

TREBALL FI DE CARRERA

Títol

Estudi geoambiental del marge dret del riu Onyar (Les Gavarres)

Autor/a

Albert Rodrigo Parés

Tutor/a

Dr. Xavier Font Cisteró

Departament

Petrologia, geoquímica i prospecció geofísica

Intensificació

Data

Setembre- Octubre 2016

Índex de continguts

Agraïments	i
Abstract	ii
Capítol 1 Introducció i objectius	1
Antecedents en la prospecció de xarxes de drenatge	2
Capítol 2 Característiques fisiogràfiques de les conques	4
2.1. Situació geogràfica	4
2.2. El relleu.....	6
Sector de muntanya	6
Sector de plana	6
Sector de transició	7
2.3. El clima i règim pluviomètric	8
2.4. La vegetació.....	9
2.5. Els usos del sòl	10
Capítol 3 Context geològic de les conques estudiades	12
3.1. Marc estructural.....	12
3.2. Marc litostratigràfic	15
3.2.1. El Paleozoic de Les Gavarres	16
3.2.2. El batòlit de Les Gavarres.	19
Les roques plutòniques.....	19
Les roques hipabissals	20
L'aureola de contacte	20
3.2.3. El Neogen i el Quaternari a la Fossa de La Selva	21
3.3. Marc metal·logenètic i d'activitats extractives.....	22
Extracció de roques per ús industrial	22
Mineralitzacions i activitat minera coneguda.....	22
Capítol 4 Anàlisi geomorfomètric de les conques	25
4.1. Característiques de les rieres i torrents	25
Litomorfologia	26
Adaptació del traçat de les rieres a l'estructura geològica	27
Jerarquització de la xarxa de drenatge	27
4.2. Anàlisi morfomètric de les conques	29
4.2.1. Propietats lineals	29

Longituds característiques de la conca.....	29
Paràmetres de la xarxa hidrogràfica	29
4.2.2. Propietats de superfície	30
4.2.3. Propietats de relleu	31
4.2.4. Discussió dels resultats.....	33
Capítol 5 Mostreig.....	36
5.1. La prospecció de sediments en xarxes de drenatge	36
5.2. Localització dels punts de mostreig.....	37
5.3. Recollida de mostres.....	39
5.4. Tractament de les mostres al laboratori	40
5.5. Granulometria.....	41
Capítol 6 Anàlisis químiques.....	43
6.1. Mètodes	43
6.2. Límits de detecció.....	46
6.3. Exactitud i precisió dels anàlisis.....	46
Capítol 7 Tractament estadístic de les dades. Mètodes, resultats i discussió	49
7.1. Conceptes previs.....	49
7.2. Anàlisi univariant	50
7.3. Anàlisi bivariant	57
7.4. Anàlisi multivariant	58
7.5. Discussió dels resultats	63
Capítol 8 Conclusions	80
Referències	83
ANNEX 1. DADES GEOQUÍMIQUES I ANÀLISIS ESTADÍSTICS REALITZATS.....	88
ANNEX 2. GRANULOMETRIA DE MOSTRES DE SEDIMENT	93
ANNEX 3. DESCRIPCIÓ I CARACTERÍSTIQUES DELS PUNTS DE MOSTREIG	94
ANNEX 4. CARTOGRAFIA I DADES GEORREFERENCIADES DE LA ZONA.....	95

