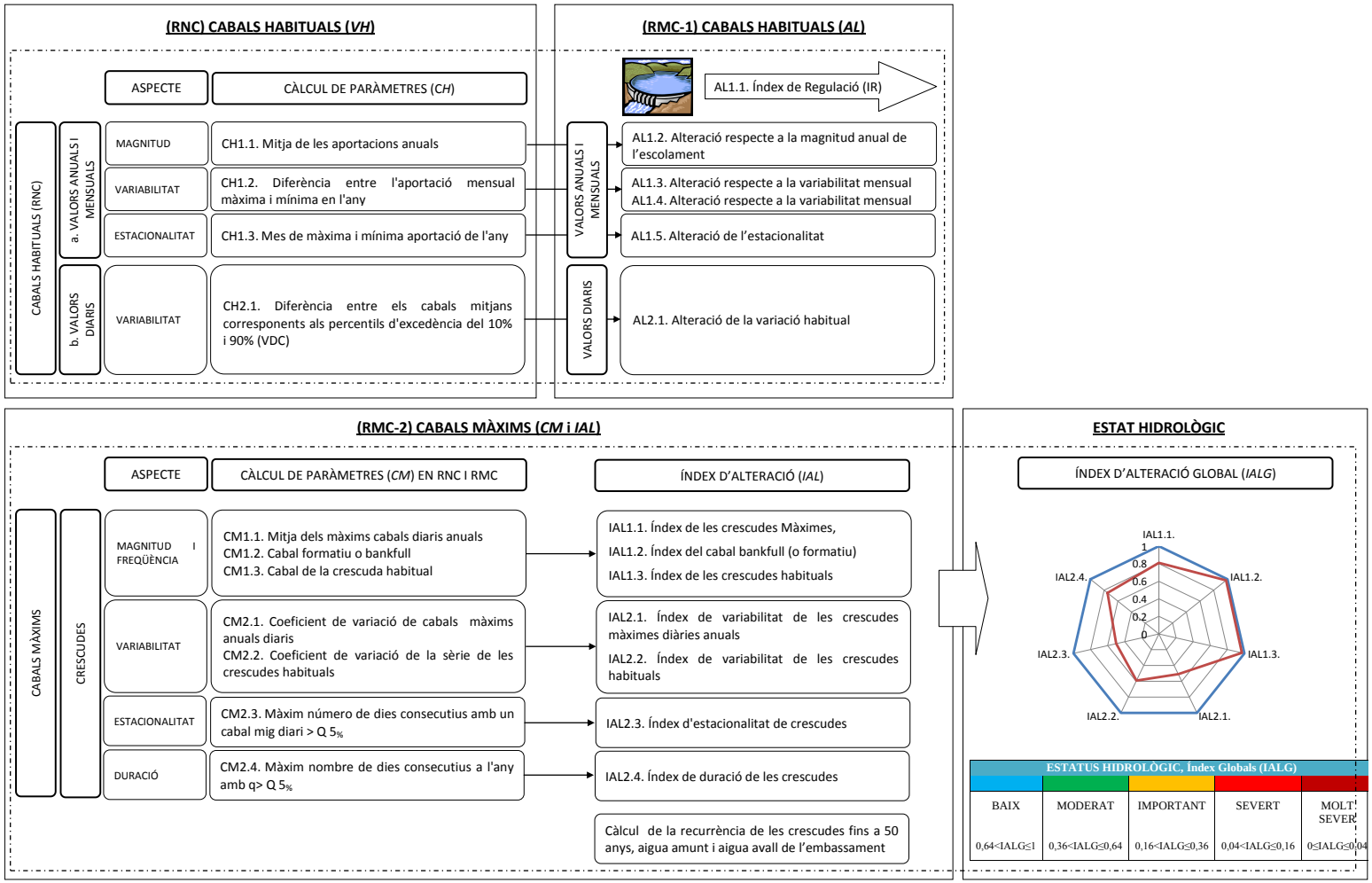
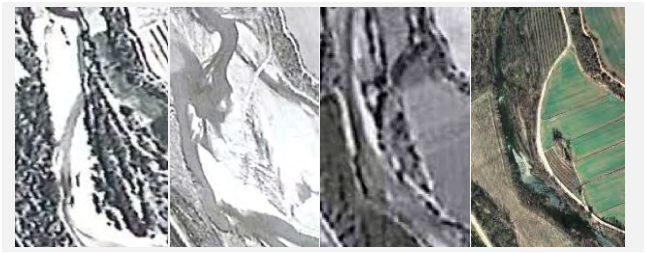


Figura A. 1. Esquema metodològic per a la caracterització hidrològica i de crescudes de trams fluvial afectats per embassaments.

Caracterització Morfològica

EVOLUCIÓ MORFOLÓGICA A PARTIR DE LA FOTOGRAFIA AÈRIA



(A) Selecció de fotografies

A.1 Període d'anàlisis

A.2 Disponibilitat

Qualitat, Tipologia, Format

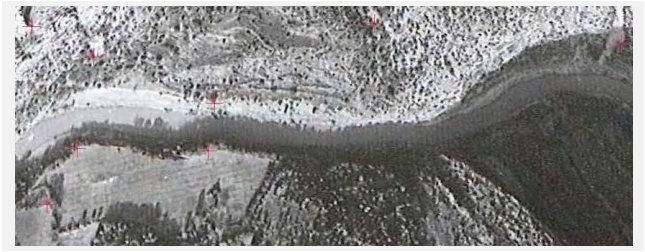
Pre-tractament
escaneig, neteja, etc.

(B) Georeferenciació

B.1 Selecció cartografia de base georeferenciada per establiment punts control — *Ortofotomapa actual resolució centimètrica*

B.2 Cerca de punts de control a l'ortofotomapa actual i a les fotografies històriques — *Criteris de selecció, estabilitat i coincidència.*

B.3 Determinació mètode de transformació en base zona estudi i punts control — *Determinació polinomi de transformació, necessitat model digital del terreny, etc*



Fotografies aèries georeferenciades
Exportació de les fotografies transformades i els erros de transformació

(C) Anàlisis incertesa i errors

C.1 Condicions de cabal en el moment de la realització de la fotografia — *Limitació comparació fotografies: diferències substancial de cabal → àrees no comparables*

C.2 Errors de transformació en base al mètode de transformació: error mig quadràtic dels punts de controls — *Errors al voltant punt de control i llunyans*

$$EMQ = \sqrt{\frac{e_1{}^2 + e_2{}^2 + \cdots + e_n{}^2}{n}}$$

Exemple, Punt 1:
X_{source}=1341,98 X_{Map}=327811,46
Y_{source}=-1227,41 Y_{Map}=4642219,73
Residual= e_1 =0,00001

Selecció de fotografies comparables i errors potencials de càlcul

(D) Cartografia

D.1 Selecció escala de cartografia i criteris identificació unitats tipològiques a cartografiar — *Descripció unitats morfològiques a identificar, criteris i escala de treball*

D.2 Cartografia, codificació unitats i càlcul de superfícies per cada una de les tipologies — *Amb l'escala constant, cartografia i codificació de les unitats. Càlcul d'àrees.*

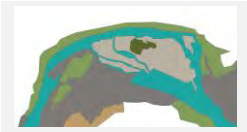


Figura A. 2. Esquema metodològic per a la caracterització morfològica de trams fluvial afectats per embassament i extraccions d'àrids.

ANNEX B. Valors Habituals (Resultats)

Règim Natural de Cabals (RNC)

a. Magnitud, variabilitat i estacionalitat de les aportacions anuals i mensuals

Les aportacions anuals arriben a un màxim mig anual de 982 hm^3 a l'estació de Ponts (veure a la taula A.1), resultats obtinguts de la mitjana de tots els anys disponibles (1946-2009).

L'amplitud hidrològica interanual del Segre mig durant els anys 1946-2009, evidenciant un increment de l'amplitud a l'augmentar la superfície de la conca, amb un màxim a Ponts de 166 hm^3.

General - APORTACIONS hm^3														
Estació	Oct	Nov	Des	Gen	Feb	Març	Abr	Maig	Juny	Jul	Ag	Set	Total	$Q_{(màx-min)}$
Organyà	57	64	57	53	45	70	94	159	134	63	40	42	878	150
Oliana	58	66	65	62	52	74	95	145	137	65	50	47	917	151
Ponts[1]	58	64	64	58	53	85	107	160	152	82	65	34	982	166

[1]**Aportacions de l'estació de Ponts completades amb les dades de la presa de Rialb des de l'any 2000.**

Taula B.1. Recull de les aportacions mensuals i anuals, i diferència entre la magnitud màxima i mínima interanual en les estacions d'aforament d'Organyà, d'Oliana i de Ponts.

L'estacionalitat hidrològica del tram mig del Segre respon al d'un riu amb règim nivo-pluvial, amb màxims entre maig i juny i mínims entre agost i setembre. La capçalera del Segre, formada per àrees d'alta muntanya, manté una part de la precipitació emmagatzemada en forma de neu durant les estacions fredes, en els últims anys s'ha avançat la fusió del mantell desplaçant el pic màxim d'aportacions mensual al maig (Manzano, 2007).

Estació	Àrea (km^2)	Aportació (hm^3/ km^2 any)
Organyà	2384	0,404
Oliana	2700	0,390
Ponts[1]	3320	0,332

[1]Resgitres de l'estació de Ponts completats amb les dades de la presa de Rialb des de l'any 2000

Taula B.2. Valoració de l'aportació hídrica areal de la conca a partir de diferents punts de control del tram mig del Segre.

L'aportació hídrica per unitat d'àrea de la conca es redueix a mesura que ens allunyem de la capçalera, principal font de recursos, tal com es pot veure a la taula A.2. Valoració realitzada solament amb anys on totes tres estacions mostren sèries anuals de dades complertes, reduint-se a 21 els nombre d'anys disponibles. Interval (1953 al 2005) amb absència de sèries en les dècades dels 80's i 90's.

El balanç hidrològic d'una conca es veu influenciat pels canvis del clima, geogràfics, d'usos del territori (e.g. cobertura vegetal) i d'ús del recursos hídrics (e.g. reg). Des dels anys 1960 es pot observar una canvi en el pendent de la tendència de les aportacions anuals, passant a ser negatiu a les tres estacions consultades; segons diferents autors (e.g. Gallart i Llorens, 2002) aquesta reducció s'ha d'atribuir a l'augment d'evapotranspiració a les capçaleres de les conques com a conseqüència de l'increment de la cobertura forestal. Fet que es troba accentuat per l'alta pluviometria de la dècada dels anys seixanta.

b. Variabilitat diària

La taula A.3 recull la variabilitat dels valors habituals diaris de les estacions d'Organyà, Oliana i Ponts (completada amb els registres de l'embassament de Rialb) des de l'any 1946 fins al 2009. La variabilitat del valors habituals al tram mig del Segre des de mitjans del segle XX disminueix a mesura que avencem aigües avall del tram. Aquest comportament es troba novament alterat per les captacions d'aigua del canal d'Urgell. A la figura A.1 es pot observar les corbes de cabals classificats de les estacions d'Organyà, d'Oliana i de Ponts.

	Anys	Any inicial	Any final	Q_{50} (m^3/s)	Q_{90} (m^3/s)	Q_{10} (m^3/s)	$(Q_{90}-Q_{10})/Q_{50}$
Organyà	51	oct-50	set-05	19,2	8,7	59,8	2,7
Oliana	50	oct-52	set-09	21,1	8,9	60,1	2,4
Ponts[1]	42	oct-46	set-09	24,1	8,4	64,0	2,3

[1]Resgitres de l'estació de Ponts completats amb les dades de la presa de Rialb des de l'any 2000

Taula B. 3. Estimació de la variabilitat de valors habituals diaris al tram del Segre mig.

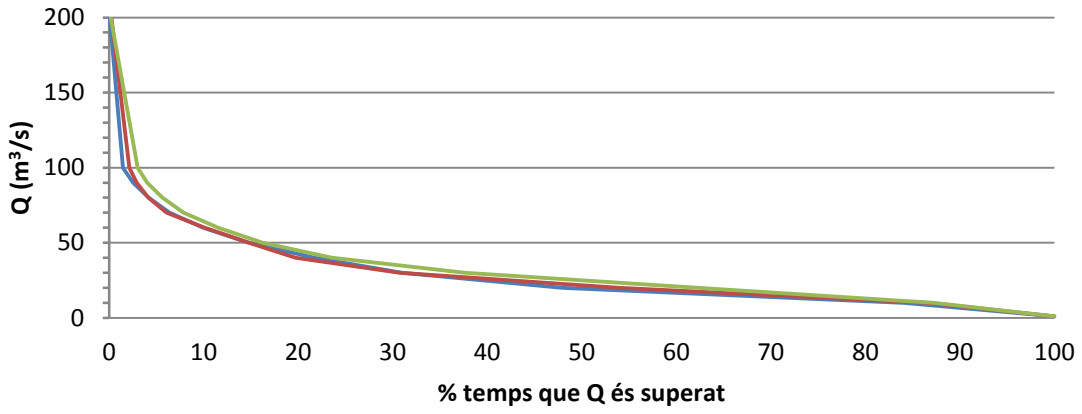


Figura B.1. Corba de cabals classificats de les estacions d'Organyà (línia blava, 1950-2005), d'Oliana (línia vermella, 1952-2009) i Ponts (línia verda, 1946-2009). La corba de l'estació de Ponts està completada amb els registres de sortida de l'embassament de Rialb entre els anys 200 al 2009.

Alteració sobre RNC

El grau d'emmagatzematge per a l'embassament d'Oliana i de Rialb són, 0,1 i 0,5 respectivament.

a. Magnitud, variabilitat i estacionalitat de les aportacions anuals i mensuals

Oliana

S'analitza el període comprés des de l'octubre de 1958 fins al setembre del 2005; son, doncs 40 anys de sèries completes de dades en els dos punts de control.

Les aportacions enregistrades durant aquets anys, revela que les aportacions a la xarxa fluvial entre Organyà i Oliana es veuen incrementades substancialment fins a un 6%, de 909 a 964 hm^3. Actualment, just per sobre del nucli d'Organyà es produeix una captació anual de 38 hm^3 (Agencia Catalana de l'Aigua, 2011), reduint les aportacions entrants al tram mig del Segre.

En 40 anys de dades, s'han pogut identificar 14 anys on les aportacions a Oliana són inferiors a les d'Organyà, d'un 8% de mitjana. Fet que contrasta amb la baixa capacitat de l'embassament d'Oliana per alterar sobre les aportacions anuals, degut al baix temps de residència dels recursos captats.

En relació a la variabilitat de la distribució mensual del cabal mig del tram, tot i el baix grau d'embassament d'Oliana, IR= 0,1, es produeixen alteracions al regim de cabal a escala mensual a partir del més d'abril. A partir d'aquest mes, l'embassament comença a retenir aigua, principalment del desglaç, per donar resposta a la demanda del canal d'Urgell fins al setembre (veure figura A.2). Fet que altera mínimament l'estacionalitat i la variabilitat anual que és reduïda per la suavització dels cabals extrems.

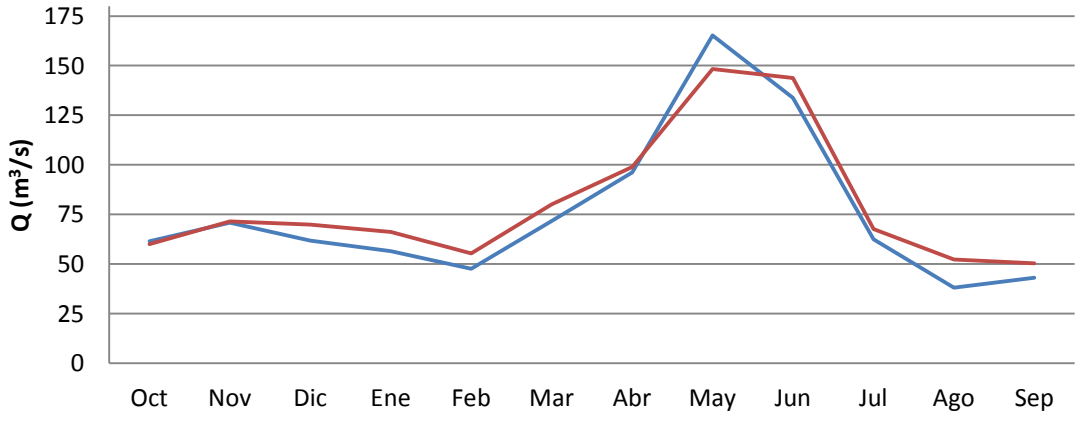


Figura B.2. Variabilitat mensual del cabal mig a les estacions d'Organyà (línia blava) i Oliana (línia vermella) entre els anys 1958-59 i 2004-05.

Rialb

S'analitza el període comprés des de l'octubre del 2000 fins al setembre del 2009; son, doncs 10 anys de sèries completes de dades en els dos punts de control.

La posada en funcionament de l'embassament de Rialb (2000) coincideix amb l'inici de la última gran sequera dels darrers 60 anys que va acabar el 2008. Durant aquest període (2000-09) es van enregistrar magnituds mitges inferiors a la mitjana, arribant a un volum anual a l'estació d'Oliana de 722,9 hm^3 i de 807,4 hm^3 a la sortida de l'embassament de Rialb, suposant un increment del 11,7 % en les aportacions. Comportament alterat durant el bienni hidrològic 2007-2009, degut a un increment dels recursos retinguts en relació al volum entrant.

La distribució mensual de les aportacions es troba actualment modificada, adaptada a les exigències de la demanda del reg (veure figura A.3). Emmagatzemant entre octubre i maig, moment on l'alliberament d'aigua es prou gran per començar a reduir el volum envasat fins a finals de setembre. Durant aquesta segona fase el cabal mig de sortida es mostra molt superior a l'esperat, sobretot a partir del juliol i l'agost. Es tracta doncs d'una alteració en la variabilitat i un augment de l'estacionalitat.

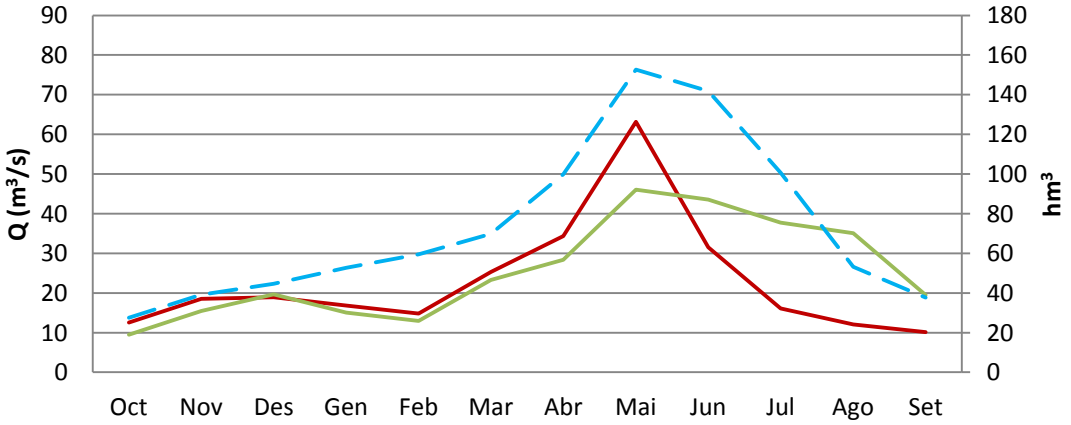


Figura B.3. Variabilitat mensual del cabal mig a l'embassament d'Oliana (línia vermella), a l'embassament de Rialb (línia verda) i de les reserves (línia blava) a l'embassament de Rialb entre l'any 2000-2001 i 2008-2009.

En aquest cas, sí que podem considerar que l'embassament de Rialb té capacitat per alterar sobre la magnitud de les aportacions hídriques i de la seva variabilitat mensual, fet reflectit per l'alt valor del grau de regulació de Rialb, és de IR= 0,5 (Batalla et al, 2004).

Canal d'Urgell

S'observa una tendència ascendent de les aportacions anuals a mesura que el riu es desplaça aigua avall; comportament que és modificat per les captacions del canal d'Urgell, reduint les aportacions anuals una mitjana de 411 hm^3. Suposant una variació en la magnitud anual del 34 % al seu pas per Alòs de Balaguer entre els anys 1958 i 1982, permetent un escolament mig anual de 791 hm^3 en comptes dels 1192 hm^3 que li correspondrien (sumem Alòs + captacions) per trobar la mitjana suposada d'Alòs durant aquest període. Al mateix temps les captacions mensuals del canal d'Urgell ballen entre els 18 i els 53 hm^3, arribant els mesos d'estiatge a superar el volum circulant del Segre a l'alçada d'Àlos de Balaguer.

b. Variabilitat diària

Oliana

La variabilitat dels valors habituals d'Oliana disminueix casi un 10% respecte als registres de l'estació d'Organyà, passant de 2,65 a Organyà a 2,39 a l'estació d'aforament d'Oliana. Això es degut a que augmenta més els valors del percentils mitjos que els dels extrems, tan superior com inferior. L'embassament d'Oliana tot i la poca capacitat d'emmagatzematge ha homogeneïtzat la variabilitat dels cabals diaris en termes generals, observant-se un petit increment en els cabals corresponents als percentils 25 i 50 d'Oliana respecte Organyà (veure figura A.4).

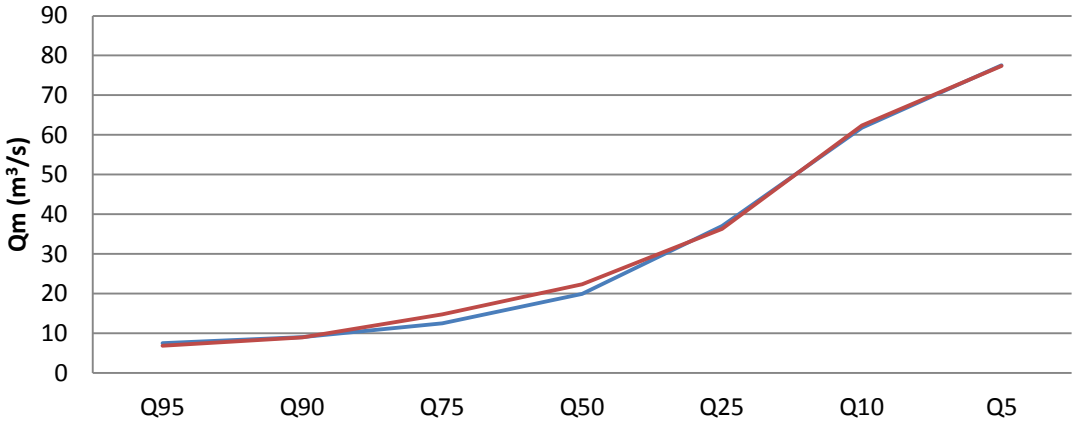


Figura B.4. Distribució dels percentils del cabal mig diari a les estacions d'Organyà (línia blava) i d'Oliana (línia vermella) enregistrats des de l'octubre de 1958 i el setembre de 2005 a partir de 40 anys de sèries de dades completes.

Rialb

L'alta capacitat d'emmagatzematge de l'embassament permet retenir una alta quantitat de recursos en diferents situacions. A la figura 25 es mostra l'impacte sobre la corba de cabals d'aquestes pràctiques, on es produeix una reducció de la freqüència dels percentils baixos i alts, seguida per una pujada forta en els cabals mitjos. Aquest fet incrementa la severitat de l'estiatge i suavitza la resposta hidrològica del caràcter nival de la conca alta del Segre. La variabilitat anual a Oliana és de 3,25 i a Rialb de 1,7, fet que indica per un costat l'alta variabilitat anual de la dècada de 2000-09 i per un altre costat la capacitat del pantà de Rialb de suavitzar el caràcter hidrològic heterogeni dels rius de la conca mediterrània.

Canal d'Urgell

Les captacions d'aigua del canal d'Urgell, sobretot entre abril i setembre, alteren la magnitud de les crescudes habituals aigua avall de la toma del canal d'Urgell, deixant el pas a un volum d'escorrentia inferior. Fet, que en alguns casos, les crescudes habituals queden absorbides per la toma d'aigua, alterant l'energia i la freqüència de les mateixes.

La diferència interanual entre l'aportació màxima i mínima mensual respon al comportament del sistema fluvial. Aquest comportament es veu alterat per la captació del Canal d'Urgell, tan en època d'estiatge com d'aigües altes.

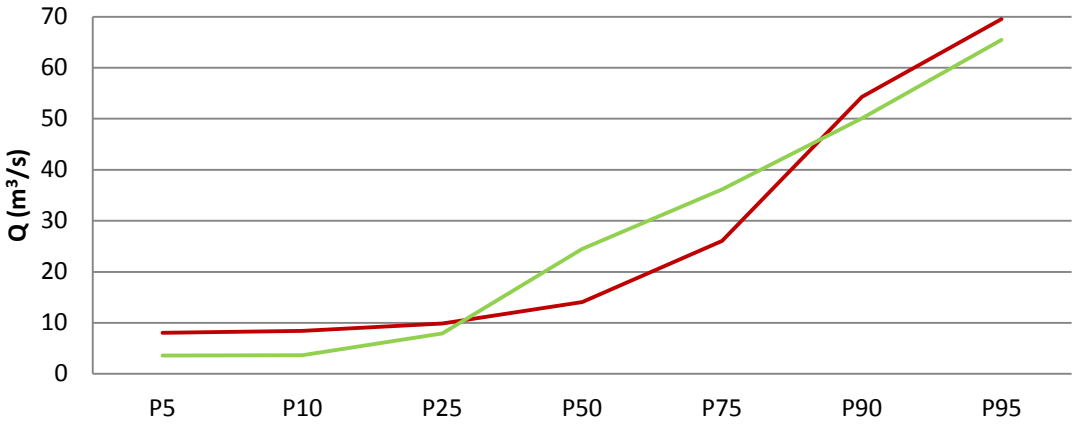


Figura B.5. Representació gràfica de la variabilitat diària de cabals mitjos a partir de la corbes de cabals classificats de les estacions d'Oliana (línia vermella) i de la sortida de l'embassament de Rialb (línia verda) entre els anys hidrològics 2000-2001 i 2008-2009.