Índex de figures

- FIGURA 1 SITUACIÓ GEOGRÀFICA DE LA ZONA D'ESTUDI EN EL CONTEXT DE LA CONCA DEL ONYAR I LA DEPRESSIÓ DE LA SELVA. FIGURA DE L'AUTOR, BASADA LA INFORMACIÓ DEL MAPA ESTRUCTURAL DE CATALUNYA (ICGC,2014B)
- FIGURA 2. RELLEU DE LA ZONA D'ESTUDI. ELABORAT A PARTIR DE LES DADES ALTIMÈTRIQUES 1:5000 (ICGC, 2010B). PER DELIMITAR LES SUPERFÍCIES S'HA CONSULTAT EL MAPA MORFOLÒGIC DE LA ZONA (PALLÍ,1983).
- FIGURA 3 DIAGRAMA DE PRECIPITACIÓ I TEMPERATURA MENSUAL. GRÀFIC ELABORAT PEL SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA (SMC,2016) AMB DADES DE LA ESTACIÓ DE L'AEROPORT GIRONA-COSTA BRAVA.
- FIGURA 4. MAPA D'USOS DEL SÒL DE LA ZONA. ELABORAT A PARTIR DE LA INFORMACIÓ DEL MAPA D'USOS DEL SÒL (CREAF,2009). CONSULTABLE INTERACTIVAMENT A L'ANNEX 4.
- FIGURA 5 ESQUEMA ESTRUCTURAL DE LES CADENES COSTANERES CATALANES (JULIVERT I DURAN, 1992). 1,GAVARRES. 2,GUILLERIES. 3,MONTSENY. 4,MONTNEGRE. 5, COLLSEOLA. 6, PEDRITXES. 7, CAPELLADES. 8, SERRA DE MIRAMAR. 9, BLOC DEL PRIORAT- PRADES. EL REQUADRE VERMELL UBICA L'ÀREA ESTUDIADA.
- FIGURA 6. MAPA D'UNITATS ESTRUCTURALS(ICGC,2014B)
- FIGURA 7 . ESTRATIGRAFIA DE LA SÈRIE PALEOZOICA DE LES GAVARRES (BARNOLAS I GARCÍA – SANSEGUNDO, 1992)
- FIGURA 8 VARIACIÓ LATERAL DE FÀCIES DEL PLIOCÈ DE LA SELVA (MARCET RIBA I SOLÉ SABARÍS, 1949). 1) ARCOSES GRIS- BLANQUES; 2) ARGILES VINOSES A GROGUENQUES; 3) CONGLOMERATS VERMELLS.
- FIGURA 9. MAPA GEOLÒGIC DE LA ZONA D'ESTUDI. MODIFICAT A PARTIR DEL MAPA 1:25000 DEL ICGC (2001,2006,2007).
- FIGURA 10 MAPA DE CONQUES I XARXA JERARQUITZADA
- FIGURA 11 CORBES HIPSOMÈTRIQUES DEL CICLE EROSIU D'UNA CONCA, SEGONS STRAHLER (LLAMAS,1993). A) CONCA DE DINÀMICA EROSIVA (JOVENTUT); B) CONCA EN EQUILIBRI (MADURESA) ; C) CONCA DE DINÀMICA SEDIMENTÀRIA (VELLESA). L'ALTURA CORRESPONENT AL 50% DE LA SUPERFÍCIE CORRESPON A L'ALTURA MEDIANA.
- FIGURA 12. ANÀLISI DE RELLEU: CORBES HIPSOMÈTRIQUES DE LES CONQUES, CALCULADES A PARTIR DEL MAPA D'ELEVACIONS
- FIGURA 13. MAPA DE PENDENTS CALCULAT A PARTIR DEL MODEL D'ELEVACIONS. CLASSIFICACIÓ DE PENDENTS SEGONS MORA ET AL (2002)
- FIGURA 14. ANÀLISI DEL RELLEU: MAPA D'ELEVACIONS CALCULAT MITJANÇANT LES DADES ALTIMÈTRIQUES DISPONIBLES DE LA ZONA (ICGC,2010B)
- FIGURA 15. DISPERSIÓ DEL COURE EN ELS SEDIMENTS DE LA XARXA QUE DRENA UNA MINERALITZACIÓ DE COURE, UGANDA. (ROSE ET AL, 1979B).
- FIGURA 16. MAPA DE DISTRIBUCIÓ DEL MOSTREIG, JUNTAMENT AMB LA LOCALITZACIÓ DE PUNTS D'INTERÈS. XARXA HIDROGRÀFICA EXTRETA DEL MAPA 1:50000 (ICGC, 2010A). UBICACIÓ DE PEDRERES ABANDONADES CONSULTAT DE TERRITORI(2014)
- FIGURA 17. PUNT DE MOSTREIG C-48, AL TORRENT DEL CORNELL.
- FIGURA 18. CORBES GRANULOMÈTRIQUES DE MOSTRES DE CAPÇALERA (C-14 I C-49) O DE DESEMBOCADURA (C-34).
- FIGURA 19. HISTOGRAMA, DIAGRAMA DE CAIXA I GRÀFIC DE PROBABILITAT NORMAL ACUMULADA AMB ESCALA PROBABILÍSTICA PEL FE
- FIGURA 20. HISTOGRAMES I GRÀFIC DE PROBABILITAT NORMAL ACUMULADA AMB ESCALA PROBABILÍSTICA PER L' AS
- FIGURA 21. HISTOGRAMA, DIAGRAMES DE CAIXES I GRÀFIC DE PROBABILITAT NORMAL ACUMULADA AMB ESCALA PROBABILÍSTICA PEL PB
- FIGURA 22. HISTOGRAMA, DIAGRAMA DE CAIXA I GRÀFIC DE PROBABILITAT NORMAL ACUMULADA PEL BA
- FIGURA 23. MAPA D'ANOMALIES DEL FÒSFOR, AMB ZONES I PUNTS D'INTERÈS REMARCATS (VEURE TEXT).

FIGURA 24. MATRIU DE COEFICIENTS DE CORRELACIÓ DE PEARSON. COM MAJOR ÉS LA MIDA DELS CERCLES, MÉS FORTA ÉS LA CORRELACIÓ ENTRE DOS ELEMENTS. EL COLOR BLAU SIMBOLITZA UNA CORRELACIÓ POSITIVA, MENTRE QUE EL VERMELL INDICA UNA CORRELACIÓ NEGATIVA.

FIGURA 25. DIAGRAMES DE BARRES AMB ELS PESOS DE CADA ELEMENT QUÍMIC PELS COMPONENTS PRINCIPALS 1 I 2. LA LÍNIA DISCONTÍNUA MARCA EL VALOR LLINDAR DE 0.3.

FIGURA 26. DIAGRAMES DE BARRES AMB ELS PESOS DE CADA ELEMENT QUÍMIC PELS COMPONENTS PRINCIPALS 3 I 4. LA LÍNIA DISCONTÍNUA MARCA EL VALOR LLINDAR DE 0.3.

FIGURA 27. PROJECCIÓ DELS PESOS DE CADA ELEMENT CORRESPONENTS A LES COMPONENTS PRINCIPAL 1 I 2. S'OBSEVA COM ELS ELEMENTS QUE DEFINIXEN AQUESTES COMPONENTS ES TROBEN AGRUPATS, I PER TANT, CORRELACIONATS.

FIGURA 28. MAPES DE SÍMBOLS GRADUATS AMB EL VALOR DE LES OBSERVACIONS PER CADA COMPONENT ESCOLLIDA. EL MAPA DE GRUPS MOSTRA LA UBICACIÓ DE LES MOSTRES SEGONS LA CLASSIFICACIÓ ESTABLERTA EN ELS DIAGRAMES DE LES FIGURES FIGURA 25 I FIGURA 26

FIGURA 29. DIAGRAMES DE SCORES EN ELS ESPAIS PC1-PC2 I PC1-PC3. EN COLOR ES DIFERENCIEI LES MOSTRES AMB CARACTERÍSTIQUES SEMBLANTS D'ACORD AMB LA SEVA PROXIMITAT EN ELS DIAGRAMES. LES ETIQUETES CORRESPONEN A LA IDENTIFICACIÓ DE LA MOSTRA

FIGURA 30. DIAGRAMA DE SCORES EN L'ESPAI PC1-PC4. EN COLOR ES DIFERENCIEI LES MOSTRES AMB CARACTERÍSTIQUES SEMBLANTS D'ACORD AMB LA SEVA PROXIMITAT EN ELS DIAGRAMES. LES ETIQUETES CORRESPONEN A LA IDENTIFICACIÓ DE LA MOSTRA

FIGURA 31. MAPA GEOLÒGIC AMB LA UBICACIÓ DE LES MOSTRES D'ACORD AMB LES AGRUPACIONS DEFINIDES A LES FIGURA 29 I FIGURA 30

FIGURA 32. MAPES D'ANOMALIES DE Fe, Pb, Cu i Zn. EN ELS TRES PRIMERS HI FIGUREN ELEMENTS D'INTERÈS DEL MAPA, MENTRE QUE EN EL QUART ELS PUNTS S'HAN PROJECTAT SOBRE EL MAPA GEOLÒGIC. VEURE MAPA PER ENTENDRE LA LLEGENDA.

FIGURA 33. MAPES D'ANOMALIES DE Ni, Cr, Co i Mn. EN ELS TRES PRIMERS HI FIGUREN ELEMENTS D'INTERÈS DEL MAPA, MENTRE QUE EN EL QUART ELS PUNTS S'HAN PROJECTAT SOBRE EL MAPA GEOLÒGIC. VEURE MAPA PER ENTENDRE LA LLEGENDA.

FIGURA 34. MAPES D'ANOMALIES DE As, U, Hg. ELS MAPES D'OR I MOLIBDÈ ESTAN CENTRATS A LA CONCA DE LA RIERA VILALLONGA, JA QUE ELS VALORS DESTACABLES ES TROBEN EN AQUESTA ZONA COINCIDENT AMB D'ALTRES ANOMALIES

FIGURA 35. MAPES D'ANOMALIES DE Ba, Sr, Th i Li. EN ELS TRES PRIMERS HI FIGUREN ELEMENTS D'INTERÈS DEL MAPA, MENTRE QUE EN EL QUART ELS PUNTS S'HAN PROJECTAT SOBRE EL MAPA GEOLÒGIC. VEURE MAPA PER ENTENDRE LA LLEGENDA

Índex de taules

TAULA 1. DIMENSIONS CARACTERÍSTIQUES DE LES CONQUES JERARQUITZACIÓ DELS CURSOS SEGONS CRITERI DE HORTON-STRAHLER.