ANNEX C. Valors Extrems (Resultats)

Alteració sobre RNC

a. Magnitud – Freqüència

Oliana

Novament, el període d'estudi està format per dues sèries de 40 anys de dades completes i temporalment coincidents (1958-2005). En el cas de la magnitud del $\bar{Q}_C$ i Q_{Bank} s'ha enregistrat un increment aigua avall de l'embassament d'Oliana, veure taula B.1. Aquest comportament és invers als 5 anys de registres previs a la construcció de l'embassament, anys d'una importantíssima sequera, provocant la pèrdua de recursos hídrics superficials a favor de l'aqüífer conjuntament amb la laminació en la propagació. Tant les variables de la mitja del cabal màxim circulant anual ($\overline{Q_C}$) i del cabal *bankfull* (Q_{Bank}), mostren una magnitud i una freqüència no alterada per la presència de l'embassament d'Oliana, a partir de les dades analitzades respecte aquests paràmetres.

Punt de control	$\overline{Qc}$ (m^3/s)	Q_{Bank} (m^3/s)	Q_{CH} (m^3/s)
Organyà	171,0	179,7	77,5
Oliana	186,1	215,8	77,4

Taula C.1. Recull del valor de la mitja del cabal màxim circulant anual, del cabal bankfull i del cabal corresponen al llindar inferior de les crescudes habituals des de la posada en funcionament de l'embassament d'Oliana (1958-2005).

Els anys precedents a la construcció de l'embassament d'Oliana es van enregistrar a l'estació d'Oliana un $\overline{Q_C}$ de 114 m^3/s entre els anys 1950 i 1958, dècada marcada per una sequera molt accentuada durant el bienni del 1956-58. L'augment del $\overline{Q_C}$ en els anys posteriors coincideix amb l'increment de l'escorrentia del riu Valira, el principal tributari aigua amunt de l'embassament d'Oliana, coincident amb la ràpida urbanització i la tala de boscos a Andorra (Batalla, 2004).

Índexs	IMF
Magnitud de les Avingudes Màximes[1]	0,92
Magnitud del Cabal *Bankfull*[1]	0,91
Magnitud de les Crescudes Habituals	1,00

[1] Situació on l'índex >1, substituint el valor obtingut pel seu invers

Taula C.2. Índex d'alteració de Magnitud i Freqüència (IMF) corresponents a l'embassament d'Oliana.

La B.2 recull els resultats de l'aplicació dels índex de magnitud i freqüència entre les estacions d'Organyà i d'Oliana, mostrant una variació molt petit en la magnitud de les crescudes extraordinàries (Q_c i cabal *bankfull*) aigua avall, però no es percep cap variació en l'índex de les crescudes habituals.

Al mateix temps, s'ha analitzat la recurrència de les crescudes després de la construcció de l'embassament en les dues estacions d'aforament, Organyà i Oliana. Gràcies a la disponibilitat de cabals màxims instantanis (Q_{ci}) durant més de 40 anys en les dues estacions, ens permet examinar si un valor més puntual en el temps i de molta importància en la dinàmica hidrosedimentària resulta alterat per la capacitat de laminació de l'embassament.

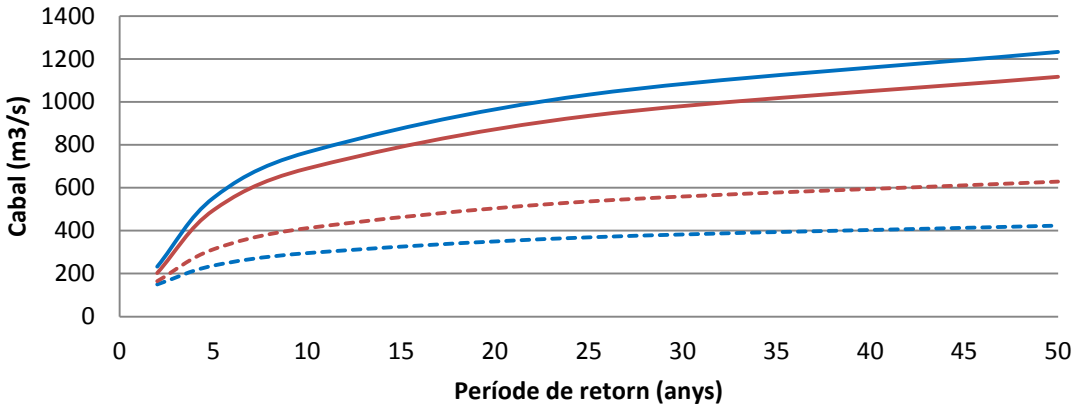


Figura C.1. Anàlisis de la freqüència a partir del model de distribució de Gumbel dels registres de Q_c (línia discontinua) i Q_{ci} (línia continua) dels anys hidrològics 1958-59 al 2006-07 en les estacions d'Organyà (línia blava) i d'Oliana (línia vermella).

Conseqüentment, s'ha calculat la recurrència de les crescudes, fins a un període de retorn de 50 anys. S'ha emprat la distribució de valors extrems de Gumbel (tipus 1) ajustant els valors de Q_c i Q_{ci} en les estacions d'Organyà i d'Oliana (mirar la figura C.1) pel període posterior a la construcció de l'embassament. No es detecta que l'embassament d'Oliana tingui prou volum disponible per alterar la magnitud del Q_c aigua avall. En canvi, quan analitzem els Q_{ci}, s'aprecia la suficient capacitat de laminació de l'embassament per obtenir en una mateixa freqüència una magnitud de Q_{ci}, a l'estació d'Oliana, sensiblement inferior a l'estimada per a l'estació d'Organyà.

En aquest cas, el baix grau d'embassament IR d'Oliana (0,1) és suficient per distorsionar la principal font d'energia del sistema fluvial, el Q_{ci}.

Rialb

Treballem amb dues estacions, la d'Oliana i la sortida de l'embassament de Rialb amb sèries de 8 anys de dades completes i temporalment coincidents, limitades pels anys hidrològics 2000 i 2009. L'interval d'estudi inclou uns anys de sequera extrema (2005, 2006 i 2007), altres de regulars i un de força humit (2008).

Els valors mitjos, durant aquests 8 anys, dels Q_c i del cabal *bankfull* (o formatiu) en les dues estacions presenten reduccions molt significatives aigües avall de l'embassament de Rialb (veure taula C.3).

Punt de control	$\bar{Q}_C$ (m^3/s)	Q_{GLL} (m^3/s)	Q_{CH} (m^3/s)
Oliana	130,4	160,2	69,5
Rialb	86,3	88,0	65,3

Taula C.3. Recull del valor de la mitja del cabal màxim circulant anual, del cabal bankfull i del cabal corresponen al llindar inferior de les crescudes habituals des de la posada en funcionament de l'embassament de Rialb (2000-2009).

Índexs	IMF
Magnitud de les Avingudes Màximes	0,66
Magnitud del Cabal Bankfull	0,74
Magnitud de les Crescudes Habituals	0,94

Taula C.4. Índex d'alteració de Magnitud i Freqüència (IMF) corresponents a l'embassament de Rialb.

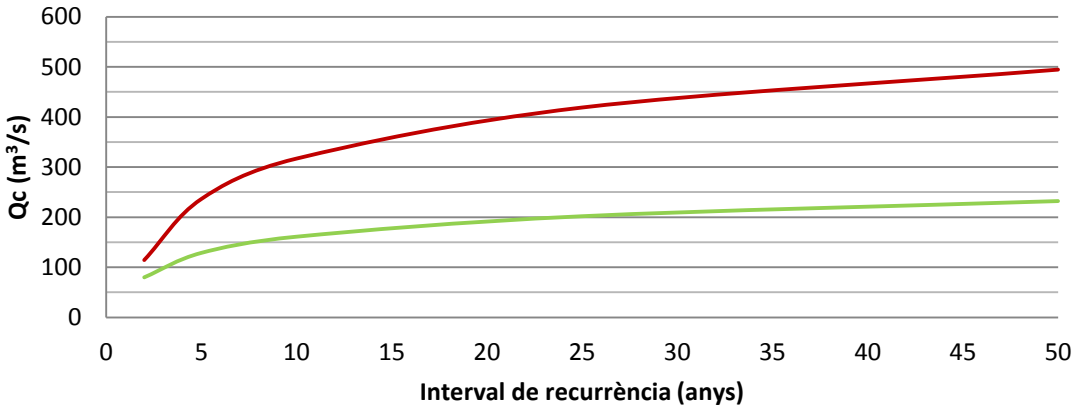


Figura C. 2. Anàlisi de freqüències dels Q_c esperats a Oliana (línia vermella) i a la sortida de l'embassament de Rialb (línia verda).

Els resultats mostren canvis en la magnitud de les avingudes màximes d'un 34%, i canvis en la magnitud del cabal *bankfull* de més d'un 26%. En canvi, tot hi haver alteracions sobre el llindar inferior de la magnitud del cabal de les crescudes habituals, no es mostra una alteració significativa respecte als valors enregistrats a l'estació d'Oliana (veure taula C.3). Totes aquestes variacions queden reflectides a la corba de recurrència dels màxims cabals diaris (Q_c) esperats, fet que pressuposa que s'ha produït una alteració sobre la freqüència dels cabals esperats. La corba mostra la distribució de cabals a partir del mètode de distribució de Gumbel (veure figura C.2), i son el resultat de l'alta capacitat d'alteració de l'embassament de Rialb degut al notable grau d'embassament (IR = 0,5).

L'alteració de l'embassament de Rialb sobre els cabals màxims diaris esperats es molt considerable i preocupant des d'un punt de vista de la dinàmica hidrosedimentària. L'embassament ha reduït a més de la meitat la magnitud del cabal màxim diari esperat, com a mínim en les recurrències de fins als 50 anys. Aquest fet facilita, a priori, la invasió dels marges per la vegetació, reduint-ne la llera activa. La manca de dades de cabals màxims instantanis

(Q_{ci}) no permet avaluar l'afecció produïda per la construcció de l'embassament de Rialb sobre aquesta variable, fet que resultaria de notable interès vista l'alta capacitat de laminació de l'embassament.

b. Variabilitat - Estacionalitat – Duració

Oliana

L'embassament d'Oliana afecta els cabals aigua avall (Organyà). A la taula B.5 es mostra la variabilitat dels Q_c i dels cabals de crescuda habitual per a un període de 39 anys, assenyalant, una vegada més, la forta afecció a la variabilitat anual. Aquesta variabilitat es fa evident si ens fixem en el resultat assolit pels índex d'alteració, fent-se més acusada en els cabals màxims anuals que en els cabals corresponents a les crescudes habituals.

Per al període que comprèn els anys amb registres de dades pre-embassament (1952-53 a 1958-59), s'ha analitzat la variabilitat del cabal màxim diari per cada any i el cabal de les crescudes habituals. La diferencia de la variació de cabals entre estacions d'aforament és molt petita, pròxima al 3%. Tot i l'absència d'embassament, l'aplicació de l'índex de variabilitat de les avingudes màximes diàries anuals i l'índex de variabilitat de les Crescudes Habituals denota unes diferències entre la variabilitat de les estacions pròxima al 10%, segurament produïdes per l'atenuació i emmagatzematge conseqüents d'una variació espacial del cabal produït pel desglaç de neu i per la variació en les contribucions de les aigües subterrànies.

	Coef. Variació Q_c	Coef. Variació CH
Organyà	0,57	0,35
Oliana	0,77	0,45
Índex	1,35	1,30

Taula C.5. Coeficients de variació del màxim cabal mig diari anual i coeficient de variació dels cabals corresponents a la crescuda habitual a Organyà i Oliana. Conjuntament es recull l'índex de variabilitat (IV) de les avingudes màximes diàries anuals i l'índex de variabilitat (IV) de les Crescudes Habituals durant el període posterior a la construcció de l'embasament.

La variació sobre el Q_c es pot observar entre els dos punts de control, Organyà i Oliana, presentant diferències positives superiors als 400 m^3/s quan Oliana desembassa i de negatives fins als 160 m^3/s quant l'embassament lamina o emmagatzema.

La figura C.3**,** recull la freqüència mensual d'aquells cabals iguals o superiors al $Q_{5\%}$, reflectint un canvi entre les estacions respecte a la freqüència primaveral. Organyà, durant l'estació de les aportacions de la fusió nival, presenta un patró on el màxim es centra en el mes de maig i juny. L'embassament, té prou capacitat per desplaçar una part dels cabals del maig al més de juny, homogeneïtzant la freqüència mensual.

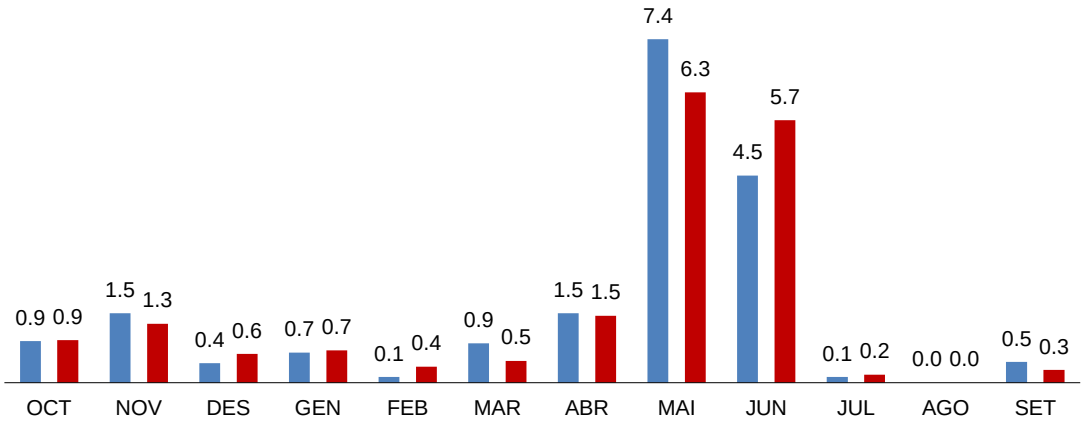


Figura C. 3. Comparació de les freqüències mensuals dels cabals superiors a la Crescuda Habitual a les estacions d'Organyà (barres blaves) i Oliana (barres vermelles).

	Dies
Organyà	38
Oliana	42
Índex[1]	0,9

[1] Situació on l'índex >1, substituint el valor obtingut pel seu invers

Taula C.6. Número mig de dies consecutius amb cabals amb un valor superior al quartil 5% a les estacions d'Organyà i d'Oliana. Conjuntament es recull l'índex de Duració (ID) amb dies consecutius on els cabals són superior al quartil 5%.

La duració de les crescudes no s'ha vist afectada per la presencia i gestió de l'embassament d'Oliana, mantenint-se el seu màxim fins a 42 dies de mitja anual a l'estació d'Oliana (veure taula C.6).

Rialb

A la taula B.7 es mostra la variabilitat dels Q_c i els cabals de crescuda habitual per a un període de 9 anys, en el que s'evidencia, una vegada més, l'afecció a la variabilitat anual del pantà de Rialb. Aquesta variabilitat es fa evident si ens fixem en el resultat assolit pels índex d'alteració, (i.e. reducció de la variabilitat), fent-se més acusada en les crescudes habituals. Es pot observar com el descens de la variabilitat aigües avall ha arribat a disminuir fins un 52% en el cas de les crescudes habituals i un 39% en el cas dels màxims cabals diaris.

Cal tenir present que per al període que comprèn els anys amb registres de dades previs a la construcció de l'embassament, del 1958-59 al 1981-82, es va analitzar la variabilitat del cabal màxim diari per cada any i el cabal de les crescudes habituals. S'observa que la diferencia de la variació de cabals entre les estacions d'Oliana i Ponts és molt petita, pròxima als 0,05 punts, i amb increments a la variabilitat del Q_c i reduccions en la variabilitat del cabal de crescuda habitual. Tot i l'absència d'embassament, l'aplicació dels índex denota una reducció entre la variabilitat de les estacions pròxima al 6% en el cas del Q_c i del 16% per ales crescudes habituals.

	Coef. Variació Q_c	Coef. Variació CH
Oliana	0,88	0,42
Rialb	0,53	0,21
Índex	0,61	0,48

Taula C.7. Coeficients de variació del màxim cabal mig diari anual i coeficient de variació dels cabals corresponents a la crescuda habitual a Oliana i Ponts. Conjuntament es recull l'índex de variabilitat (IV) de les avingudes màximes diàries anuals i l'índex de variabilitat (IV) de les Crescudes Habituals durant el període posterior a la construcció de l'embasament.

Cal indicar que en la mitjana del màxim cabal diari anual presenta diferències positives anuals superiors als 13 m^3/s quan Rialb desembassa i de negatives de 250 m^3/s quant l'embassament lamina o emmagatzema. Aquestes fluctuacions contrasten amb el valor mig del màxim cabal diari anual de tot el període post-Rialb, que s'aproxima als 65,3 m^3/s.

El pantà de Rialb, es troba en un escenari marcat per l'alta freqüència de les aigües altes al més de maig, fruit de la fase del desgel que s'ha avançat en els últims anys concentrant-se en un sol mes (Gallart, 2004). Al mateix temps tenim un increment del cabal al mes de març, mostrant un nou perfil de comportament (veure figura B.4). És un perfil alterat pel baix valor del llindar del màxim cabal diari, modificat pels baixos cabals enregistrats durant la sequera de la segona meitat de la primera dècada dels 2000, reduint la mitja del valor del període fins un 32%, (de 95,6 a 65,3 m^3/s). Aquest fet que ha permès incorporar cabals baixos al grup de crescudes superiors al $Q_{5\%}$.

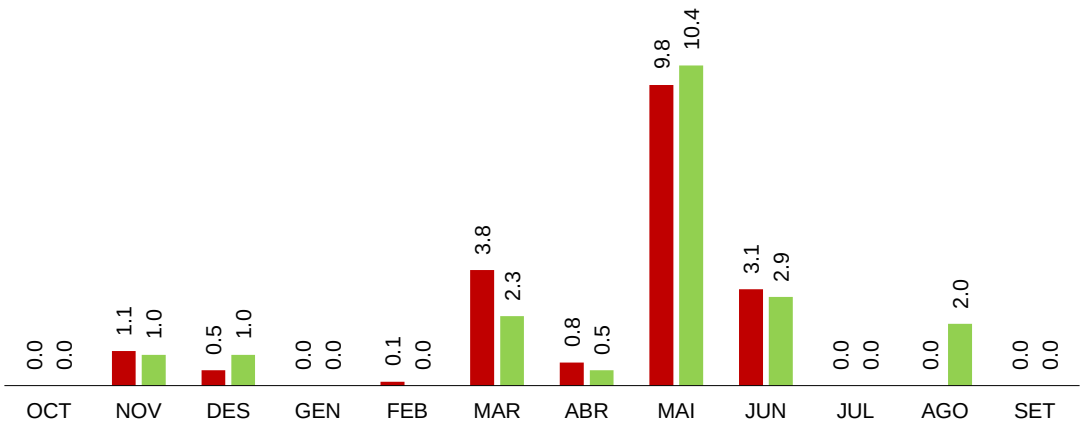


Figura C.4. Comparació de les freqüències mensuals dels cabals superiors a la Crescuda Habitual a les estacions d'Oliana (barres vermelles) i Rialb (barres verdes).

Al mateix temps, trobem un nou escenari on s'alteren els quatre mesos d'estiatge per l'alliberament d'aigua per a reg de l'embassament de Rialb durant el mes d'agost (veure figura C.4).

La duració de les crescudes no s'ha vist afectada per la presencia i gestió de la presa de Rialb, mantenint-se el seu màxim fins a 32 dies de mitja anual a les dues estacions. Fent que l'índex de durabilitat es mantingui a la unitat.

ANNEX D. Evolució Morfològica (Resultats)

L'evolució de la morfologia del Segre mig s'ha analitzat a partir de la identificació i la digitalització d'un conjunt unitats morfològiques de les fotografies aereas i ortofotomapes de la zona entre el 1956 fins al 2008. La cartografia resultant, les fotografies aereas i els ortofotomapes utilitzats han estat distribuits en 20 plans (o fulls) i s'han inclòs a l'annex D. La figura D.1, mostra, identifica i localitza la distribució espacial dels diferents fulls de l'annex D.

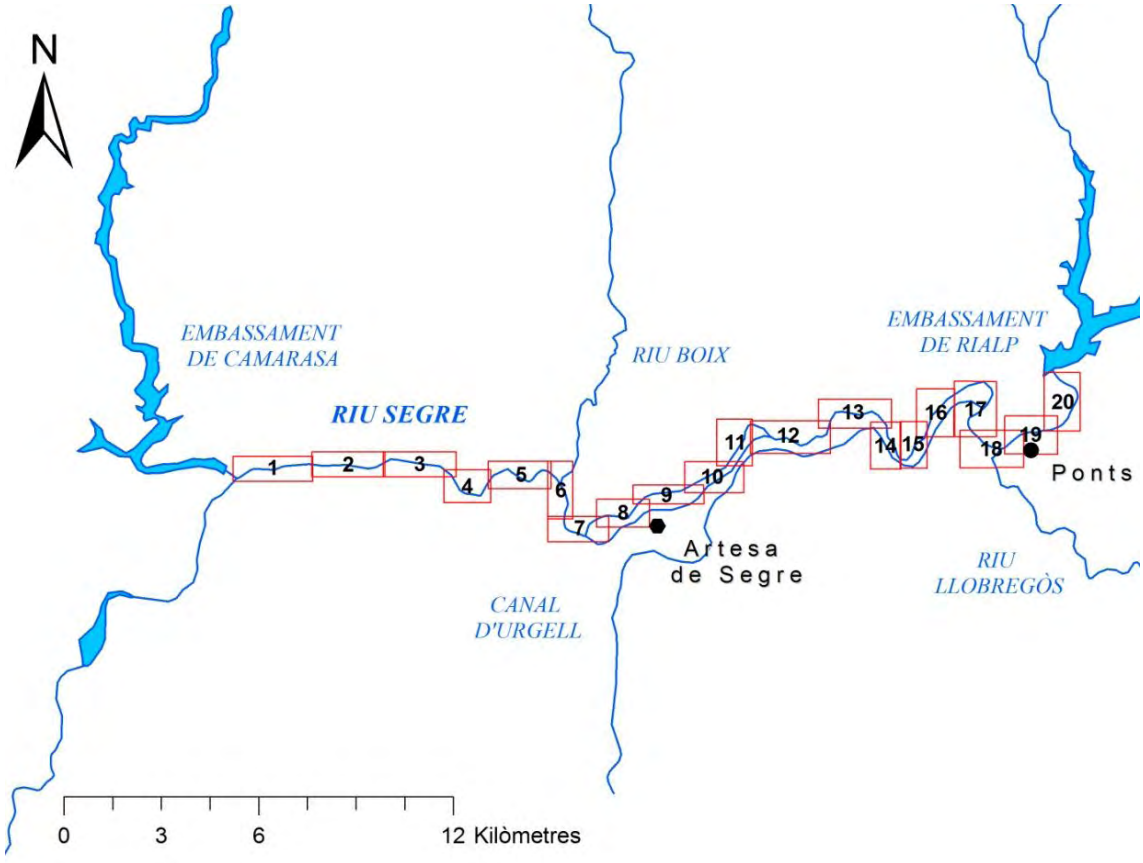


Figura D. 1. Tram seleccionat per a l'estudi del diagnòstic sedimentari del Segre Mig. El seu recorregut ha estat delimitat amb 20 plans (o seccions) per distribuir a l'annex C la cartografia morfològica resultant i les fotografies aèries i els ortofotomapes utilitzats en l'anàlisi de l'estudi de l'evolució morfològica del riu Segre.