CÀLCULS EFECTUAT MITJANÇANT SIG

TAULA 2 PARÀMETRES GEOMORFOMÈTRICS DE LES CONQUES

TAULA 3 DISTRIBUCIÓ GRANULOMÈTRICA DELS SEDIMENTS A LES RIERES VERNEDA I VILALLONGA

TAULA 4 LÍMITS DE DETECCIÓ DE CADA ELEMENT QUÍMIC ANALITZAT, MÈTODE ANALÍTIC I VALORS D'EXACTITUD I PRECISIÓ. L.D: LÍMIT DE DETECCIÓ; A: EXACTITUD EN %ERROR RELATIU; P: PRECISIÓ EN %RPD. VAP.: VAPOR FRED DE MERCURI; MÚLTIPLE: COMBINACIÓ DE INAA + TD-ICP.

TAULA 5. VALORS REPRESENTATIUS DEL FONS I LLINDAR D'ANOMALIA PELS 31 ELEMENTS ANALITZATS ESTADÍSTICAMENT. UNITATS EN PPM ON NO S'INDIQUI.

TAULA 6. COMPARACIÓ DELS VALORS DE FONS CALCULATS EN AQUEST TREBALL AMB ELS DE ZONES PROPERES. (FONT, 1983 ²; SOLÉ, 1986 ¹)

TAULA 7 COMPONENTS PRINCIPALS I VARIÀNCIA EXPLICADA PER CADA UN D'ELLS. EN VERMELL, ELS COMPONENTS ESCOLLITS

TAULA 8. COMPOSICIÓ QUÍMICA DE ROQUES ÍGNIES DEL BATÒLIT DE LES SERRALADES COSTANERES CATALANES. DADES DE ¹ENRIQUE(1990) I ²FERRÉS I ENRIQUE (1996).

TAULA 9. ELEMENTS PRESENTS EN PETITES QUANTITATS ALS MINERALS FORMADORS DE ROQUES MÉS COMUNS DE ROQUES ÍGNIES, I EL GRAU D'ESTABILITAT D'AQUESTS. (MODIFICAT DE LEVINSON, 1980b). EN VERMELL, ELS ELEMENTS DE LA COMPONENT PRINCIPAL 3.

TAULA 10. MOBILITAT RELATIVA DELS ELEMENTS SEGONS LES CONDICIONS DEL MEDI (FLETCHER, 1983A)

Agraïments

Resulta molt gratificant tenir un espai on citar totes aquelles persones que han fet possible aquest treball sense preocupar-me per la normativa APA de format de les referències.

En primer lloc, vull expressar el meu agraïment al Dr. Xavier Font, qui m'ha guiat en tot el procés i ha dedicat un munt d'hores a corregir els escrits i ajudar-me en els dubtes que sorgien, tant al seu despatx com al camp. Moltes gràcies.

També vull donar les gràcies a en Pedro Sanz, pel seu tracte amable i tots els consells que em va donar durant el tractament de les mostres al laboratori.

Moltes gràcies als meus pares, en Luis i la Rosa, pel seu suport en tot, per haver-me animat a confiar en mi i tirar endavant en tot, malgrat la meva tossuderia.

Gràcies també als meus amics que m'han revisat i ajudat amb el treball: a l'Adrià Andújar, per acompanyar-me al camp i ajudar-me amb la identificació de les plantes del bosc de ribera; al Nils Reinhardt, per les seves correccions sobre els termes més geològics; i al Jaume Queralt, per la seva lectura de criteri.

Finalment, estic molt content d'agrair a la Sandra Posada tot el seu suport. Gràcies per totes les sessions on he après, i segueixo aprenent, a gestionar les meves pors, la meva personalitat i les meves emocions; on he entès que l'aprenentatge és una sèrie de petites fites que s'han d'intentar gaudir i veure com a reptes, no com a problemes.

Gràcies a tots i per tot.

El Papiol, Juliol de 2016

Abstract

Entre els anys 1982 i 1995, a Catalunya es van realitzar un conjunt de treballs de prospecció en xarxes de drenatge a fi de caracteritzar la geoquímica de les Serralades Costaneres Catalanes. Dins d'aquest context, el present treball vol caracteritzar, mitjançant la prospecció en xarxes de drenatge, una de les àrees pendents d'estudi des de dos enfoc de la Geoquímica Aplicada: l'estudi dels trets generals de la geoquímica a la zona atribuïbles al context geològic i metal·logenètic; i l'anàlisi de l'impacte ambiental causada per l'activitat antròpica sobre el medi on es desenvolupa.