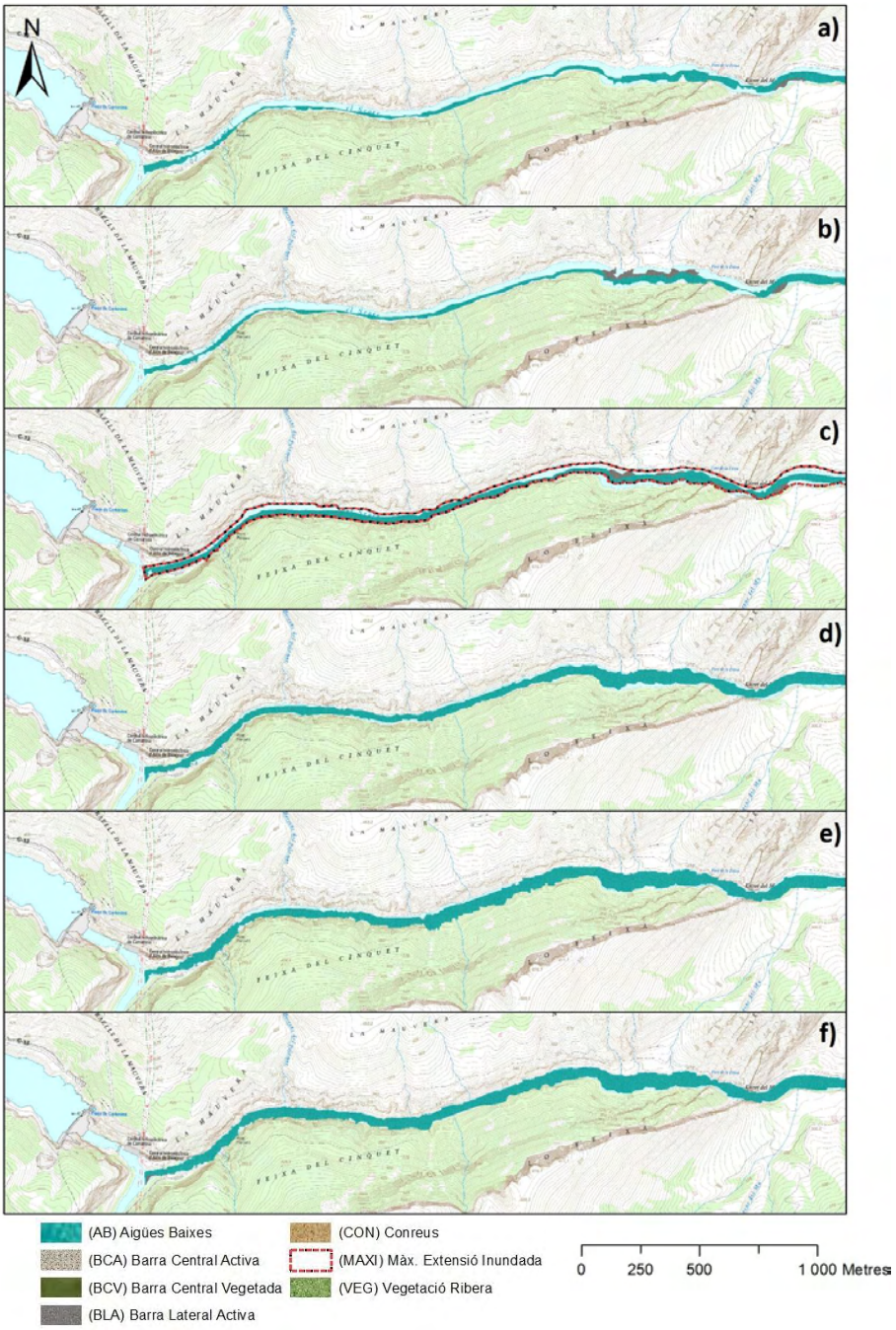


Figura D. 2. (Full 1) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre l'embassament de Camarasa i l'estret del Mu (3 km aigua avall d'Alòs de Balaguer), referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del d) 1992 s'observa una pèrdua d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) amb la construcció d'una resclosa 200 metres aigua amunt de la confluència amb la Noguera Pallaresa. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

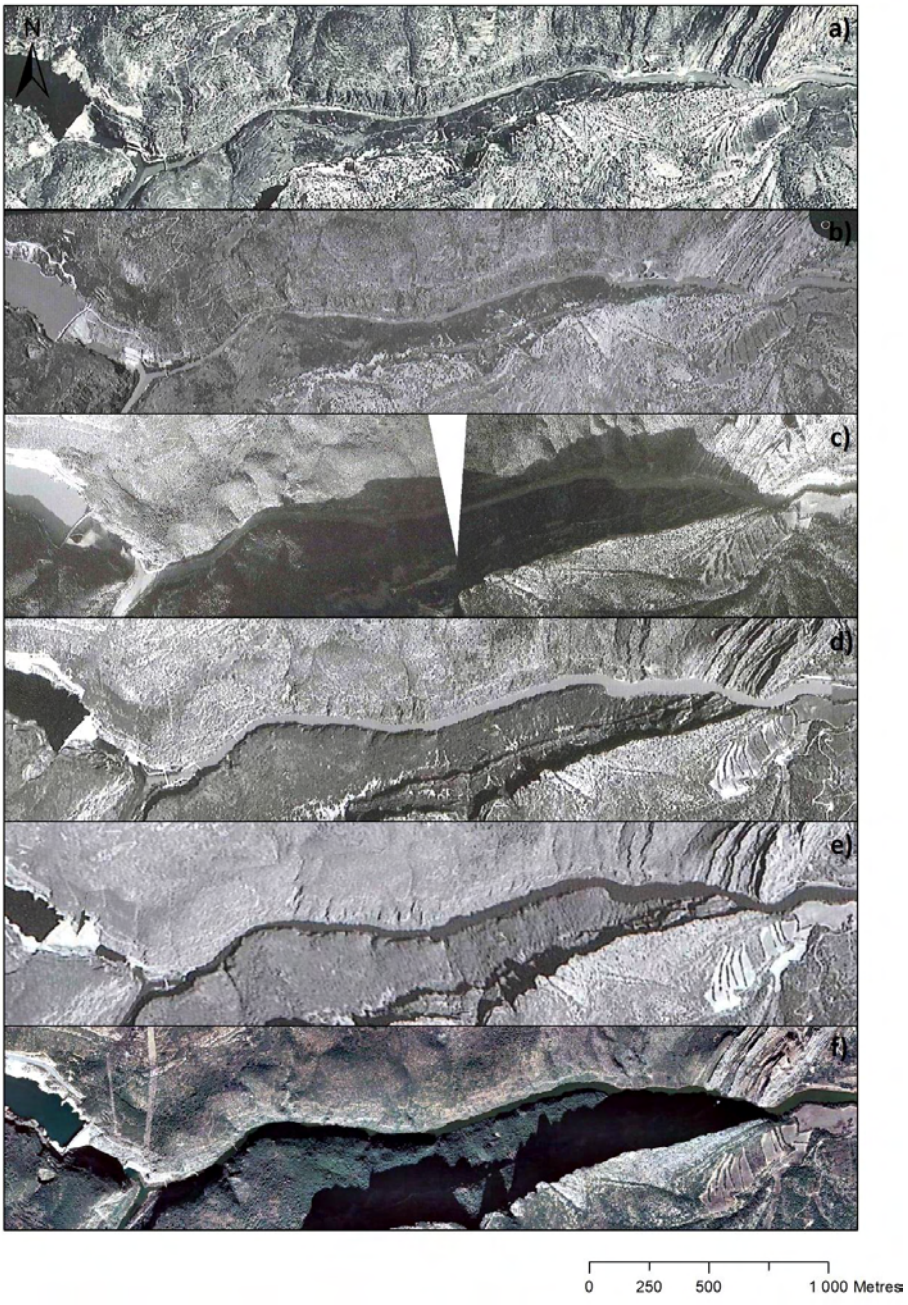


Figura D. 3. (Full 1) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre l'embassament de Camarasa i l'estret del Mu (3 km aigua avall d'Alòs de Balaguer), referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del d) 1992 s'observa una pèrdua d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) amb la construcció d'una resclosa 200 metres aigua amunt de la confluència amb la Noguera Pallaresa. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

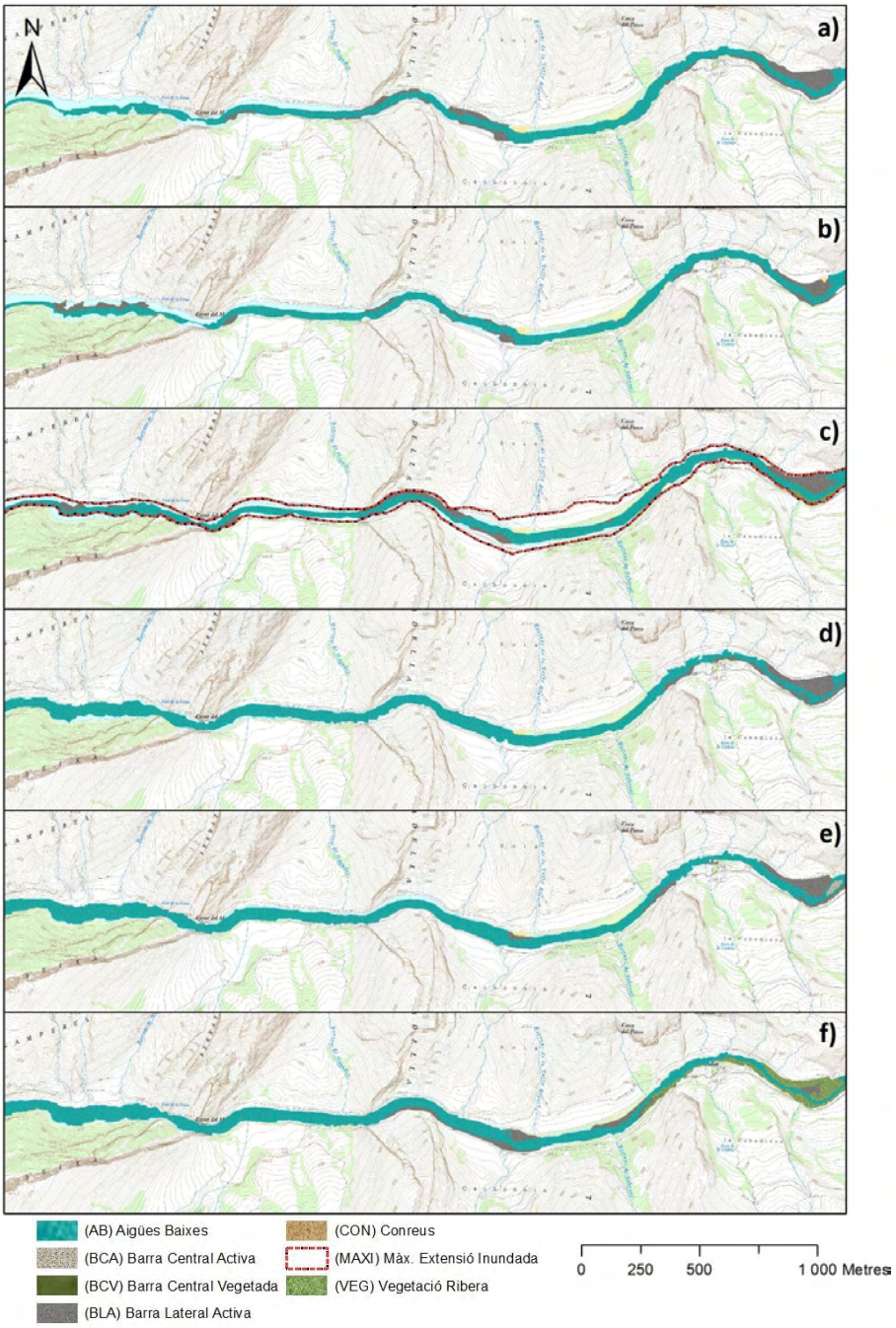


Figura D. 4. (Full 2) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre l'estret del Mu i el pont d'Alòs de Balaguer (400 m aigua avall d'Alòs de Balaguer), referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

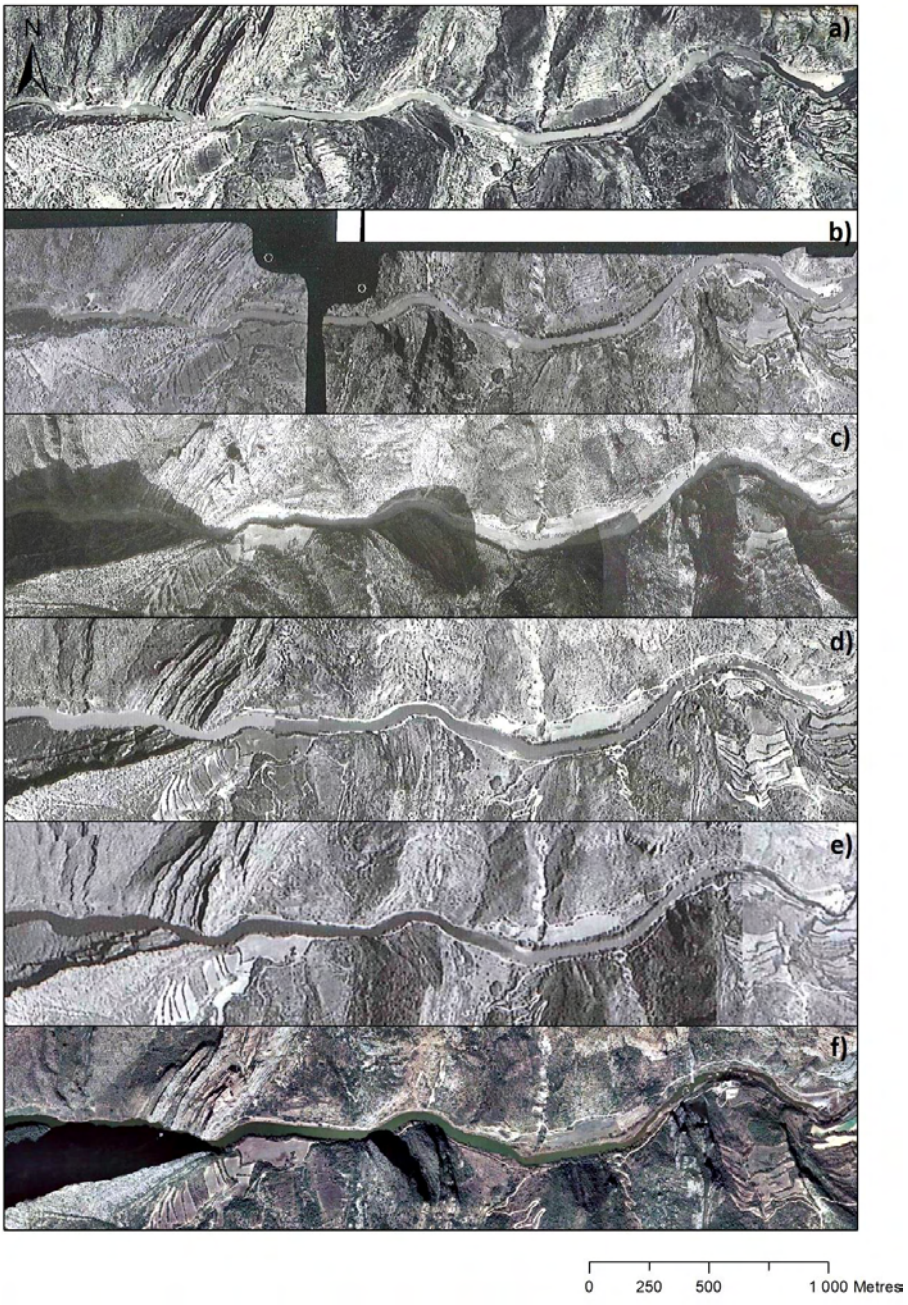


Figura D. 5. (Full 2) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre l'estret del Mu i el pont d'Alòs de Balaguer (400 m aigua avall d'Alòs de Balaguer), referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

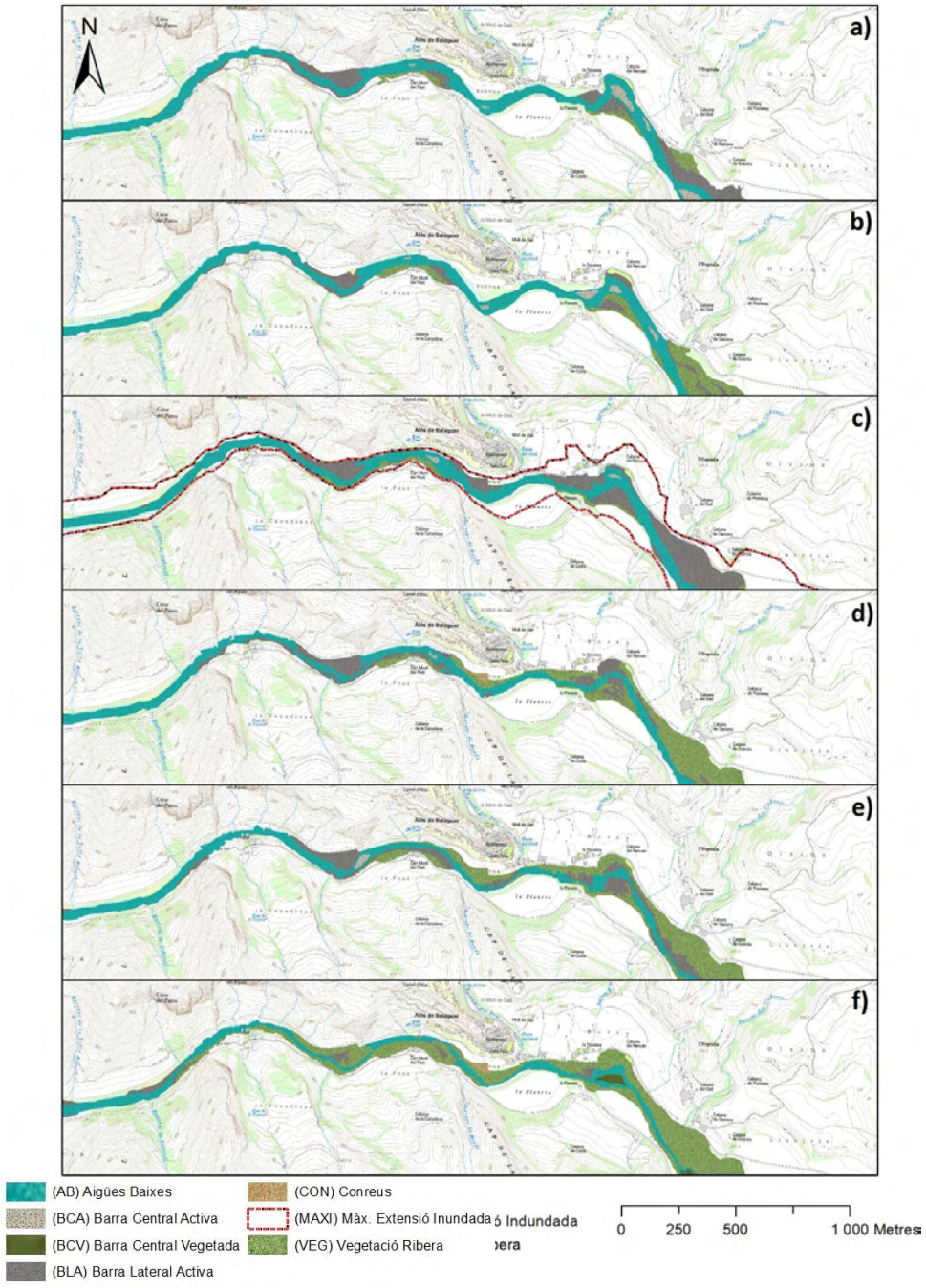


Figura D. 6. (Full 3) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre el pont d'Alòs de Balaguer i 1 km aigua amunt d'Alòs de Balaguer, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

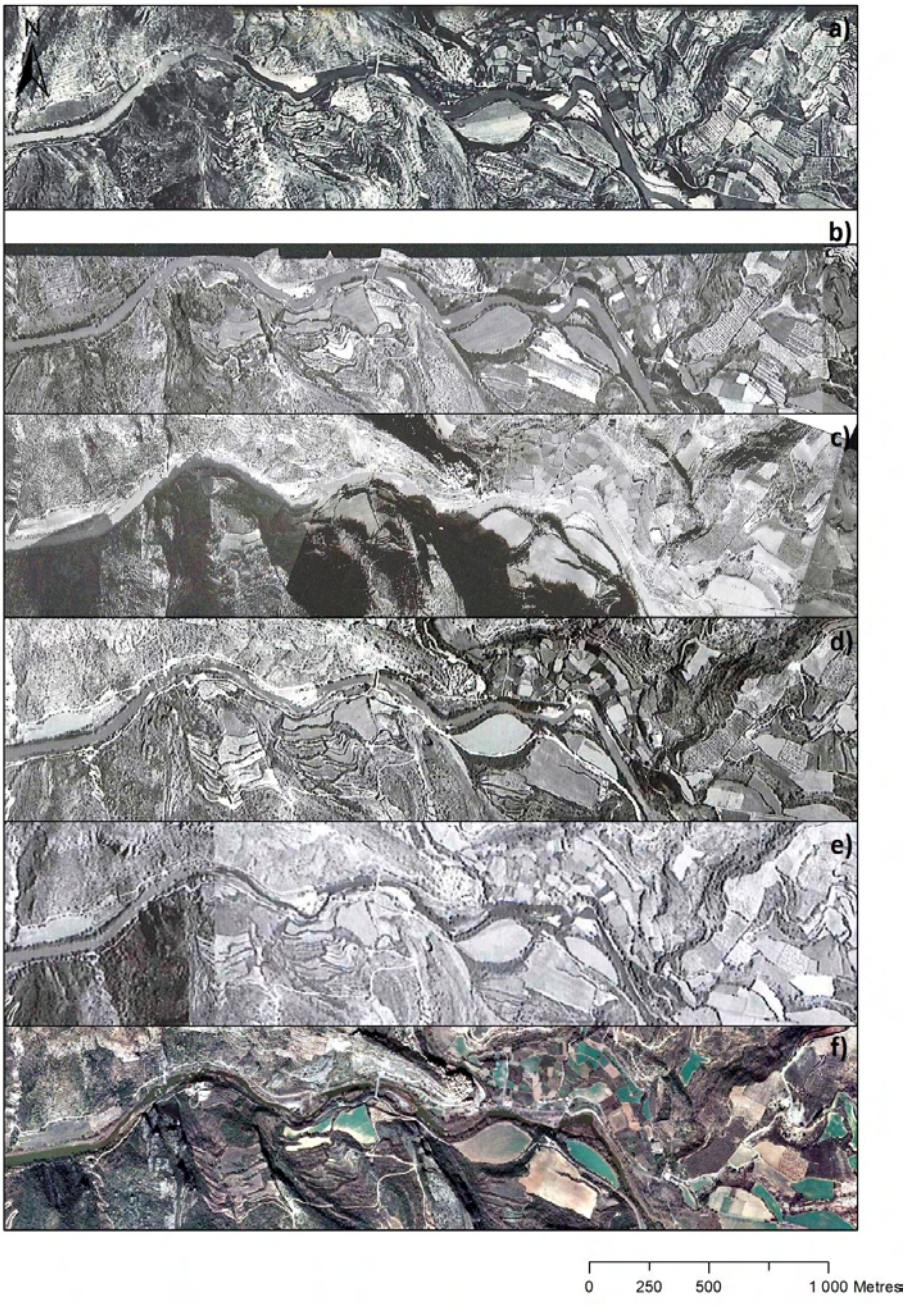


Figura D. 7. (Full 3) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre el pont d'Alòs de Balaguer i 1 km aigua amunt d'Alòs de Balaguer, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

.

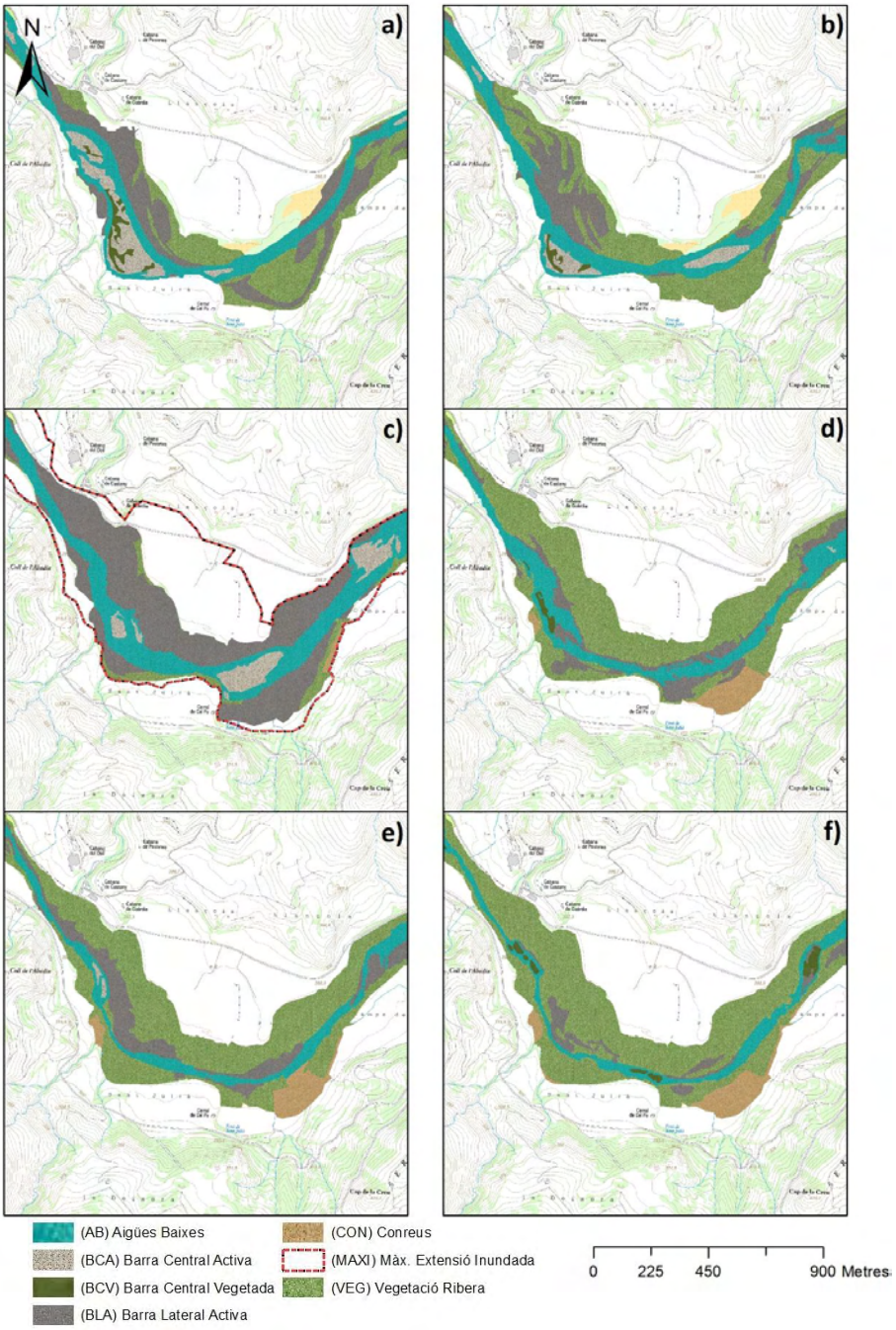


Figura D. 8. (Full 4) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre la confluència del riu Segre amb el tributari barranc dels Codonys i el paratge camps del riu, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

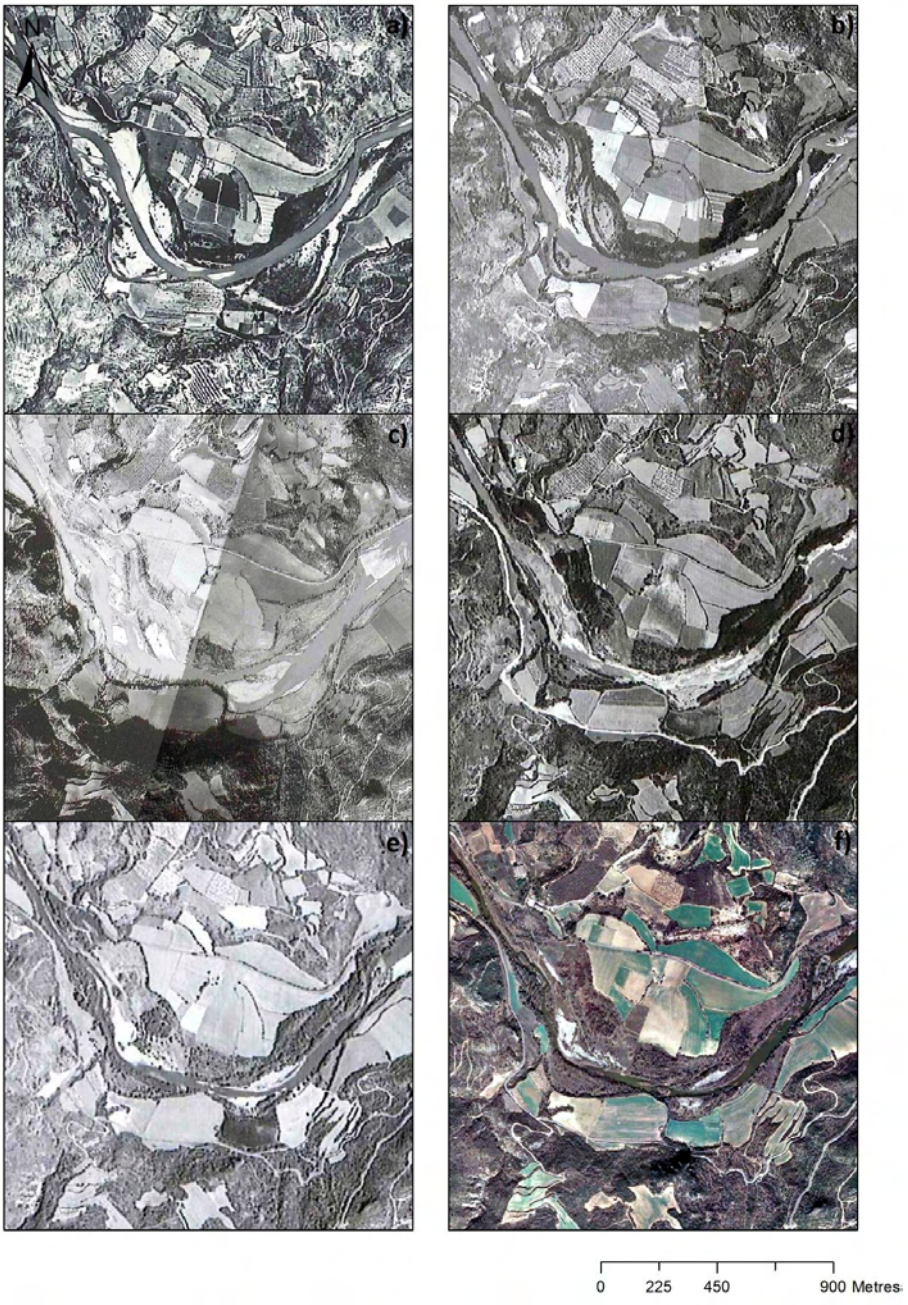


Figura D. 9. (Full 4) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre la confluència del riu Segre amb el tributari barranc dels Codonys i el paratge camps del riu, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

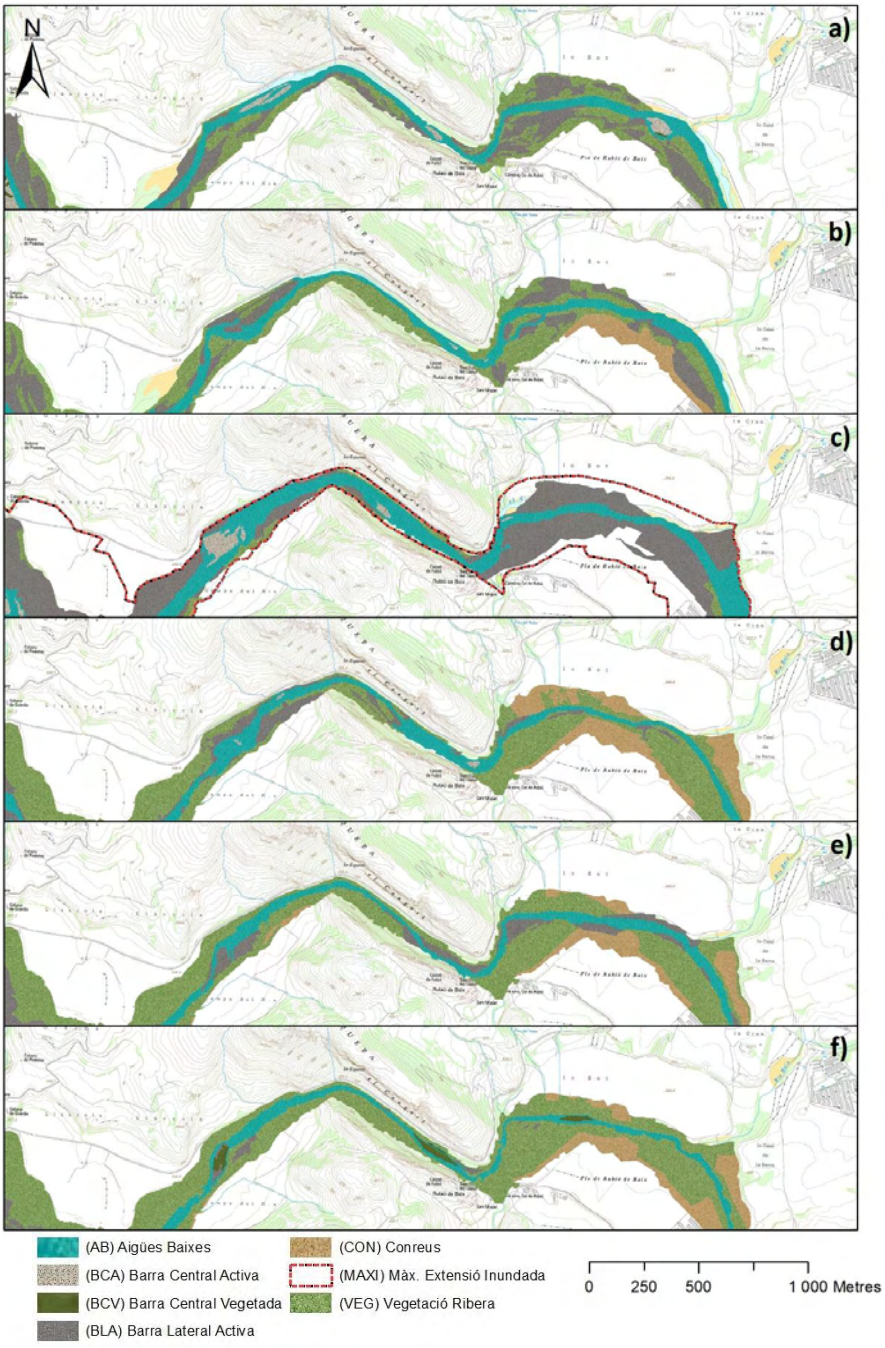


Figura D. 10. (Full 5) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre el paratge camps del riu i la confluència del riu Segre amb el riu Foix, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

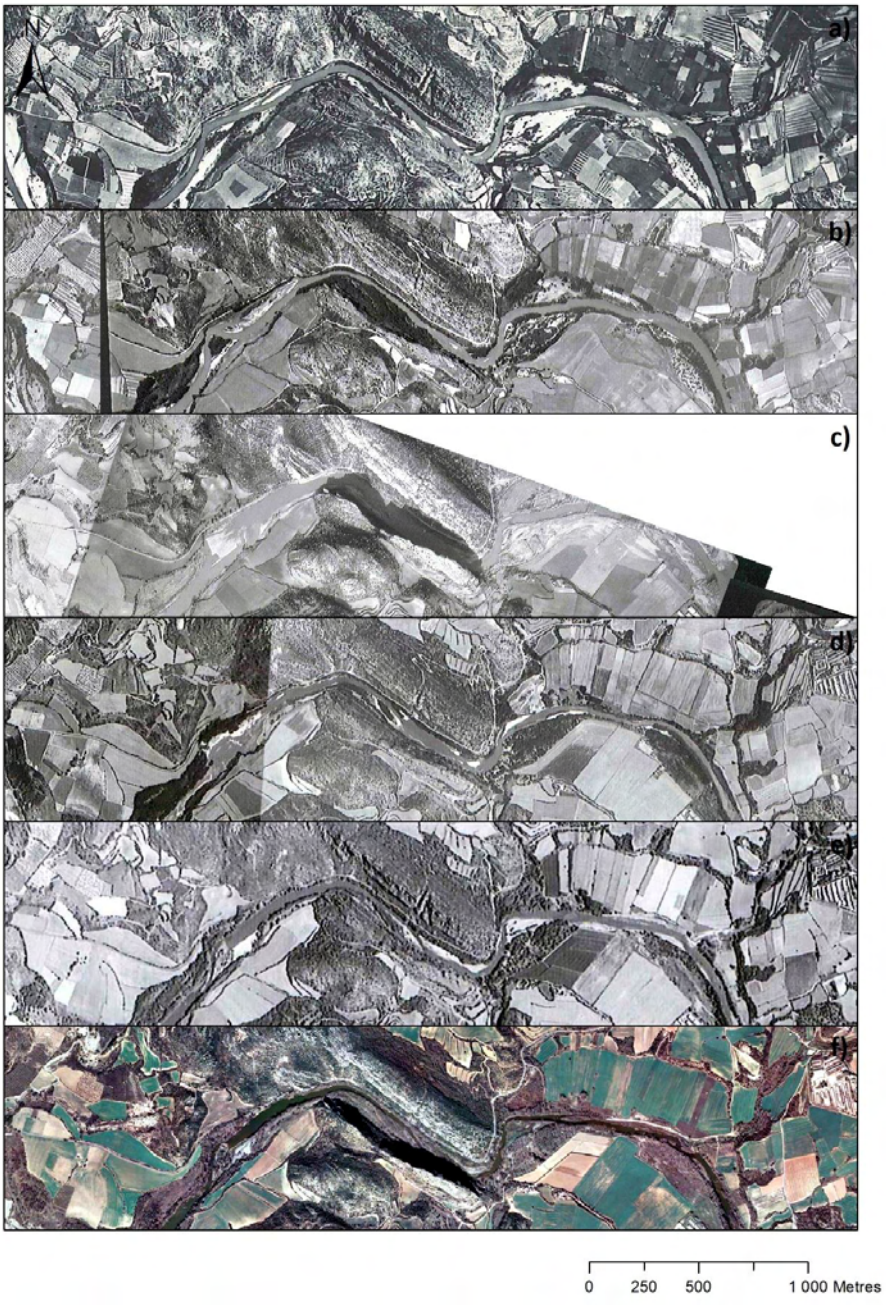


Figura D. 11. (Full 5) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre el paratge camps del riu i la confluència del riu Segre amb el riu Foix, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

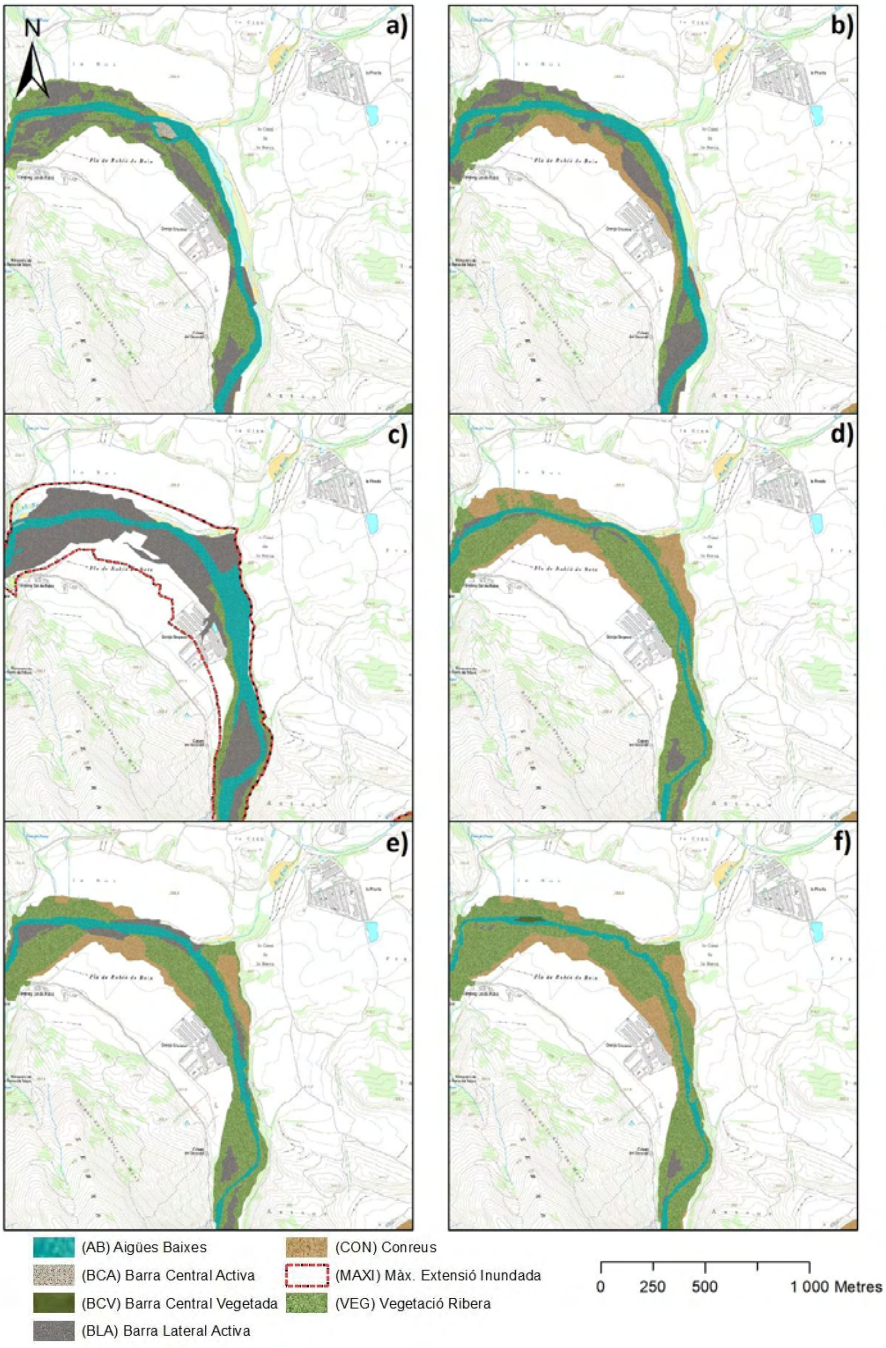


Figura D. 12 (Full 6) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre la confluència del Segre amb el riu Foix i el paratge de santa Maria de Salgar, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va de sud-est a oest de les imatges.

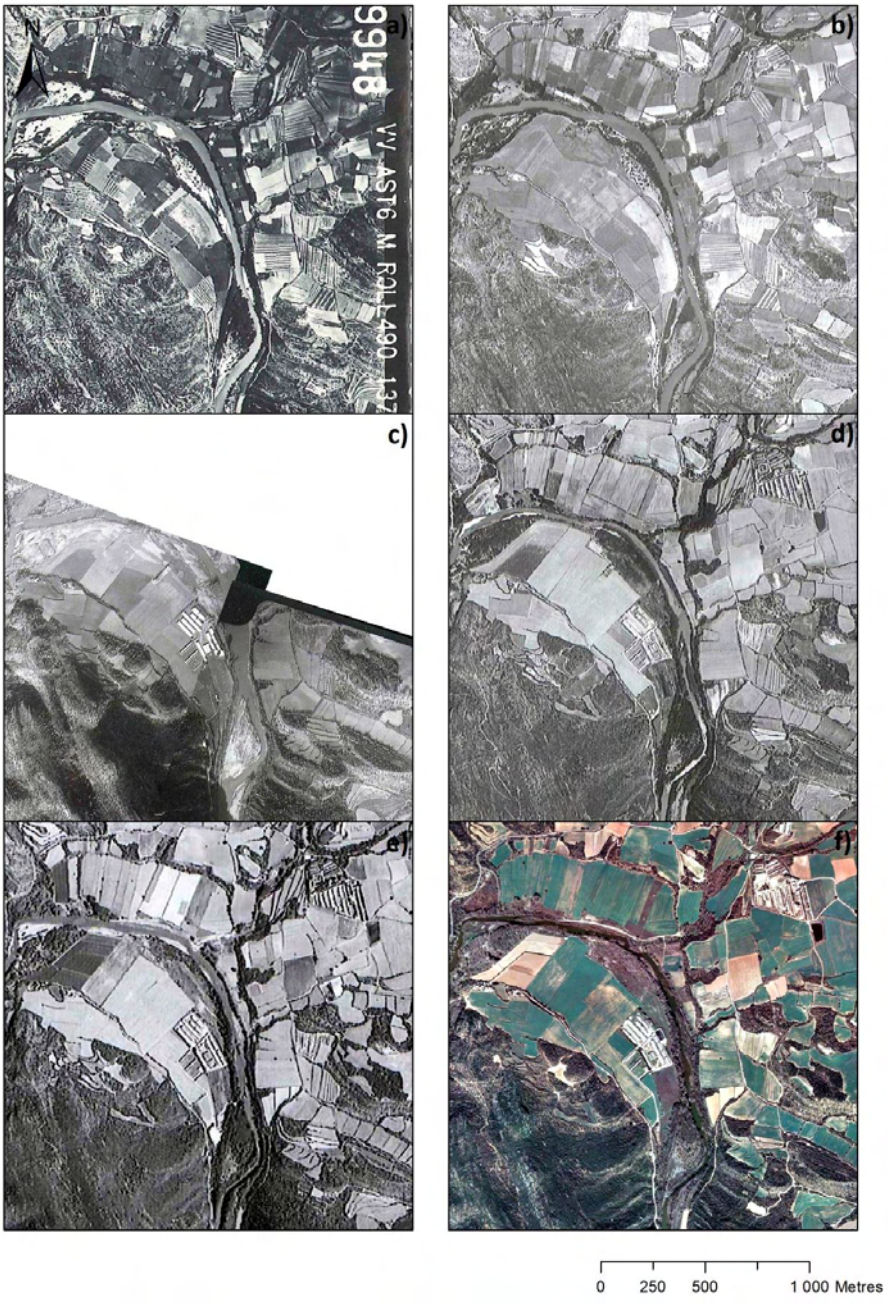


Figura D. 13. (Full 6) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre el paratge camps del riu i la confluència del riu Segre amb el riu Foix, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

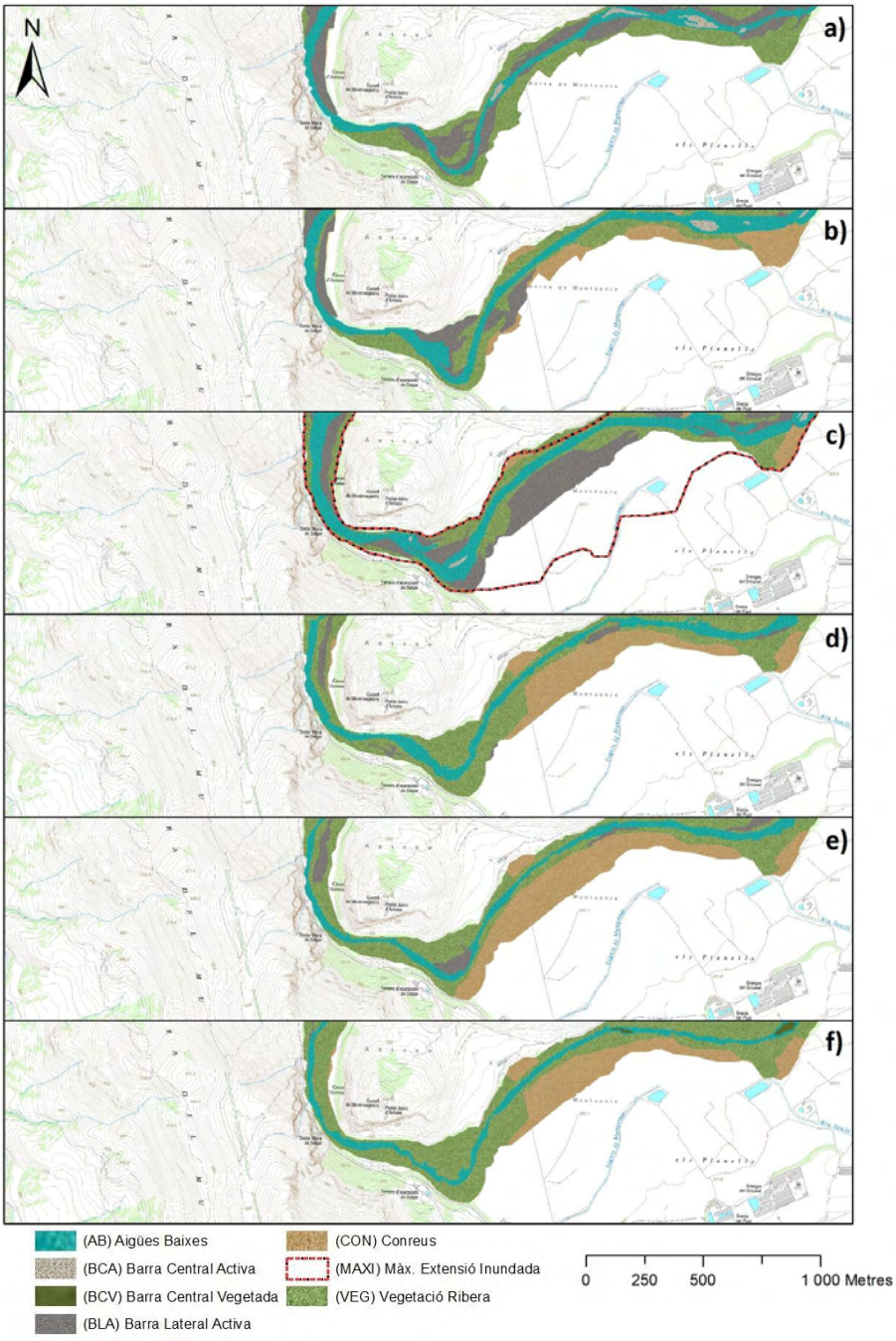


Figura D. 14. (Full 7) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre el paratge de santa Maria de Salgar i el paratge de la Planella, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va de nord-est a nord-oest de les imatges.