L'àrea d'estudi ocupa una extensió de 70 km² i engloba les conques hidrogràfiques d'aquelles rieres més importants que drenen el vessant SO de Les Gavarres i tributen al marge dret del riu Onyar. Les característiques hidrogràfiques, geològiques, morfomètriques i d'usos del sòl de la zona estudiada s'han treballat mitjançant Sistemes d'Informació Geogràfica.

Una vegada establerta l'àrea d'estudi, s'ha dissenyat i realitzat una campanya de prospecció de sediments a la xarxa de drenatge de la zona, amb un total de 61 mostres repartides estratègicament pels diferents cursos d'aigua i d'acord amb un criteri dicotòmic. Posteriorment, s'ha realitzat un tractament mecànic a les mostres, prèviament a ser sotmeses a l'anàlisi química multielement pels següents mètodes: ICP-OES, INNA i Vapor Fred de Mercuri.

Les concentracions (en %, ppm i ppb) en 50 elements químics obtingudes per cada una de les mostres han estat tractades estadísticament mitjançant dos enfoc complementaris: l'anàlisi univariant, que utilitzant l'estadística descriptiva permet d'establir el fons geoquímic i el llinar d'anomalia de cada element química la zona; i l'anàlisi multivariant, el qual ajuda a desvelar relacions entre elements i agrupacions de mostres amb característiques semblants gràcies a la tècnica d'Anàlisi de Components Principals (PCA).

Finalment, els resultats del tractament estadístic han servit per confeccionar diferents mapes geoquímics de la zona. Aquesta georeferenciació de les dades, integrada amb la informació geològica, metal·logenètica i d'usos del sòl disponible, permet interpretar els resultats i discutir l'origen natural o antròpic de les anomalies geoquímiques detectades.

Com a conclusions, aquest estudi ha permès detectar l'impacte ambiental de l'activitat agrícola, urbana i industrial sobre l'entorn proper als municipis de Cassà de la Selva i Llagostera. També ha servit per establir el fons geoquímic característic de l'àrea i definir certes diferències segons el tipus de roca ígnia predominant. En darrer lloc, s'ha pogut delimitar certs sectors de l'àrea d'estudi amb importants anomalies geoquímiques possiblement atribuïbles a mineralitzacions associades tant a dics de quars hidrotermal com de pegmatites.

Between 1982 and 1995, different stream sediment surveys were performed in Catalonia in order to define the geochemistry of the Catalan Coastal Ranges. In this sense, this work aims to characterize one of the areas which has not been studied yet, by using the former methodology and considering two sides of the Applied Geochemistry: the study of how the main geochemical features depend on the local geologic and metallogenetic frame and the way these 'natural' characteristics may change because of the human activity effects on the environment.

The study zone covers an area of around 70 km² and consists of different drainage basins related to the main streams in Les Gavarres' southwest margin, which run into the Onyar River's right-hand side. All the hydrographic, geologic, morphometric and land-cover features have been worked out using Geographic Information Systems (GIS).

Once the study area is set and it is thought to be right for the purpose, a stream sediment survey has been planned and performed on it. It consists of 61 sediment samples from different streams, which have been strategically collected following a dichotomy sampling criterion. After that, those samples need to be treated in the laboratory with a set of mechanical actions, before a multielement chemical analysis is performed on them by the following technics: ICP-OES, INNA and Cold Vapour.

In the next stage, the resulting dataset of concentrations (% , ppm and ppb) in 50 chemical elements for each sample has been explored statistically from two complementary points of view: on one hand, a univariate analysis which, by using descriptive statistics and graphical technics, can set what the background and anomaly threshold values are for each element in the area; and on the other hand, a multivariate analysis, which allows to find out element associations and sample clusters with similar features according to the Principal Component Analysis' results (PCA).

Finally, the results of this statistical analysis have been used to make a set of geochemical anomaly maps for different elements. Plotting this information into its geographical location and comparing this with the surrounding geologic, metallogenetic or land-cover features can help discuss whether those geochemical anomalies are due to natural processes or human activity effects.

In conclusion, this work has shown the environmental impact on the study area caused by the agricultural, urban and industrial activities in the towns of Cassà de La Selva and Llagostera. Furthermore, it has achieved to establish the background values for the different elements in the area, and also to detect some geographic influence in them regarding the well-known igneous rock distribution in the area. Lastly, it has been possible to mark out some small sectors with important geochemical anomalies in certain elements of interest, which may exist because of the presence of hydrothermal quartz dikes and pegmatite.

Capítol 1 Introducció i objectius

La **Geoquímica** és la disciplina de les Ciències de la Terra que utilitza els principis de la Química per determinar l'abundància dels elements a la Terra, estudiar-ne la distribució en les roques i minerals i entendre els processos que en regeixen la migració i dispersió a d'altres parts de la Terra, com els sòls, l'aigua, els sediments o els ésser vius (Goldschmidt, 1954).

Una de les seves branques és l'**Exploració Geoquímica**, que n'aplica els principis teòrics a fi de desenvolupar mètodes vàlids en la cerca de recursos minerals i la detecció de problemàtiques ambientals. Malgrat la diversitat d'aquest conjunt de tècniques geoquímiques, totes elles se sustenten en una idea: la recol·lecció sistemàtica d'alguna substància natural, per tal d'analitzar-ne la composició química i cercar desviacions respecte les concentracions esperades d'acord amb la naturalesa dels materials geològics (Hawkes i Webb, 1962). La finalitat és detectar aquestes *anomalies*, geolocalitzar-les i interpretar-ne l'origen, que pot ser natural o per contaminació antròpica.

Un dels mètodes més utilitzats i d'eficàcia provada és l'**exploració en xarxes de drenatge**, basada en la recol·lecció de *sediments al·luvials* al llit viu de torrents, rieres i rius. Aquests sediments es consideren representatius de la porció de conca hidrogràfica aigües amunt d'allà on s'han recollit (Levinson, 1980a), ja que participen en la dispersió química i mecànica dels elements i partícules minerals, originades per la meteorització i erosió dels materials que hi afloren (roca, regòlit o sòls edàfics).

A Catalunya, entre els anys 1982 i 1995 es van realitzar un conjunt de treballs de prospecció en xarxes de drenatge a fi de caracteritzar la geoquímica de les Serralades Costaneres Catalanes. En aquest context, es va estudiar bona part del massís de Les Gavarres (Solé, 1986), encara que resten per cobrir alguns sectors al vessant SO. Una d'aquestes àrees pendents d'estudi comprèn les rieres que drenen aquest vessant del massís i acaben tributant al marge dret del riu Onyar. És una zona a cavall entre Les Gavarres i la Depressió de La Selva, i compresa entre els municipis de Cassà de La Selva i Llagostera (Girona).

El present treball pretén caracteritzar aquest sector, mitjançant la prospecció de sediments en xarxes de drenatge, des dels dos enfoc de la Geoquímica aplicada: un punt de vista **geològic**, centrat en estudiar els trets generals de la geoquímica a la zona i delimitar possibles zones amb concentracions minerals; i un enfoc **ambiental**, fixat en analitzar l'impacte de l'activitat antròpica sobre el medi on es desenvolupa.

Per aconseguir aquestes fites genèriques, els objectius del treball es concreten en els següents punts:

- Caracterització de la zona d'estudi des dels punts de vista:
 - Geogràfic i fisiogràfic
 - Geològic i metal·logenètic
- Identificació dels principals cursos d'aigua a la zona, delimitació de les seves conques hidrogràfiques i anàlisi de les seves propietats morfològiques.
- Realització d'una campanya de prospecció de sediments al·luvials a la xarxa de drenatge prèviament caracteritzada:
 - Recollida de mostres a camp
 - Tractament mecànic previ al laboratori i anàlisi química.
- Interpretació estadística dels resultats per tal de:
 - Establir el fons geoquímic de la zona i comparar-lo amb el d'altres zones properes.
 - Delimitar àrees anòmales geoquímicament, i interpretar-ne l'origen, natural o antròpic.

Antecedents en la prospecció de xarxes de drenatge

Un dels primers estudis de sediments de xarxa de drenatge realitzats a Catalunya es deu a Bermell (1973), que dirigit pel Dr. Ramon Vaquer va estudiar els al·luvions del curs alt de la Tordera. Va recollir una mostra cada 200 m, especialment en el curs principal de la Tordera i als seus principals afluents. Va analitzar el Pb, Zn, Cu, Cd i F en tres fraccions diferents dels sediments. Les conclusions a què va arribar, sobre el millor interval de mostreig per detectar anomalies o la fracció granulomètrica més adequada per l'anàlisi química, van servir com a prospecció orientativa pels estudis posteriors.

Aquests treballs es van reprendre uns anys després, però ja abastant tot el Massís del Montseny, en la tesi de Font (1983), dirigida pel Dr. Manuel Viladevall. Es van recollir 1069 mostres de sediments al·luvials en una superfície total de 534 km² (densitat de mostreig : 2 mostres/km²) i es va analitzar, previ atac amb aigua regia, 12 elements: Pb, Zn, Cu, Fe, Mn, Ni, Co, Cd, Ag, As, Sb i Hg. Les principals anomalies detectades estaven associades a mineralitzacions de sulfurs sols o amb ganga de baritina i fluorita, algunes d'elles no conegudes (Font et al, 1984).