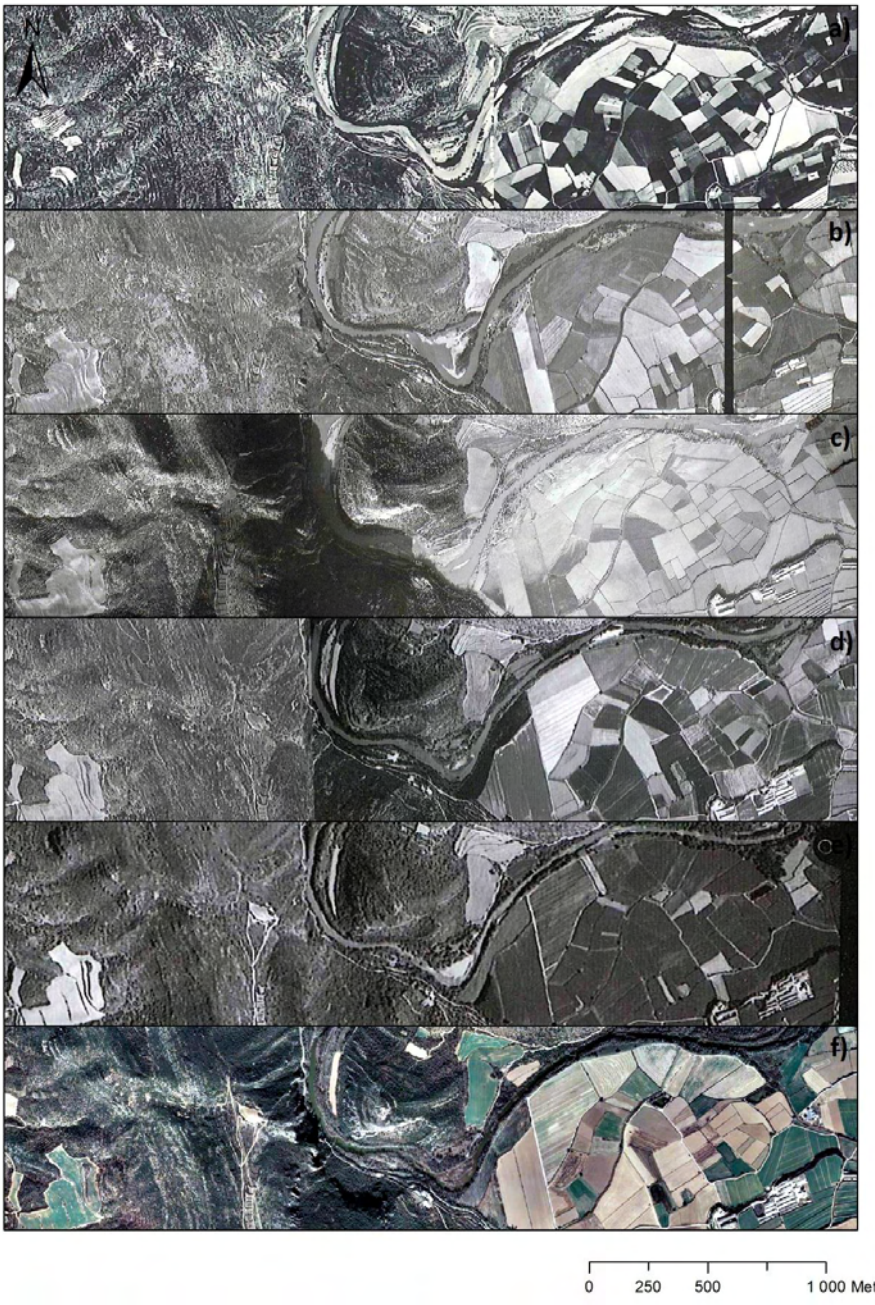


Figura D. 15 (Full 7) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre el paratge de santa Maria de Salgar i el paratge de la Planella, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va de nord-est a nord-oest de les imatges.

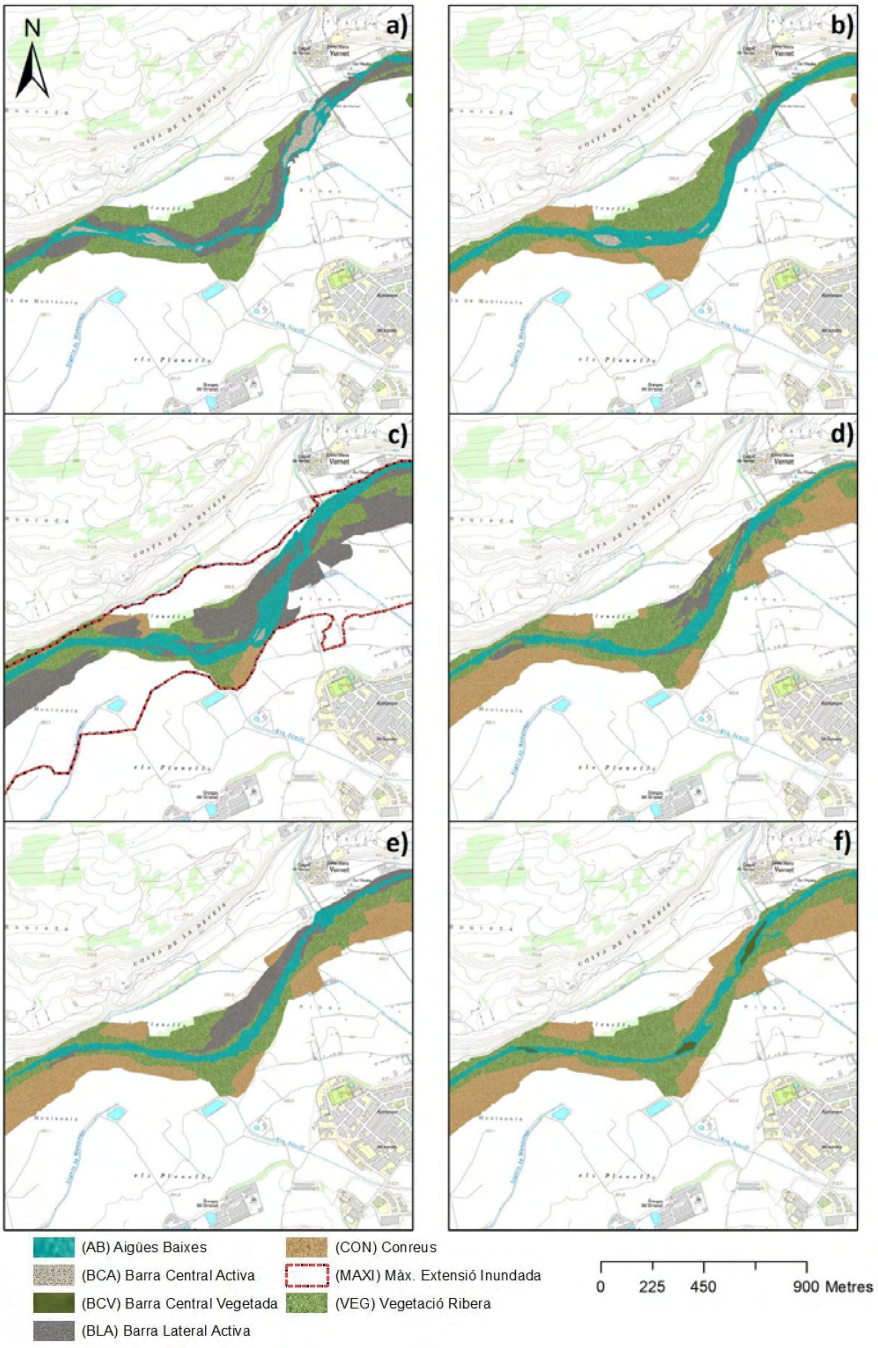


Figura D. 16 (Full 8) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre el paratge de la Planella i el nucli urbà de Vernet (Artesa de Segre), referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

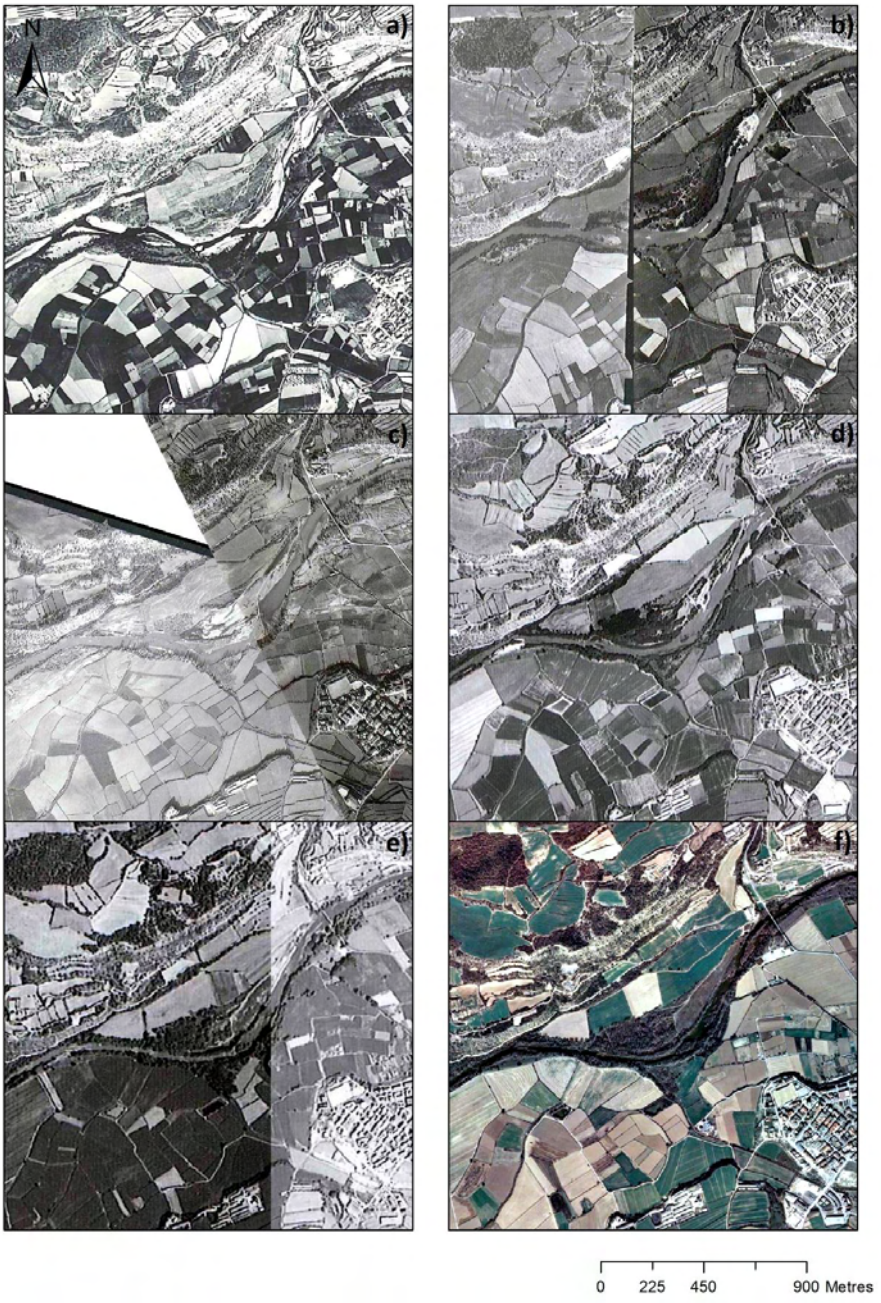


Figura D. 17 (Full 8) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre el paratge de la Planella i el nucli urbà de Vernet (Artesa de Segre), referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

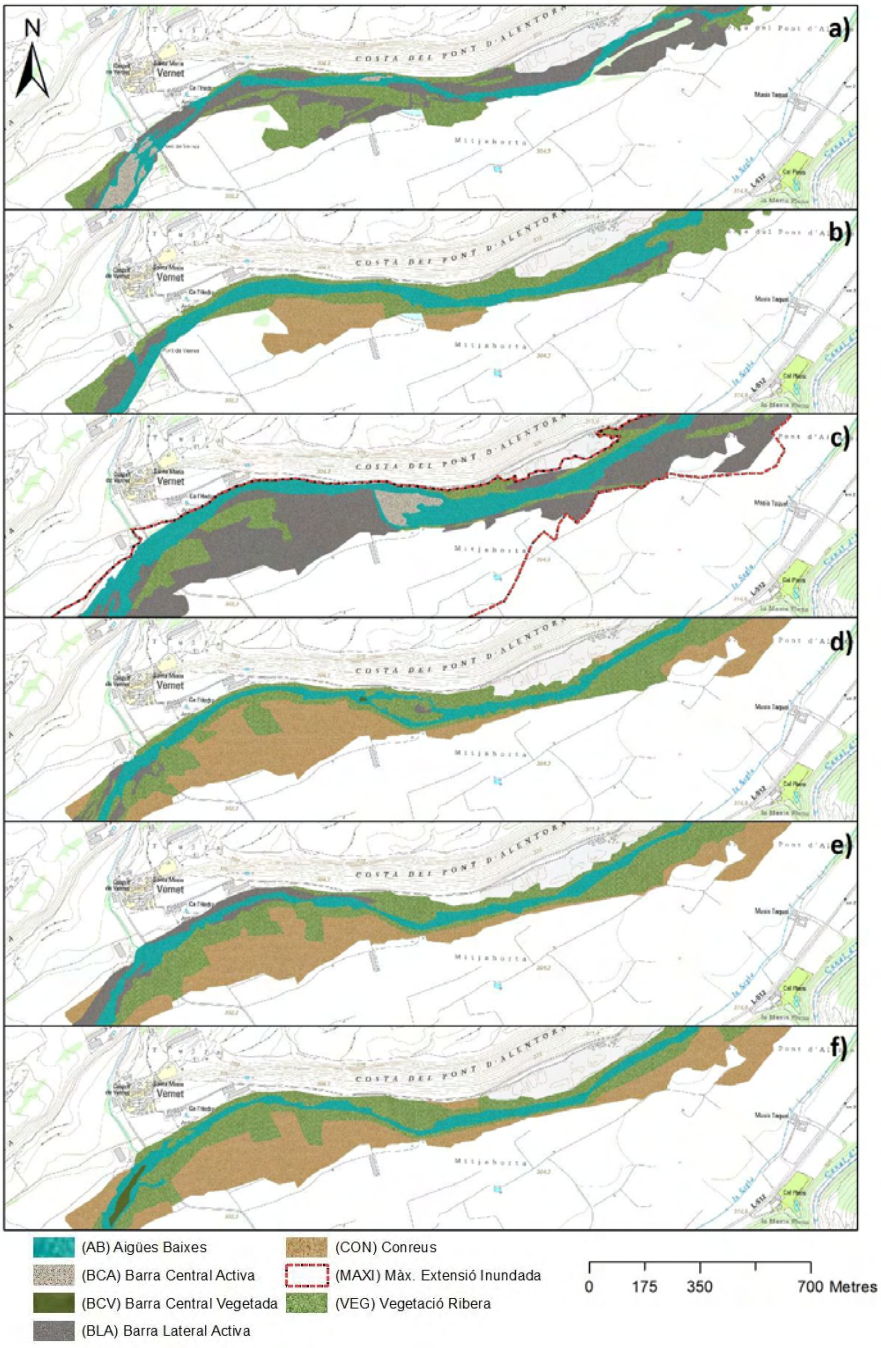


Figura D. 18 (Full 9) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre el nucli urbà de Vernet (Artesa de Segre) i el Pont d'Alentorn, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

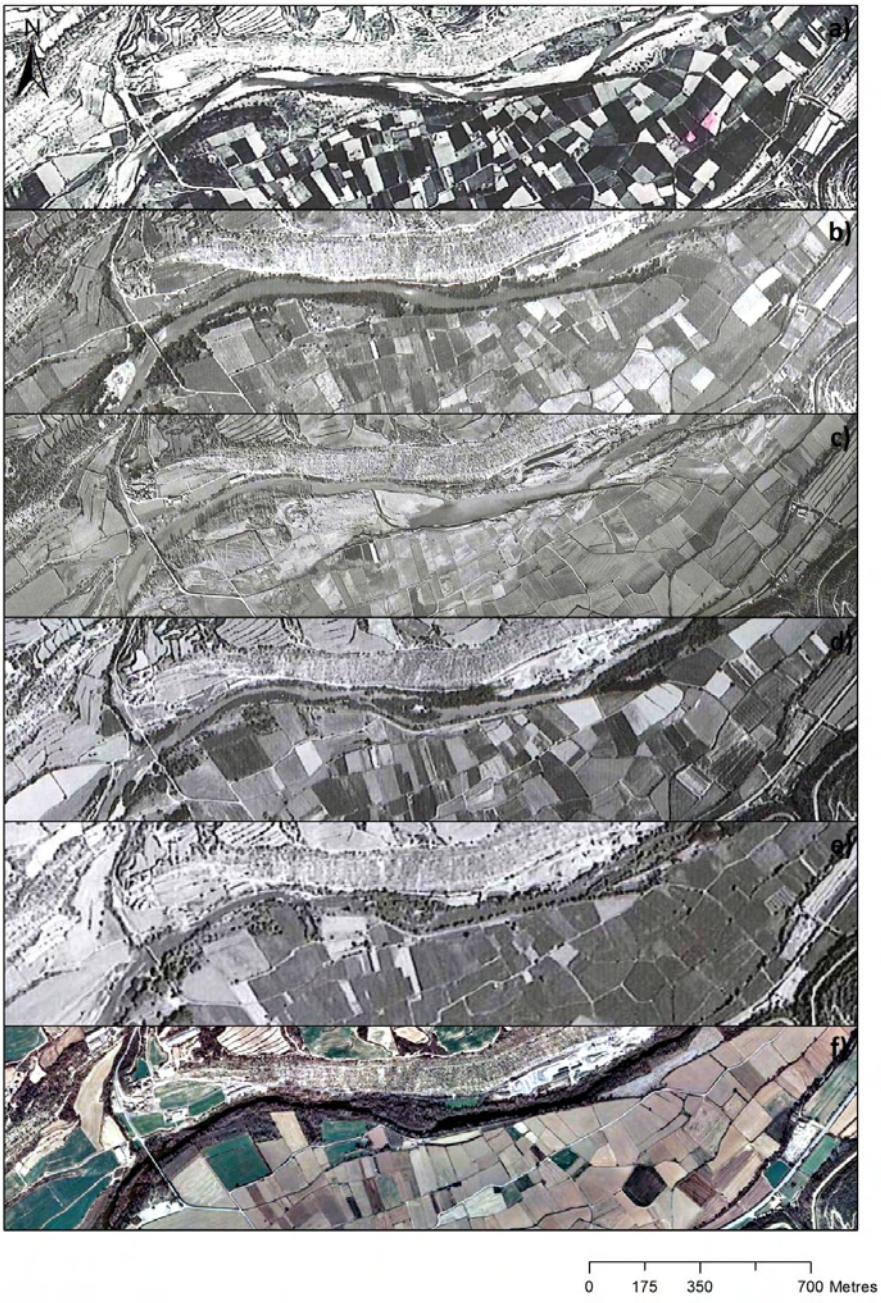


Figura D. 19 (Full 9) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre el nucli urbà de Vernet (Artesa de Segre) i el Pont d'Alentorn, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

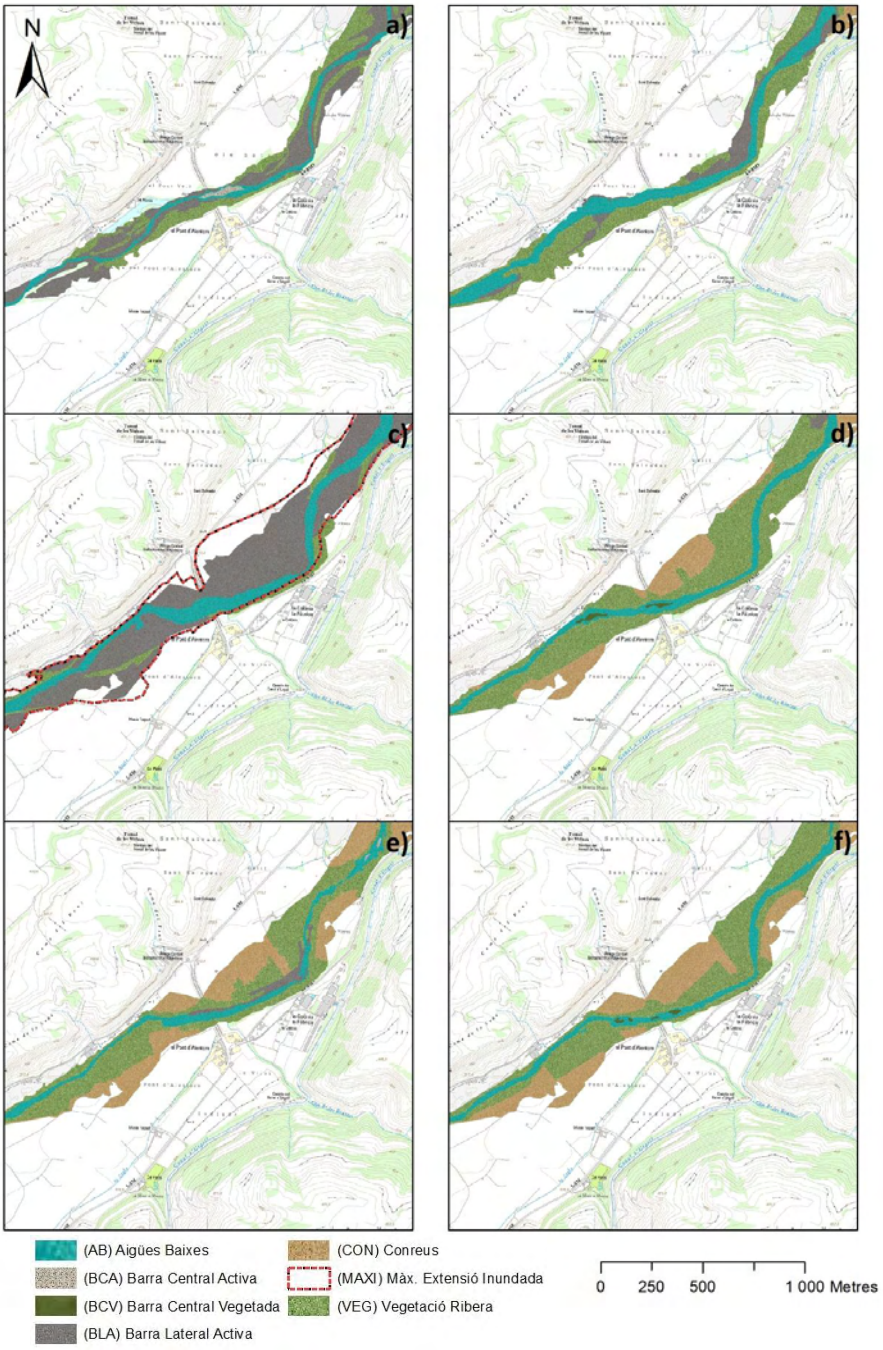


Figura D. 20 (Full 10) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre el Pont d'Alentorn i la gravera del Camats, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

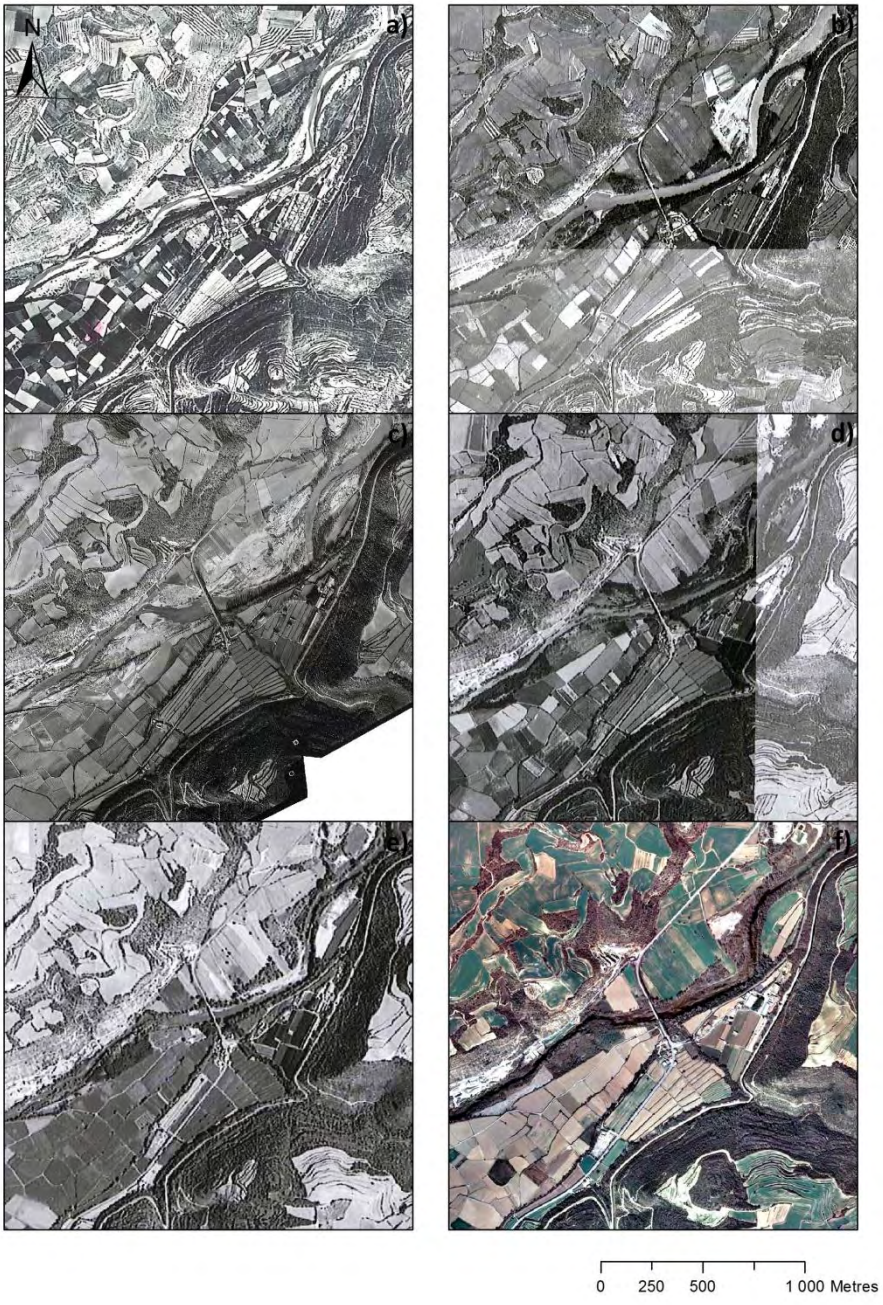


Figura D. 21 (Full 9) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre el Pont d'Alentorn i la gravera del Camats, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