Posteriorment, els estudis de sediments de la xarxa de drenatge en diferents massissos i unitats geològiques de Catalunya es van anar succeint: Vall d'Aran (Fernández Turiel, 1983), Les Guilleries (Gimeno, 1983), Les Gavarres (Solé, 1986), Montnegre (Viladevall et al, 1996), Corredor (Viladevall et al, 1999), etc.; amb l'objectiu final de cobrir totes les Cadenes Costaneres Catalanes.

També es van dur a terme estudis detallats de zones anòmales. Així, a partir de l'estudi dels sediments del Montseny realitzat per Font (1983), es van detectar diverses zones anòmales en diferents metalls pesats situades al W del massís (Ferrer, 1983), així com en el sector SW (Alcalde, 1984; Alcalde et al, 1988). Aquests estudis més detallats, també utilitzant sediments de la xarxa de drenatge, van trobar que les anomalies de Pb, Zn, Cu i As eren produïdes per mineralitzacions disseminades de sulfurs complexos, i les anomalies de Pb, Ba i F es podien associar a mineralitzacions de tipus filonià de fluorita i baritina.

En referència a la Geoquímica Ambiental, diversos treballs han demostrat la utilitat de la prospecció en xarxes de drenatge com a mètode per estudiar el grau de contaminació del medi i identificar-ne els focus. Per exemple, un estudi a la regió de Campania (Itàlia) va utilitzar els sediments en xarxes de drenatge per determinar l'efecte contaminant per l'activitat antròpica (agrícola, industrial i urbana) i recomanar uns valors líndar d'intervenció per la legislació (Albanese et al, 2007). Per aprofundir més en l'estat mediambiental d'aquesta regió, posteriorment es va utilitzar el mètode de prospecció en sediments de xarxes de drenatge per establir la qualitat ambiental de la conca del principal riu a la zona: el riu Sarno (Albanese et al, 2012).

Capítol 2 Característiques fisiogràfiques de les conques

2.1. Situació geogràfica

La zona estudiada en aquest treball forma part d'una unitat hidrogràfica més gran: la conca del riu Onyar, situada a la Depressió de La Selva. Considerada l'extrem més septentrional de la Depressió Prelitoral, la Plana de La Selva queda limitada per quatre unitats de relleu: els massissos del Montseny i Guilleries pel nord oest i oest; el massís de l'Ardenya, de la Serralada litoral, al sud; Les Gavarres al Est i el Pla de Girona i les Serres Transversals al nord.

El riu Onyar neix al vessant oriental de Les Guilleries, i passa per diversos municipis de La Selva i el Gironès, com Vilobí d'Onyar, Riudellots de La Selva o Girona, on desemboca al riu Ter. Al llarg del seu recorregut, capta diversos cursos d'aigua importants, que drenen els relleus propers abans mencionats: la riera de Sant Martí a les Guilleries, les rieres Benaula i Gotarra al vessant nord de l'Ardenya o les rieres Banyaloca, Verneda, Susvalls, Bugantó i Celrà al vessant occidental de Les Gavarres (Figura 1).

En aquest context, l'àrea de treball se situa entre els municipis de Cassà de La Selva i Llagostera, a cavall de les comarques de La Selva, el Gironès i el Baix Empordà. S'emmarca en les conques d'aquelles rieres que drenen la meitat sud del vessant occidental de Les Gavarres: la riera Verneda, Banyaloca, de Susvalls i els seus cursos menors (Figura 1). Les rieres Bugantó i Celrà queden excloses perquè ja han estat objecte d'anteriors estudis (Solé, 1986). Es considera una unitat d'estudi coherent per dos motius:

1. Totes les rieres tributen a un dels cursos més importants de la conca del Onyar: la **riera Gotarra**.
2. Totes elles drenen el sector occidental del massís de Les Gavarres.

Per facilitar-ne l'anàlisi, s'ha dividit l'àrea en sis subconques, vinculades a les rieres més importants de la zona: **Verneda, Vilallonga i Duesrieres, Vernegar, Susvalls, Cagarella i Banyalocues** (Figura 1). Els límits d'aquestes unitats corresponen a les divisòries d'aigües en base a la cartografia 1:50000, i s'han traçat utilitzant el programa SIG ArcGis©.