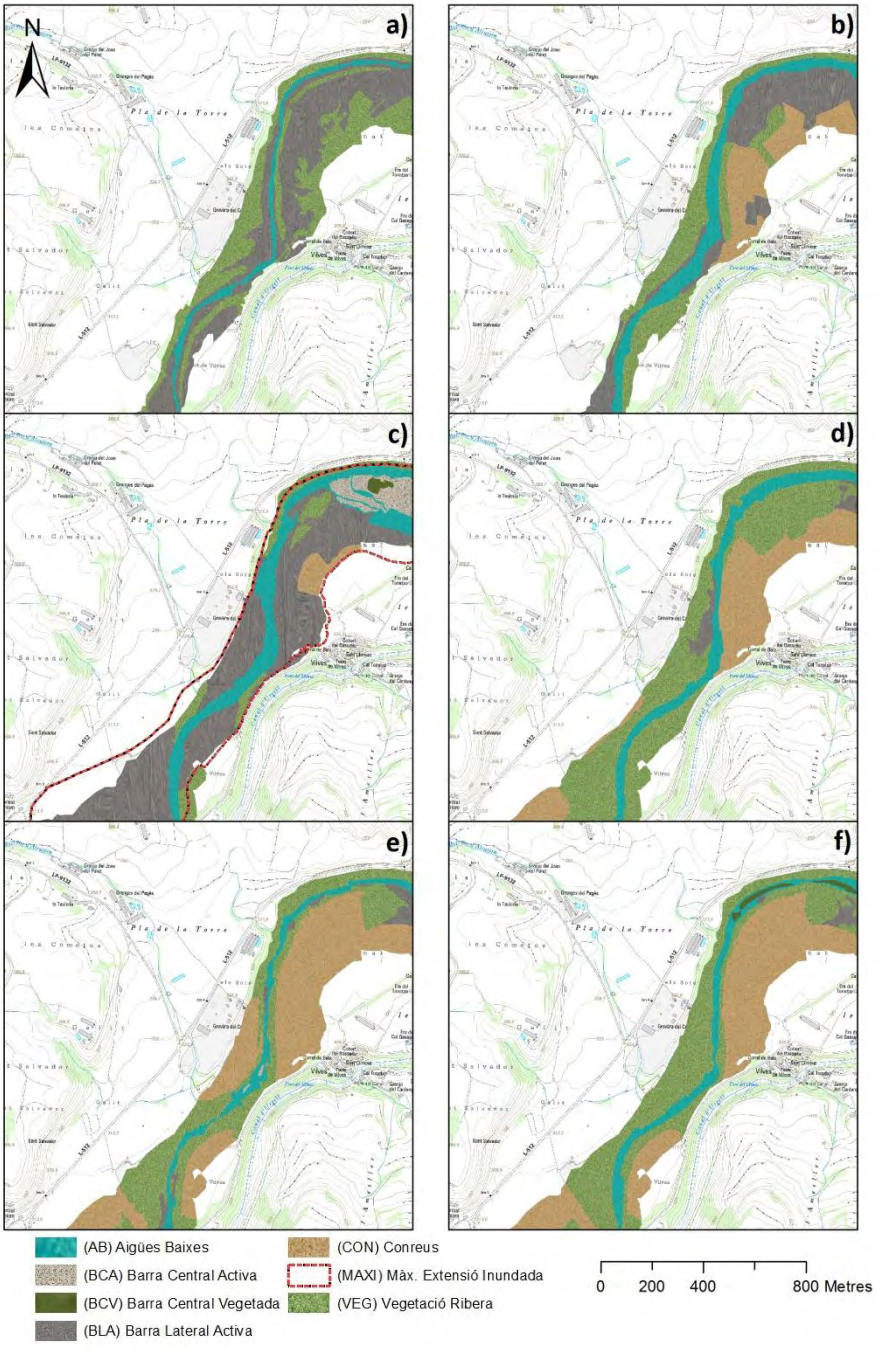


Figura D. 22 (Full 11) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre la gravera del Camats i el paratge de l'Arenal, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

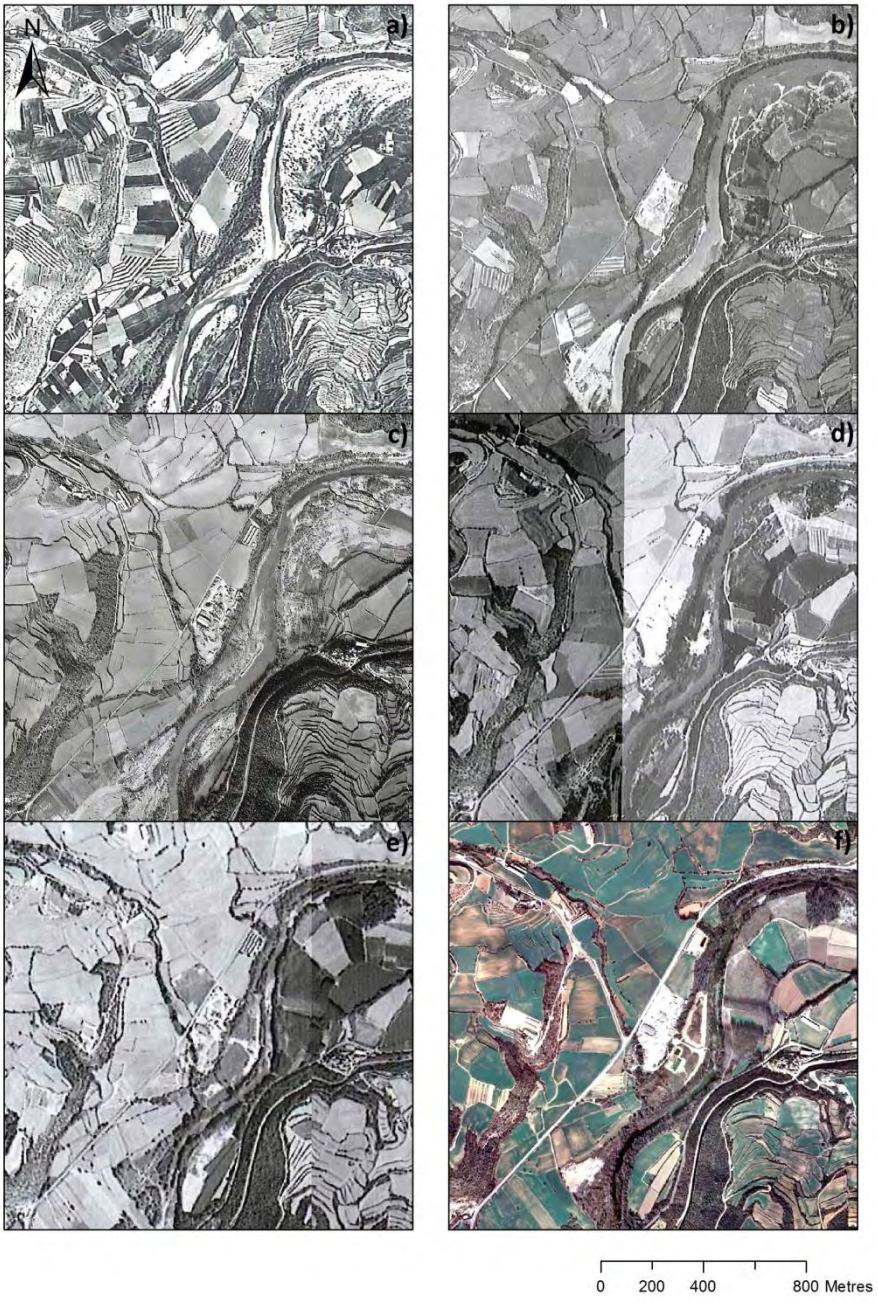


Figura D. 23 (Full 11) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre la gravera del Camats i el paratge de l'Arenal, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

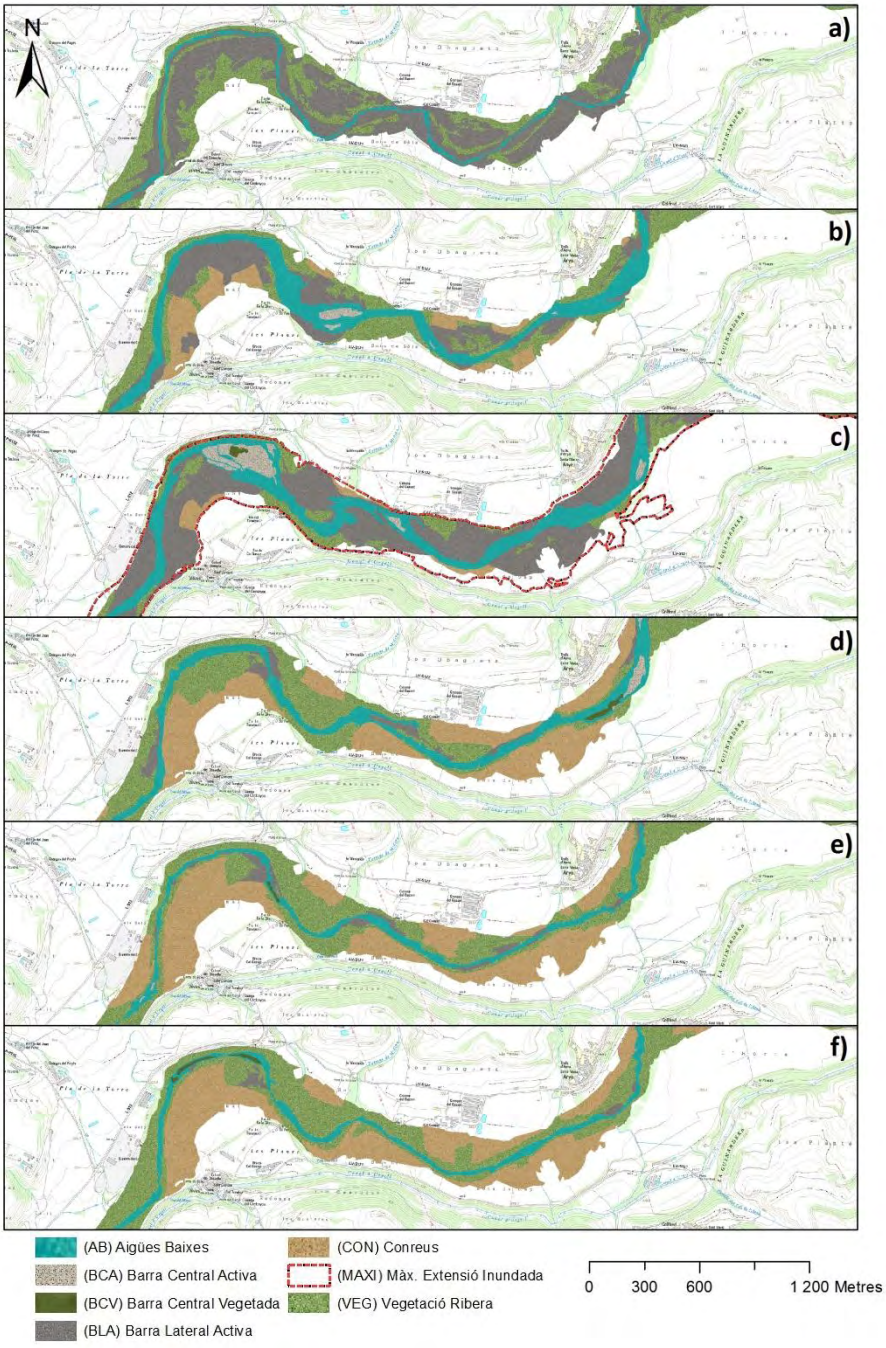


Figura D. 24 (Full 12) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre el paratge de l'Arenal i el nucli urbà d'Anya (Artesa de Segre), referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

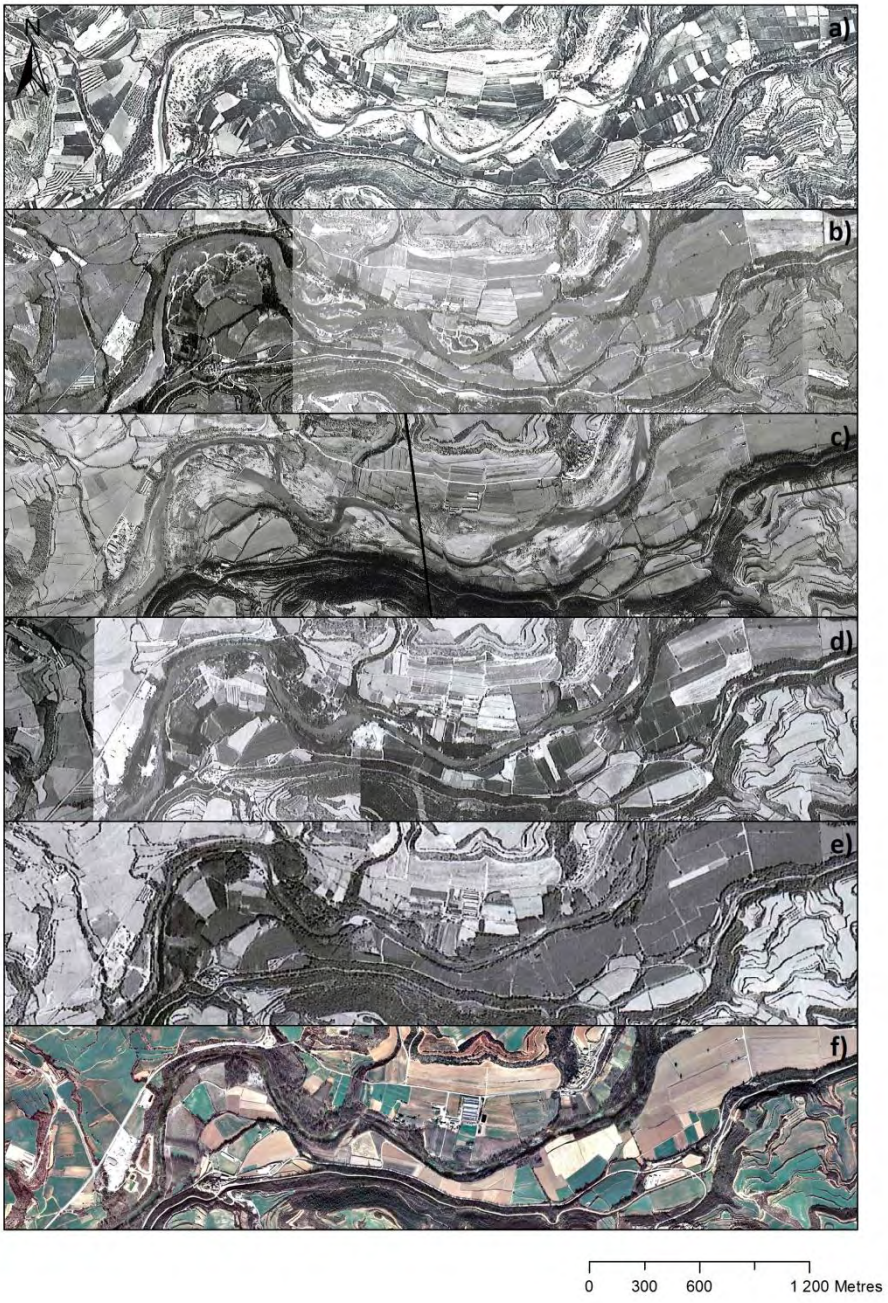


Figura D. 25 (Full 12) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre el paratge de l'Arenal i el nucli urbà d'Anya (Artesa de Segre), referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

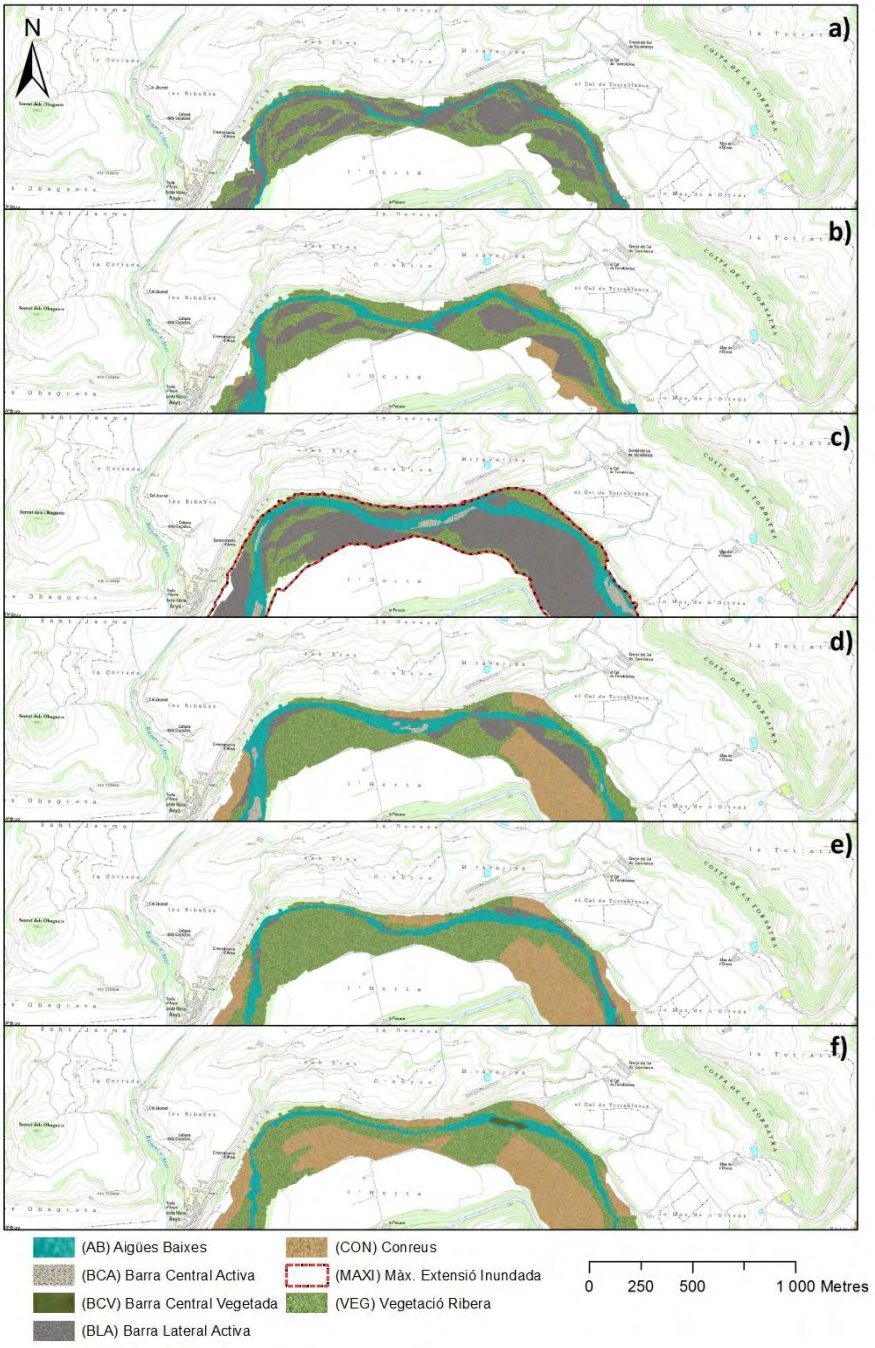


Figura D. 26 (Full 13) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre el nucli urbà d'Anya (Artesa de Segre) i el paratge de Mas de n'Olives, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

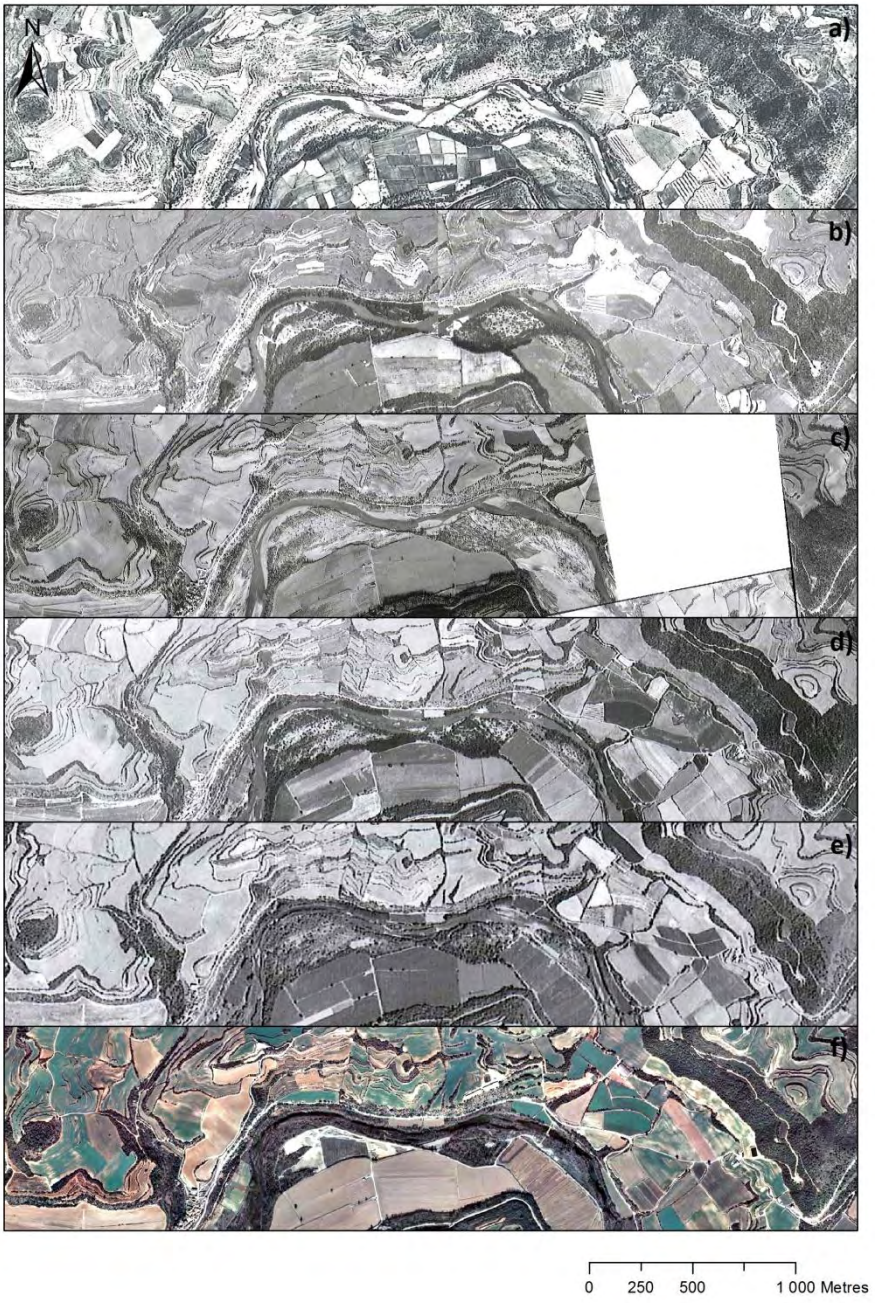


Figura D. 27 (Full 13) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre el nucli urbà d'Anya (Artesa de Segre) i el paratge de Mas de n'Olives, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

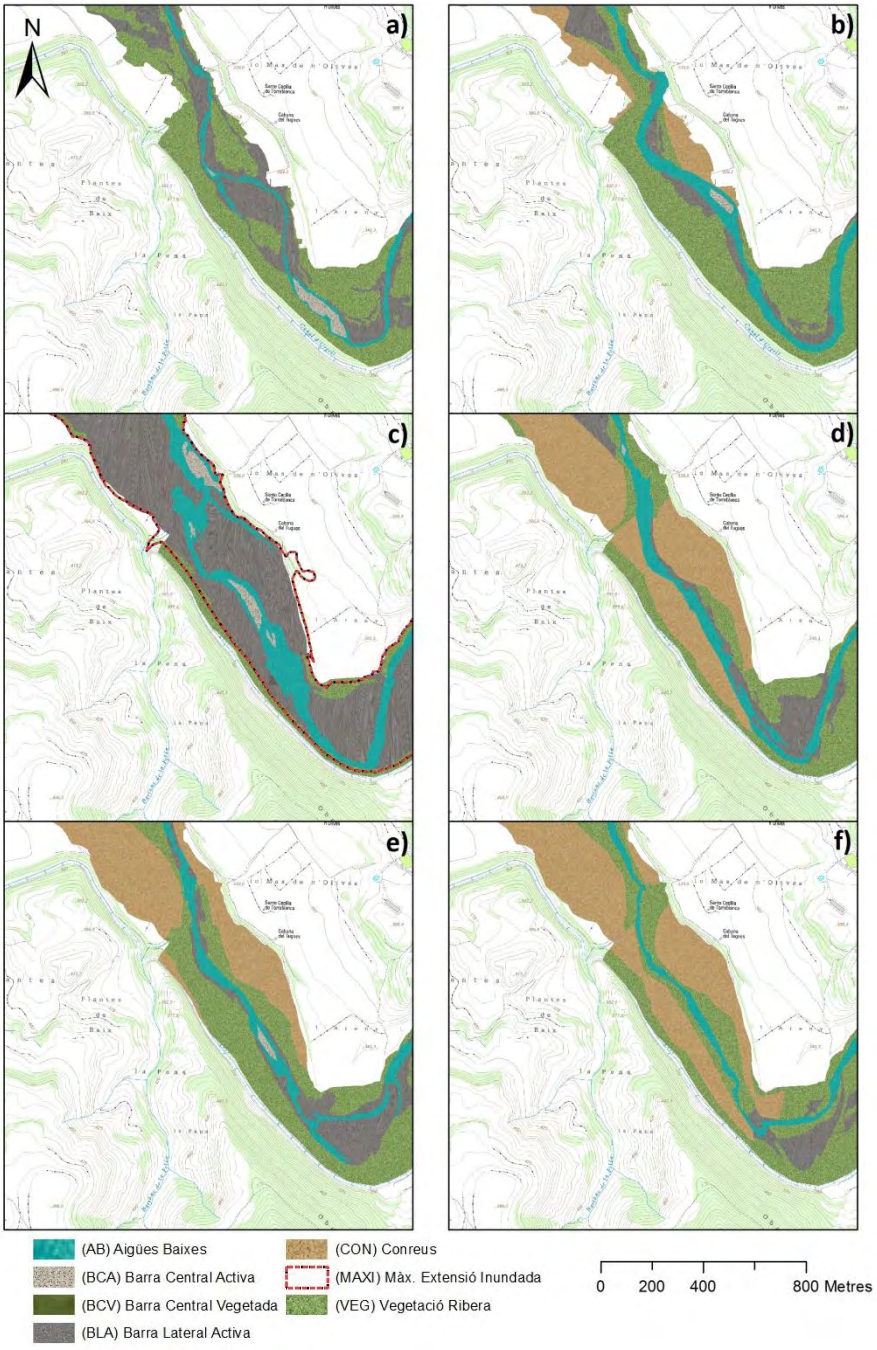


Figura D. 28 (Full 14) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre el paratge de Mas de n'Olives i el paratge de l'Areny, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

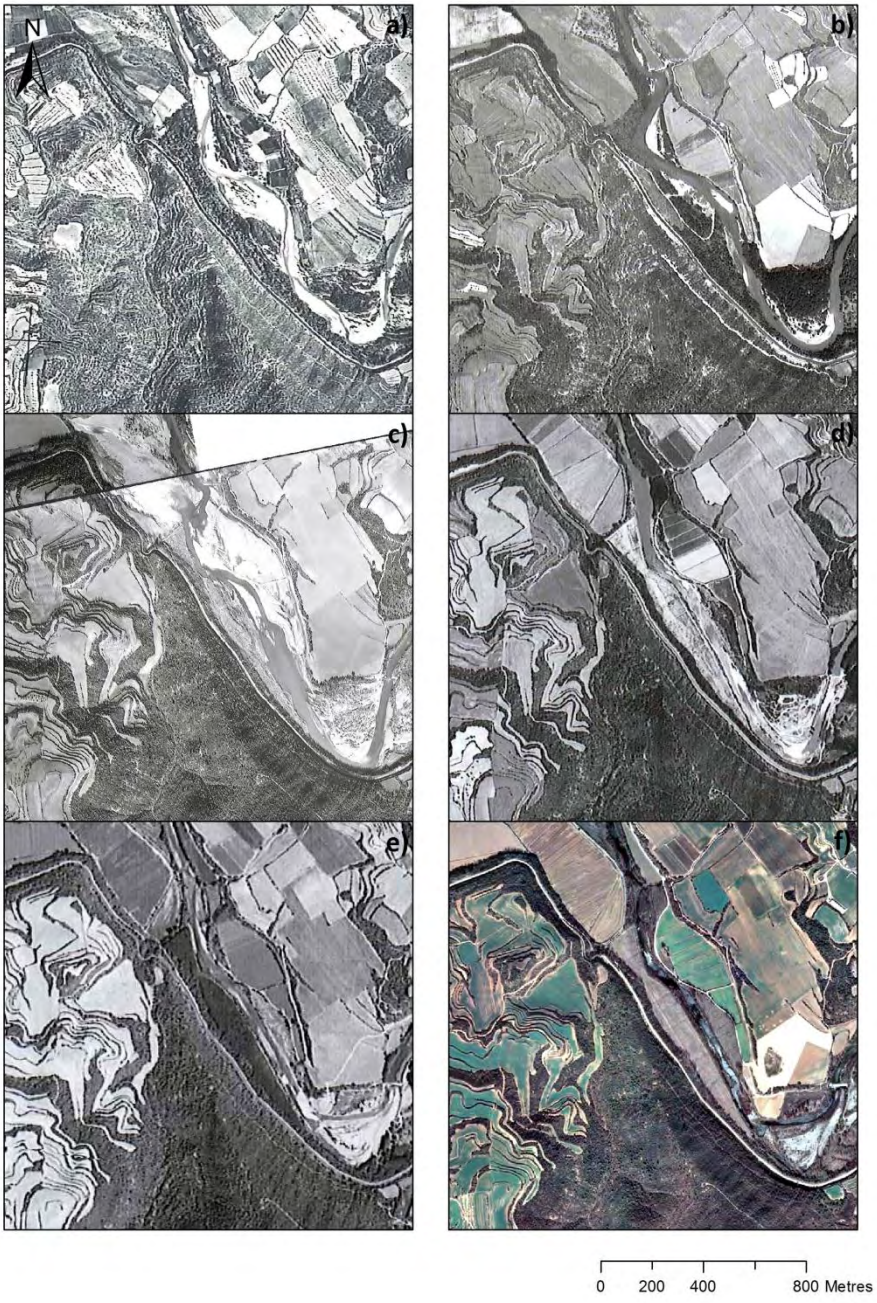


Figura D. 29 (Full 14) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre el paratge de Mas de n'Olives i el paratge de l'Areny, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

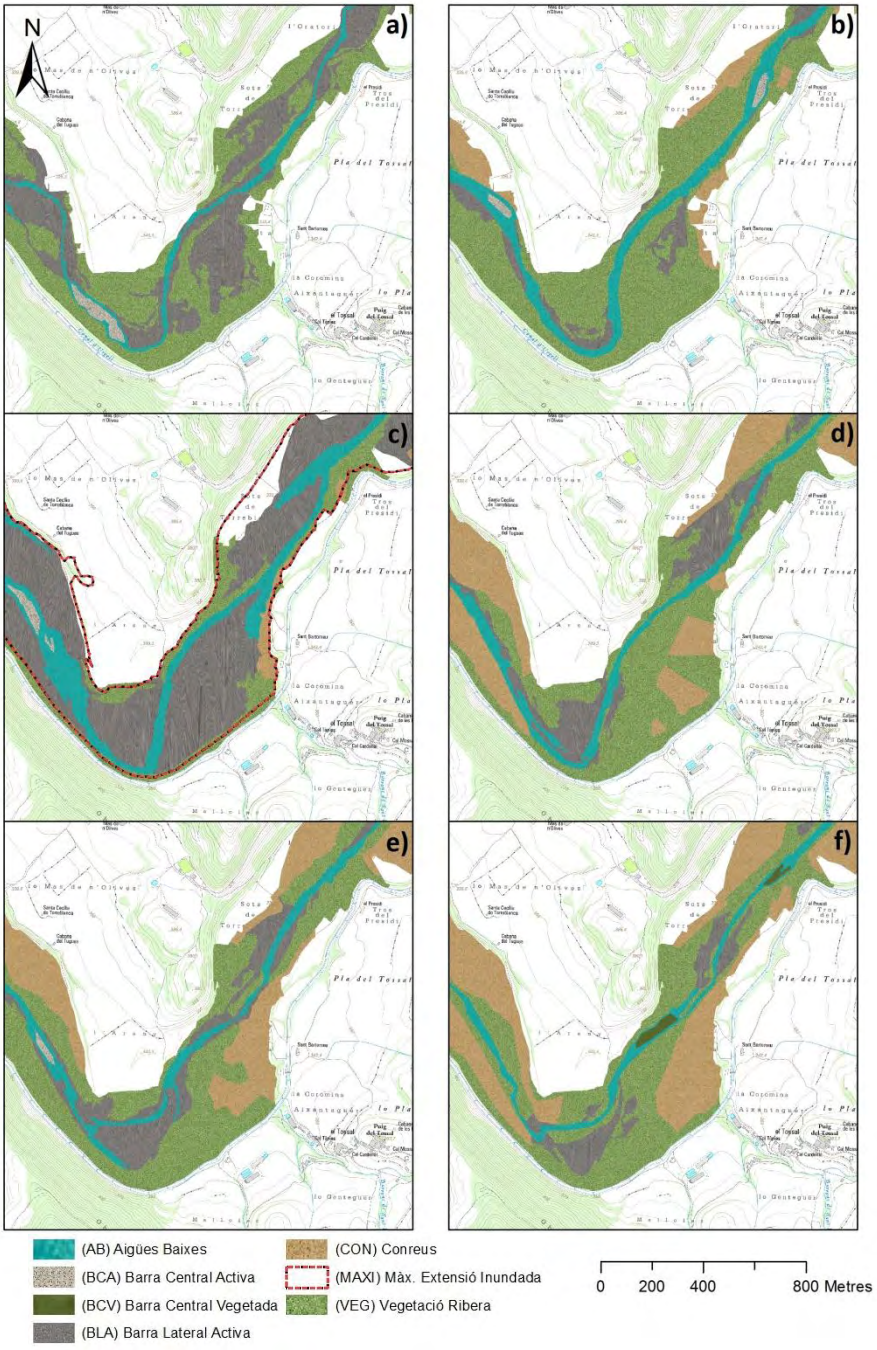


Figura D. 30 (Full 15) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre el paratge de l'Areny i 200 metres aigua avall del pont de Torreblanca (Ponts), referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

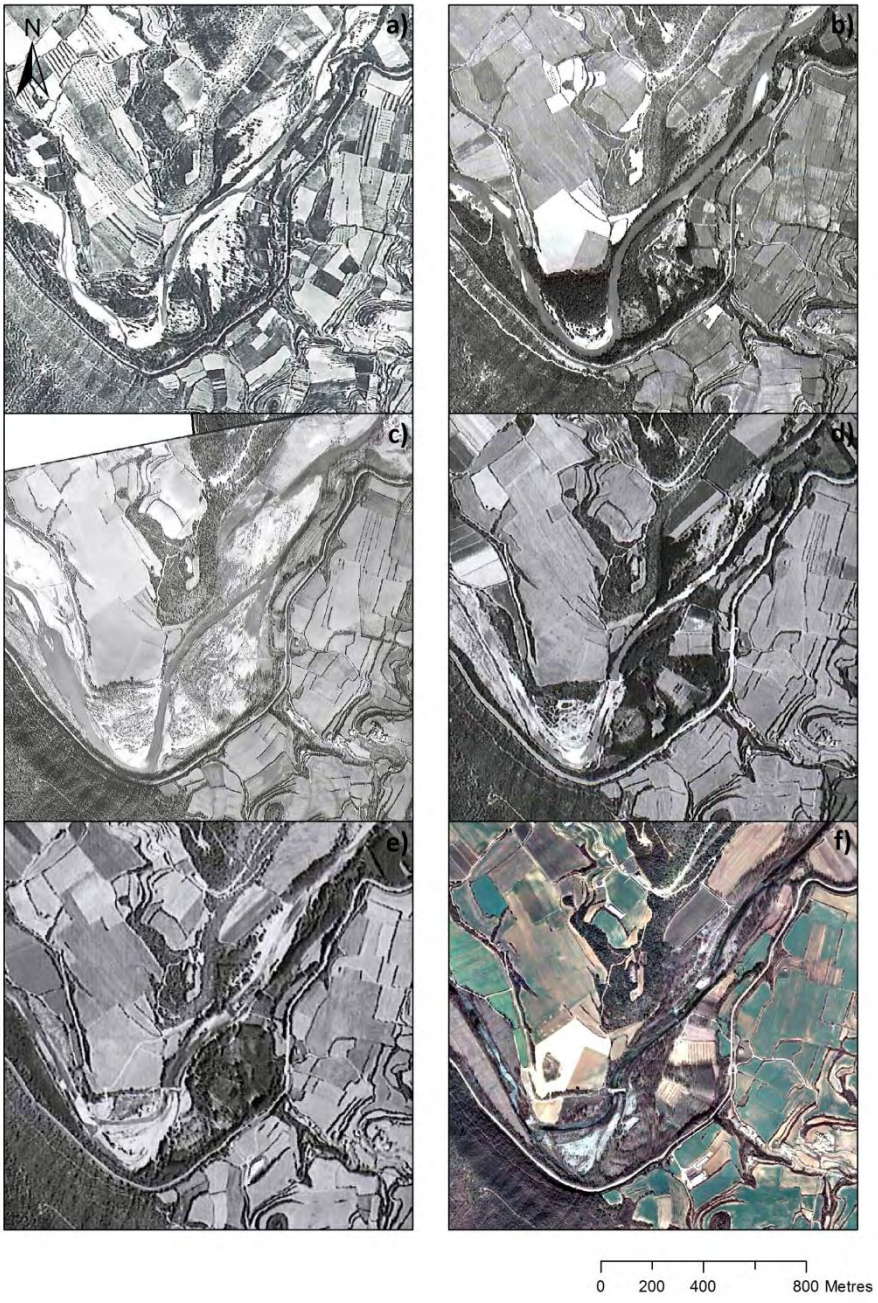


Figura D. 31 (Full 15) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre paratge de l'Areny i 200 metres aigua avall del pont de Torreblanca (Ponts), referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

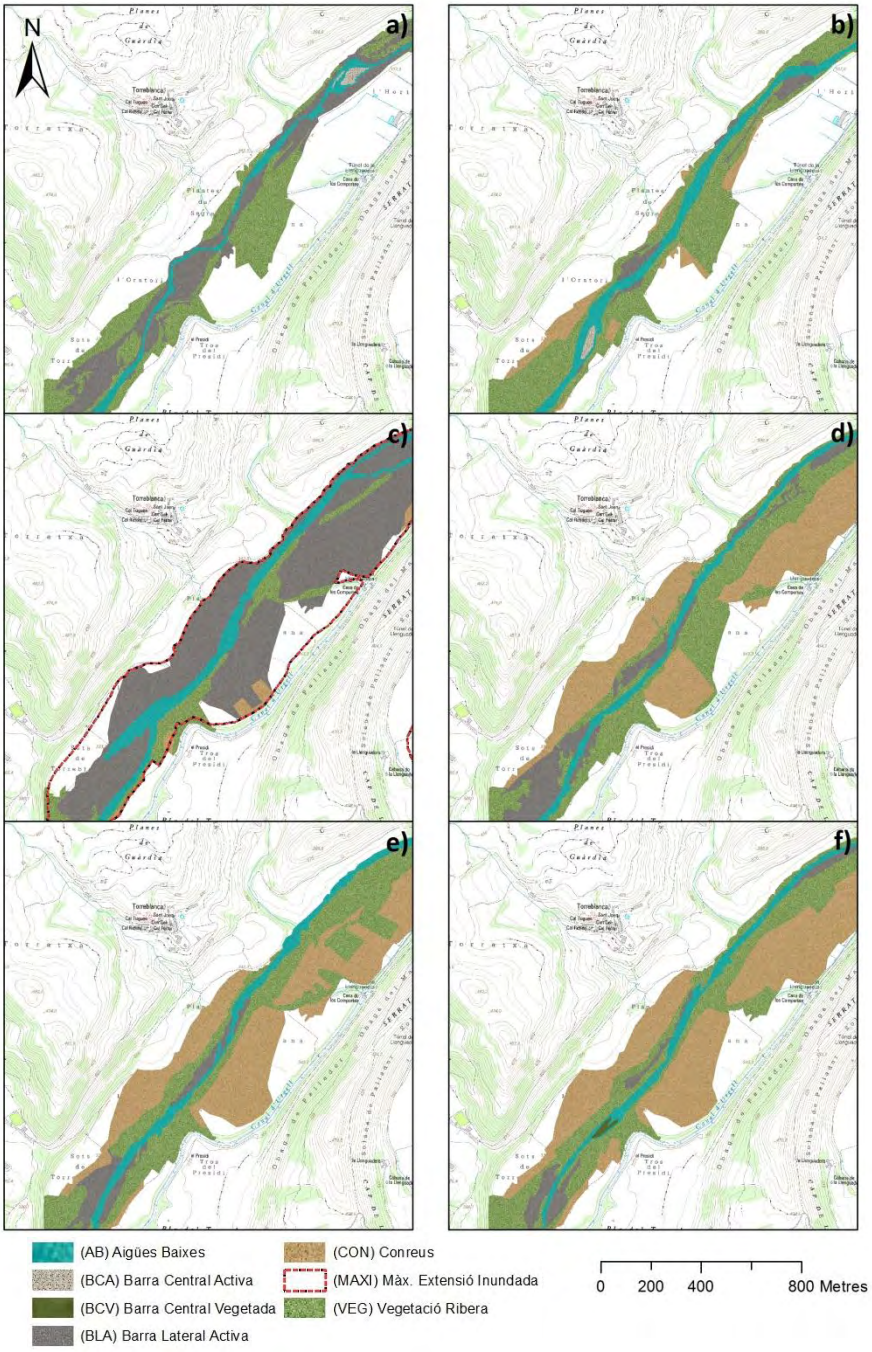


Figura D. 32 (Full 16) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre 500 metres aigua avall del pont de Torreblanca (Ponts) i el paratge de la Vinya, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

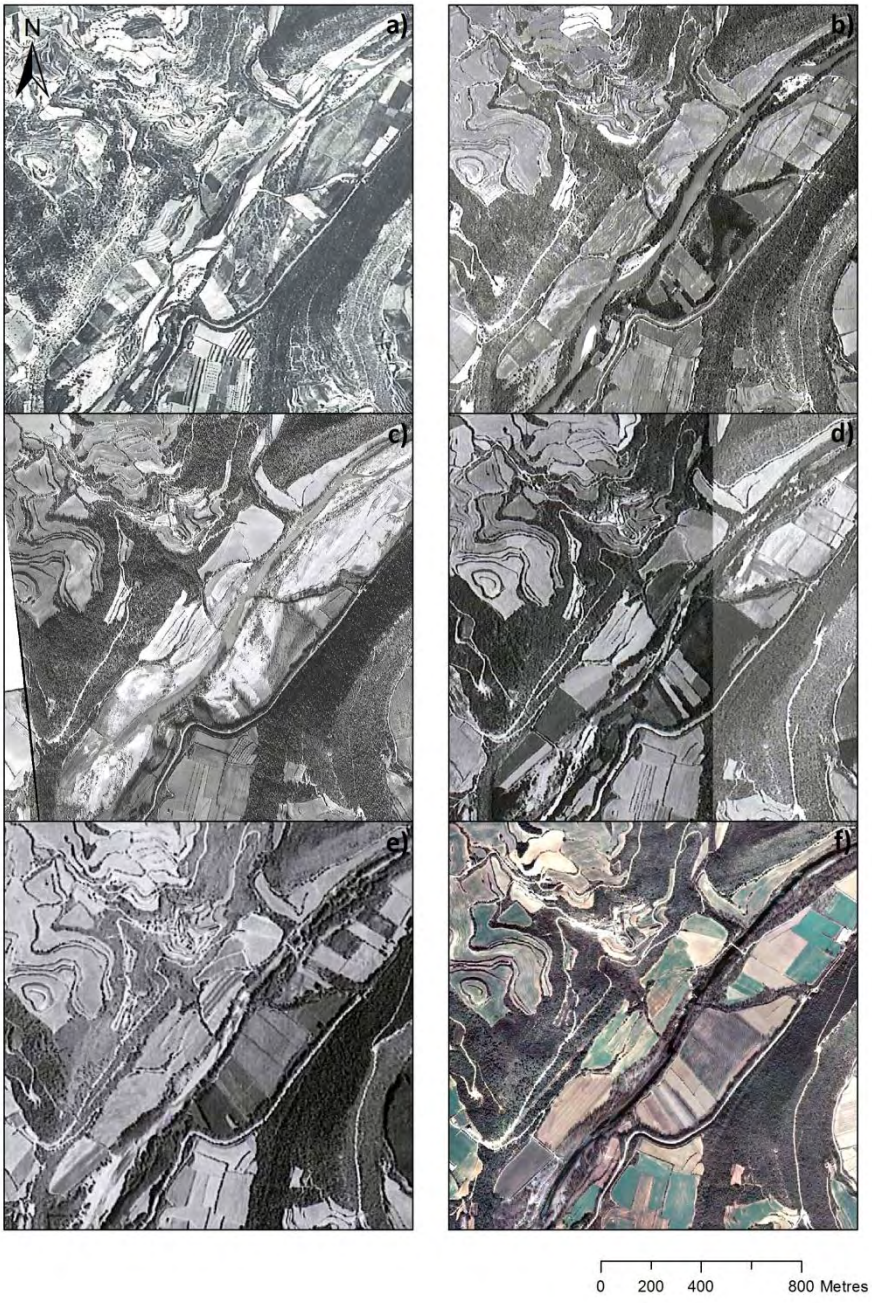


Figura D. 33 (Full 16) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre 500 metres aigua avall del pont de Torreblanca (Ponts) i el paratge de la Vinya, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

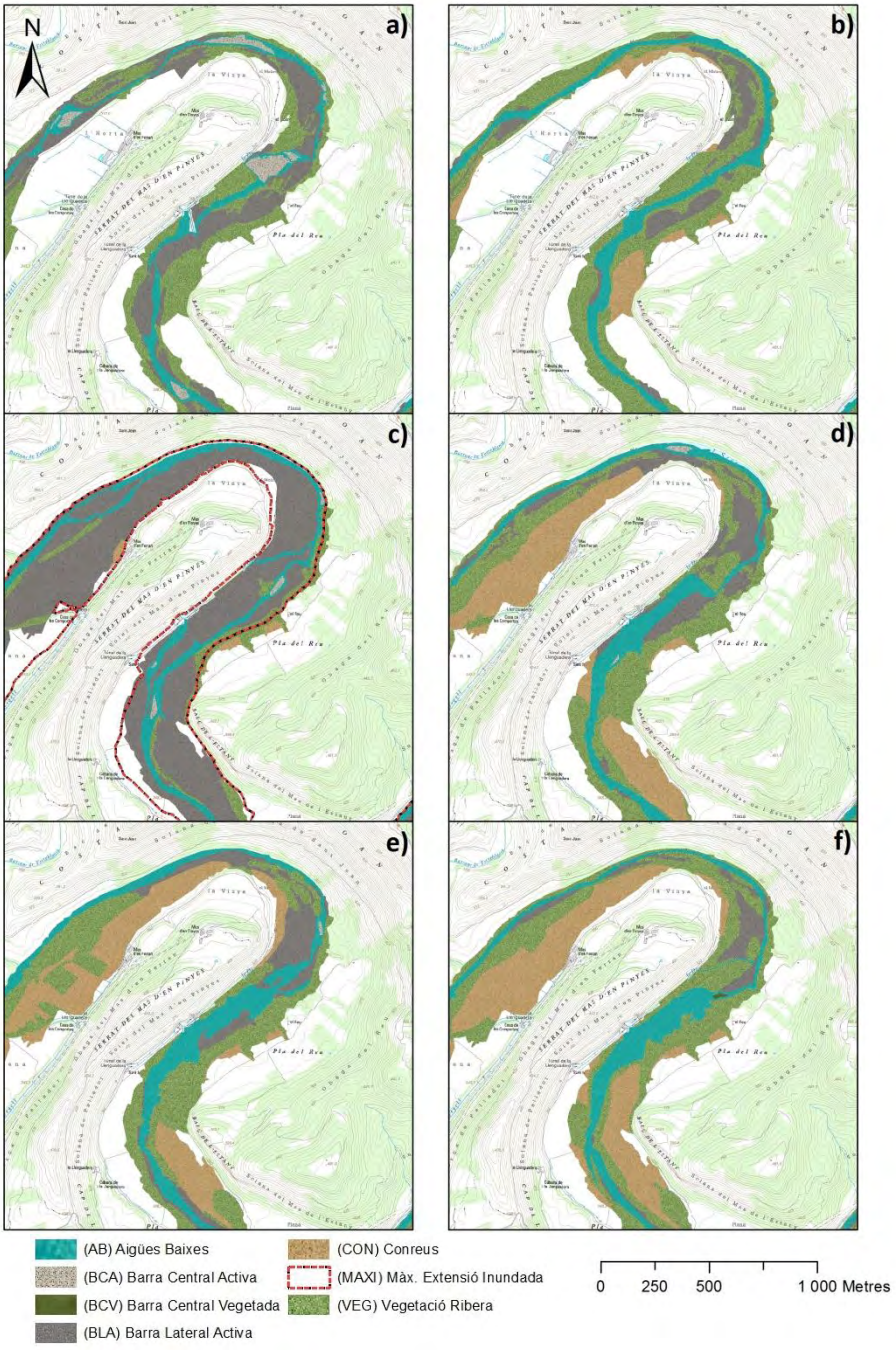


Figura D. 34 (Full 17) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre el nucli urbà de Torreblanca (Ponts) i el paratge del Pla de la Llenguadera, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

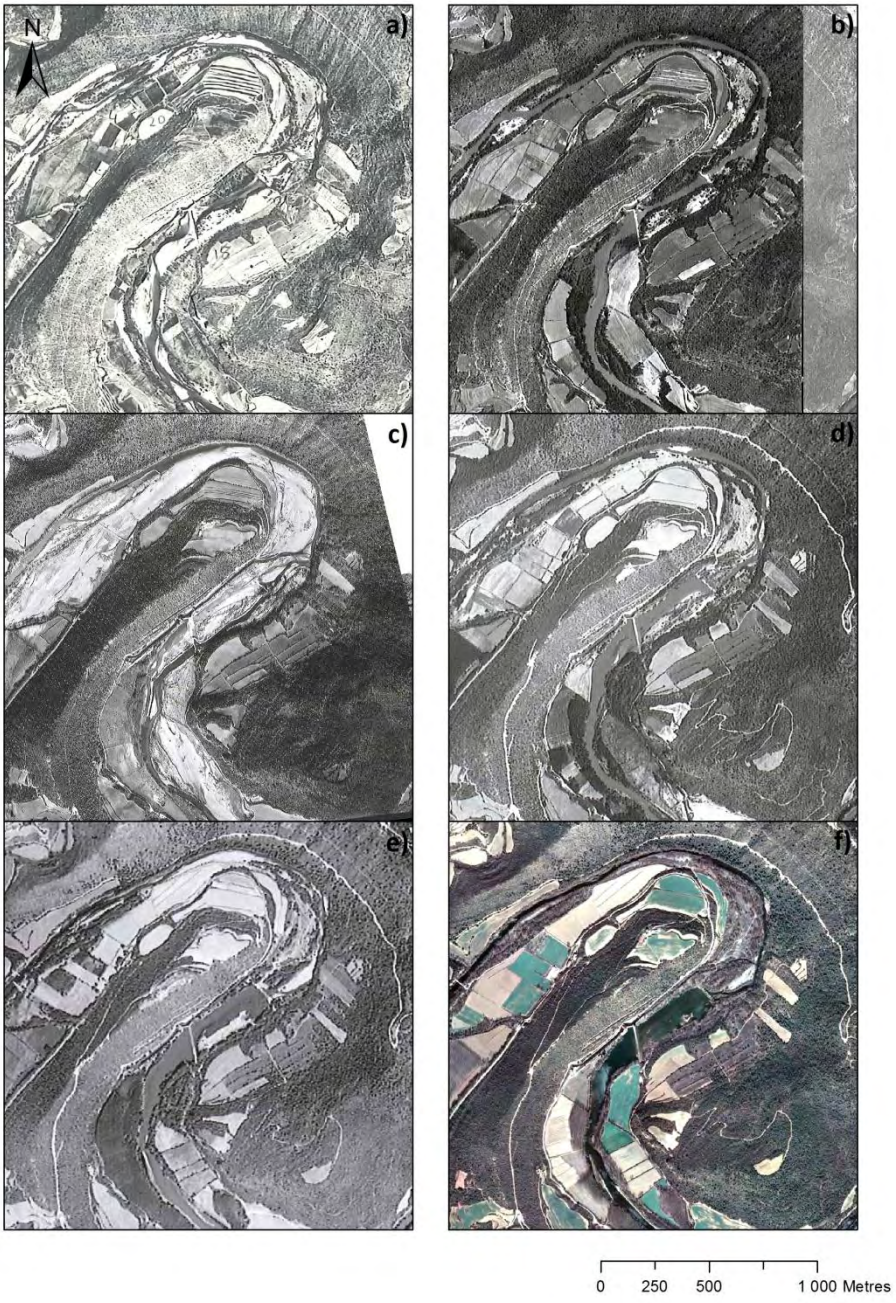


Figura D. 35 (Full 17) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre el nucli urbà de Torreblanca (Ponts) i el paratge del Pla de la Llenguadera, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

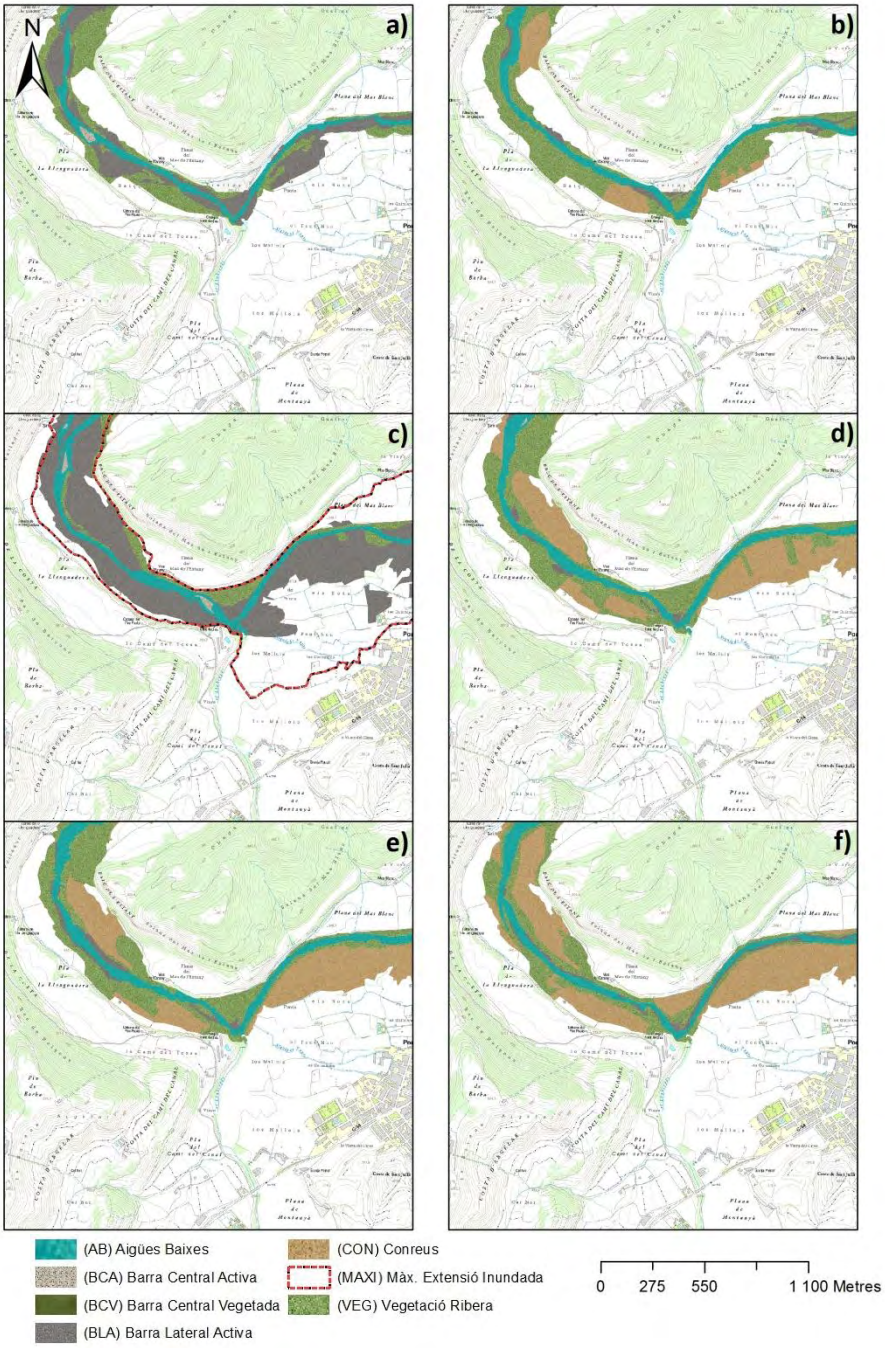


Figura D. 36 (Full 18) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre el paratge del Pla de la Llenguadera i la població de Ponts, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

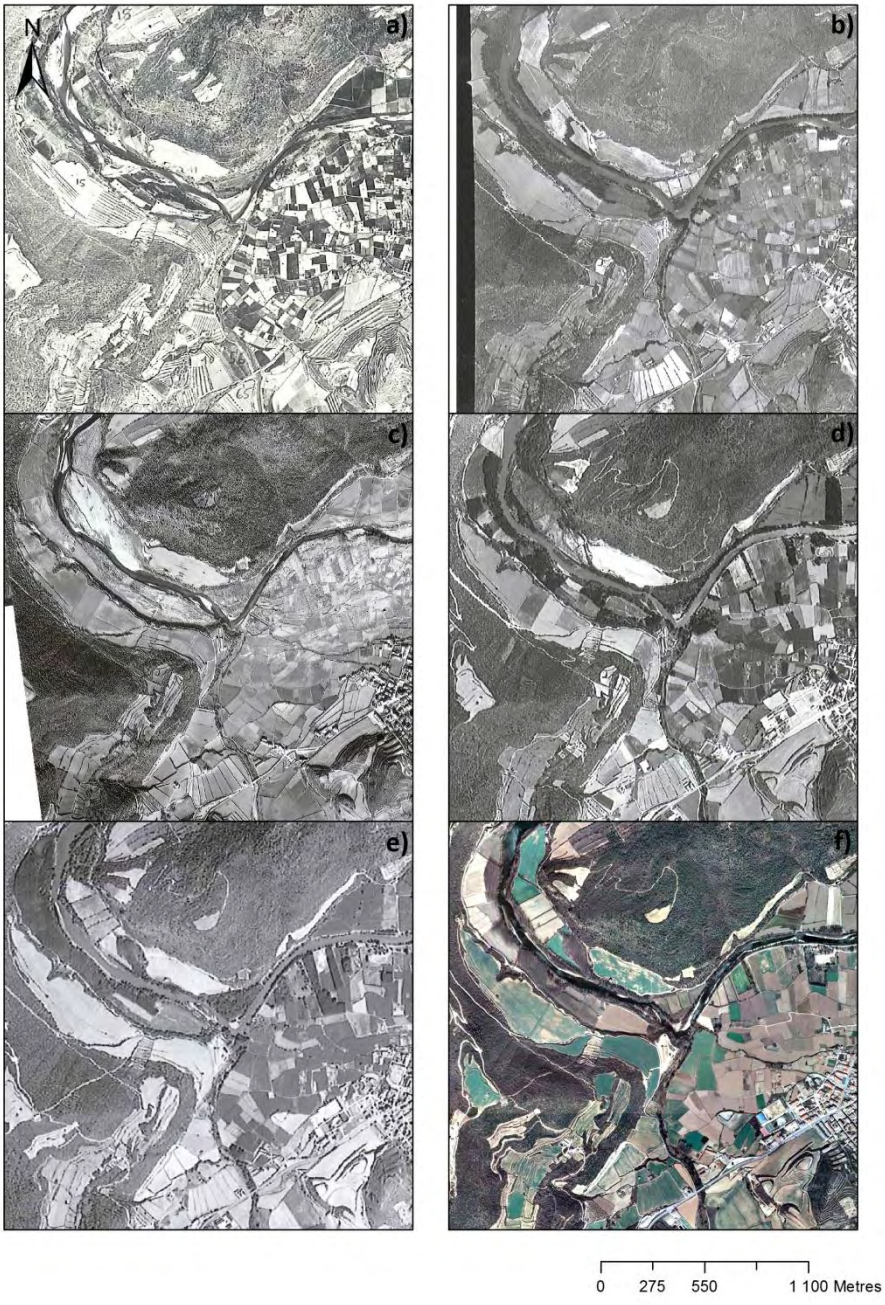


Figura D. 37 (Full 18) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre el paratge del Pla de la Llenguadera i la població de Ponts, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

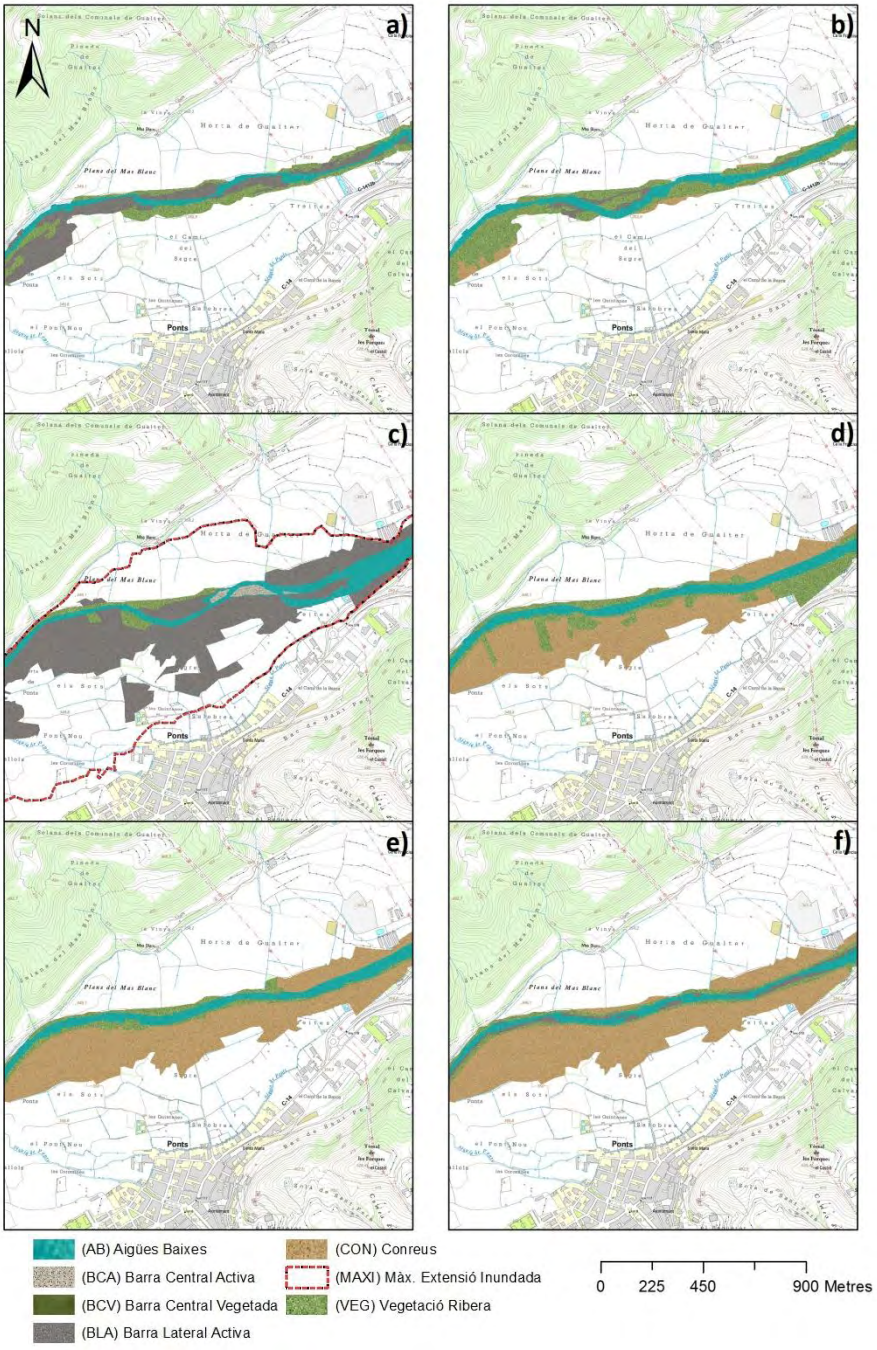


Figura D. 38 (Full 19) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre la població de Ponts i la població de Gualter, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

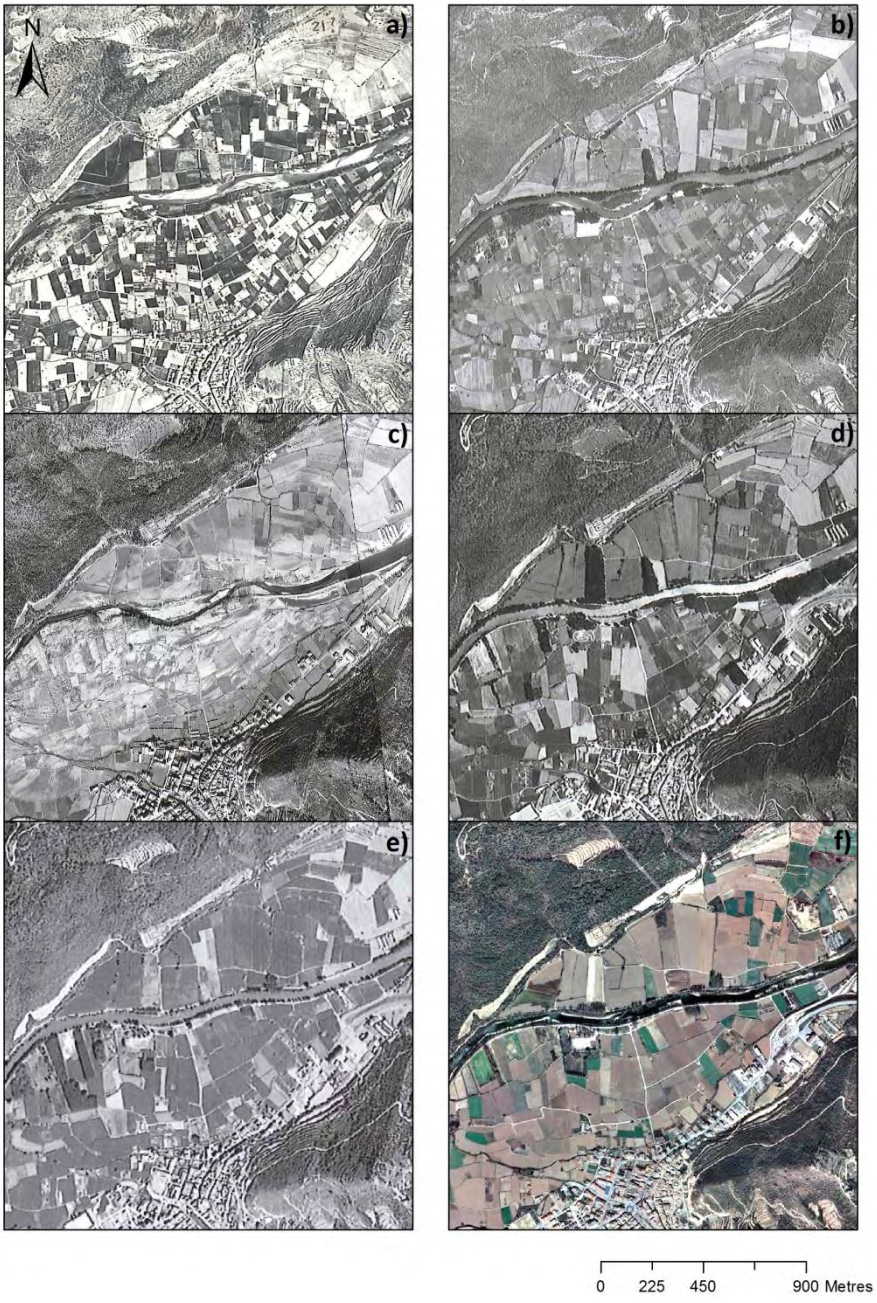


Figura D. 39 (Full 18) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre la població de Ponts i la població de Gualter, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

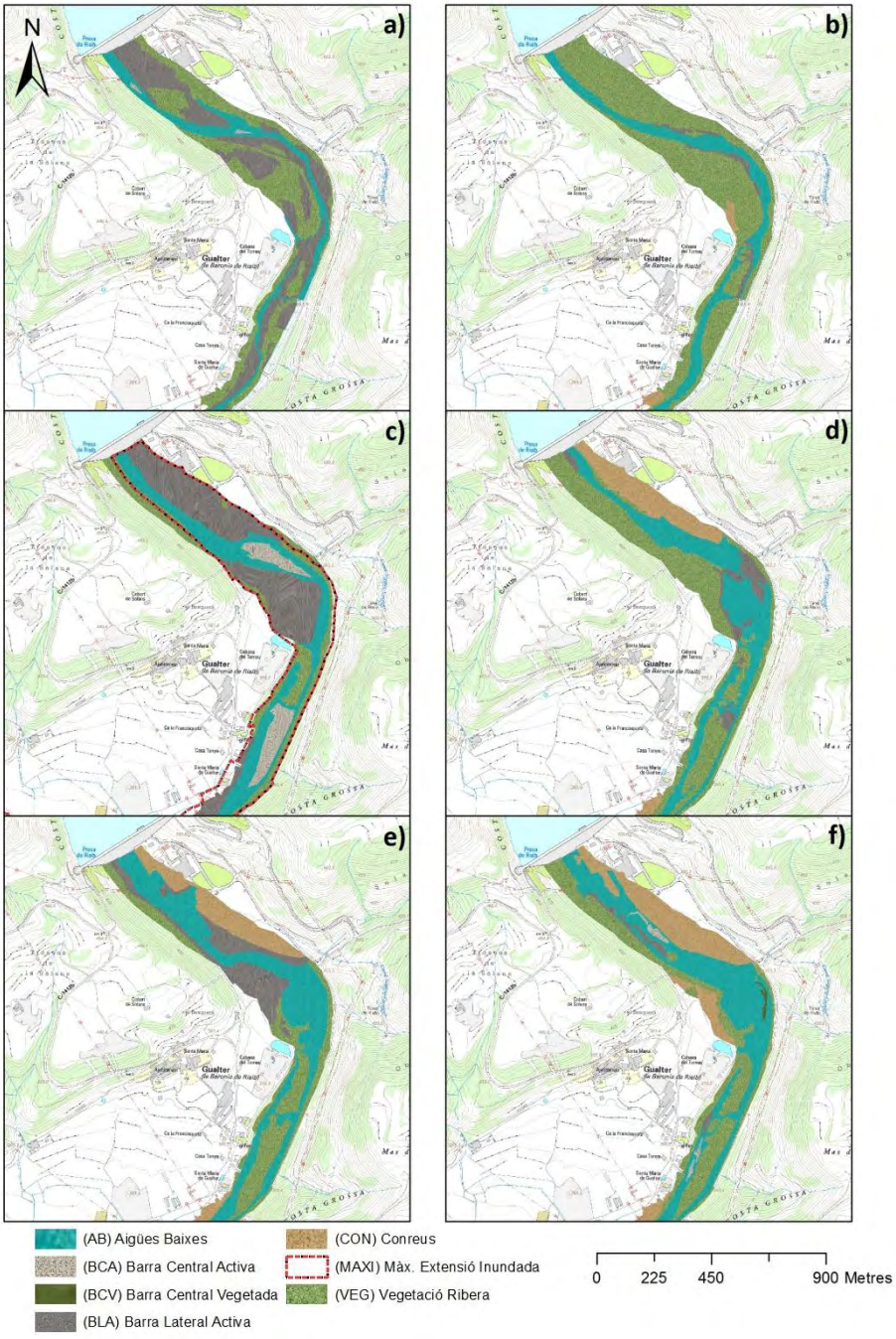


Figura D. 40 (Full 20) Cartografia de l'evolució morfològica del riu Segre entre la població de Gualter i la presa de Rialb, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera i de conreus. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.

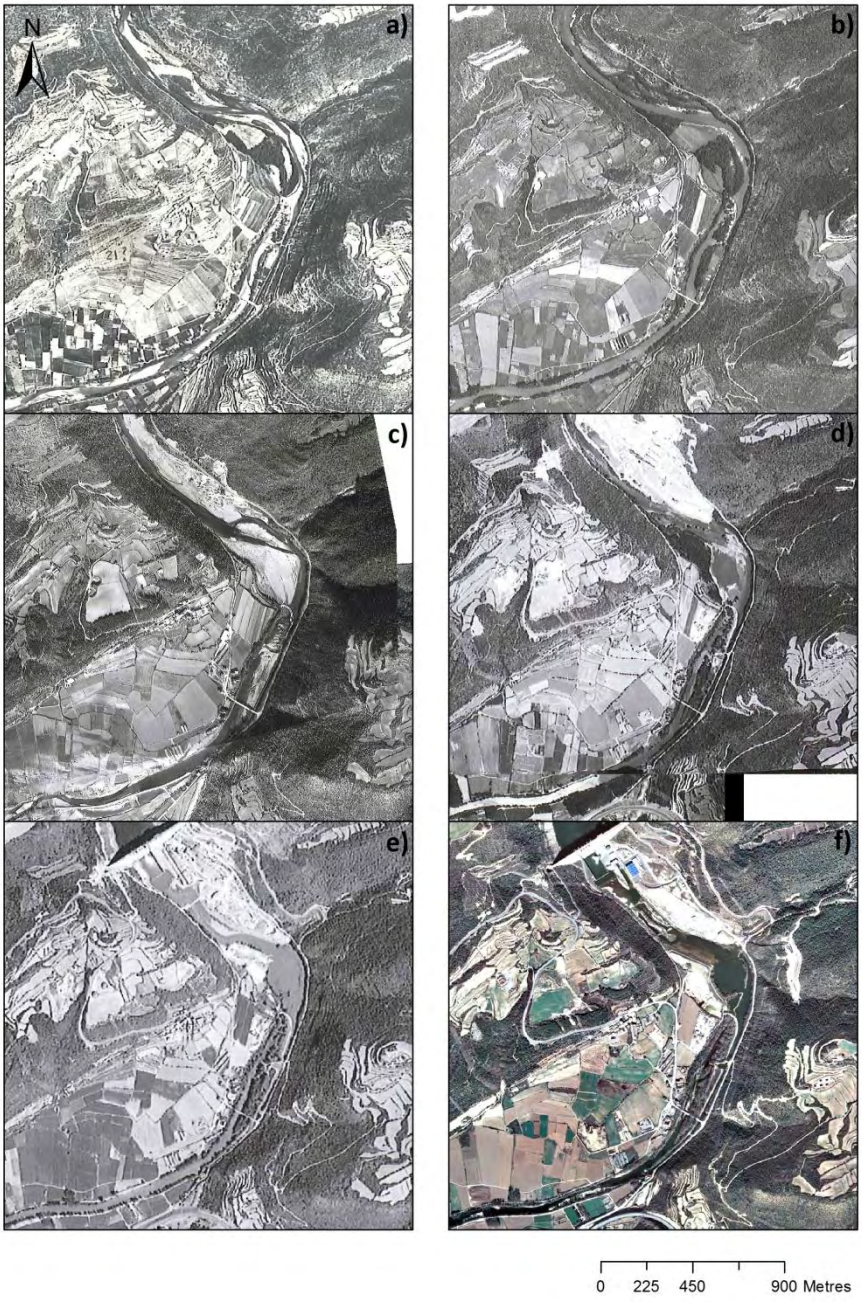


Figura D. 41 (Full 20) Fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i l'ortofotomapa del (f) 2008. Aquestes imatges testimonien la dinàmica morfo-sedimentària dels últims 50 anys del riu Segre entre la població de Gualter i la presa de Rialb, referent a les fotografies aèries dels anys (a) 1956, (b) 1975, (c) 1982, (d) 1992 i del (e) 1999, i dels ortofotomapes del (f) 2008. Entre la imatge del (a) 1956 i del f) 2008 s'observa una pèrdua important d'àrees sedimentàries actives (i.e. barres) i una reducció de la superfície activa de la llera a causa de la intrusió de la vegetació de ribera. La direcció del flux va d'est a oest de les imatges.