SITUACIÓ GEOGRÀFICA DE LA ZONA D'ESTUDI

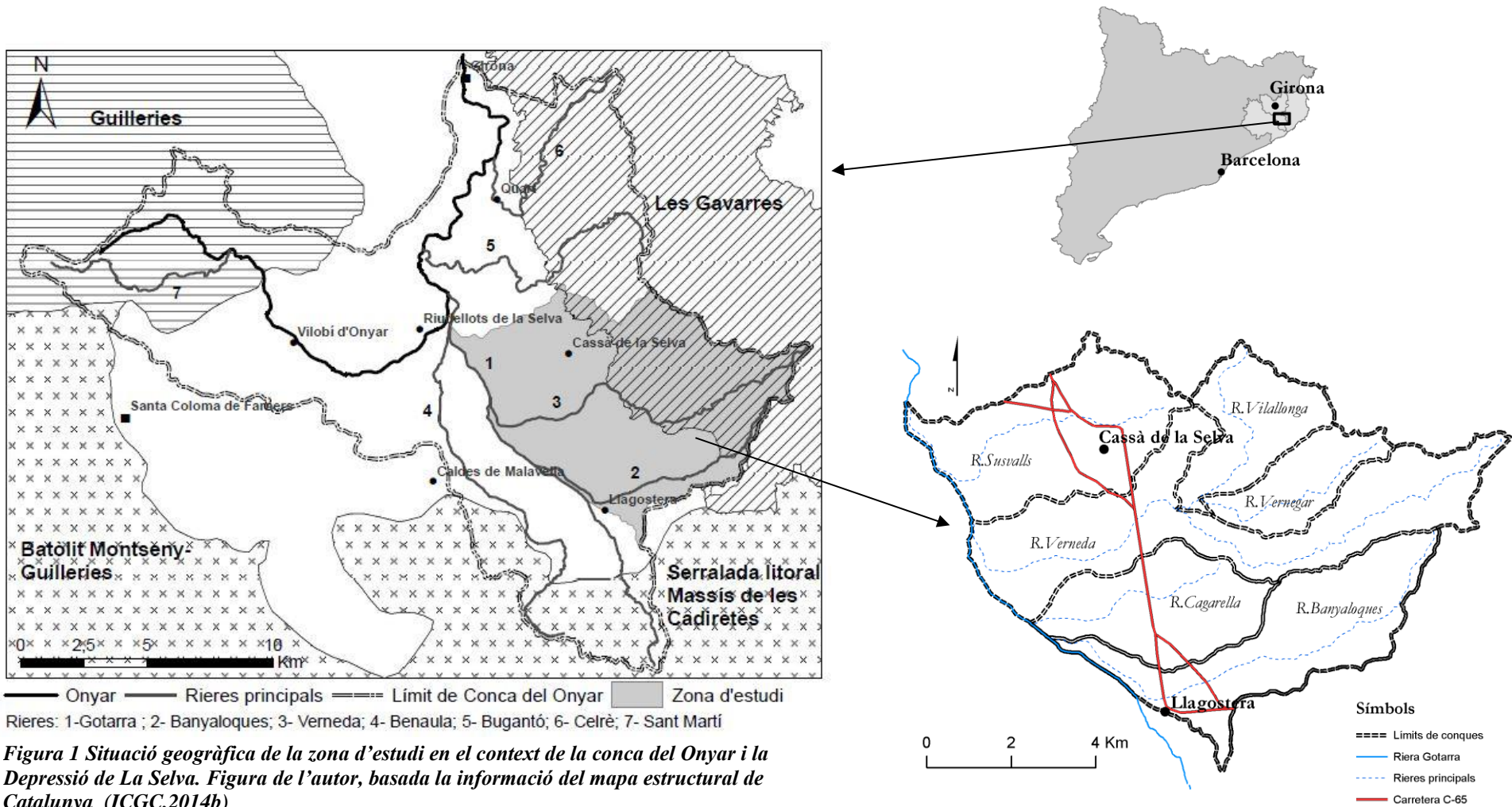


Figura 1 Situació geogràfica de la zona d'estudi en el context de la conca del Onyar i la Depressió de La Selva. Figura de l'autor, basada la informació del mapa estructural de Catalunya (ICGC,2014b)

2.2. El relleu

La zona d'estudi es troba a cavall de dues unitats morfològiques ben diferenciades: el massís de Les Gavarres i la Depressió de La Selva. És per això que s'hi poden distingir tres sectors diferents amb relleus particulars: el **sector de muntanya**, en el marc de Les Gavarres i constituït pels materials més competents de la zona (cornianes i granitoides poc alterats); el **sector de plana**, modelat en els materials menys consolidats que rebleixen la depressió de La Selva; i una **zona de transició** que enllaça els dos sectors anteriors.

Sector de muntanya

Situat al NE de la zona d'estudi ('A' Figura 2), presenta un relleu de turons arrodonits i vessants poc escarpats. Els cims, que oscil·len entre els 300 i 500 m, tenen una alçada similar respecte els propers, i les carenes que els uneixen són de traçat horitzontal i l'hom ample. El cim de major alçada és el Puig d'Arques (532 m), ubicat fora de l'àrea estudiada, però proper a l'extrem més oriental del límit.

En certs indrets d'aquest sector, destaquen un conjunt de superfícies planes elevades que escapen el vessant de pendent suau. Aquest planells representen un terreny perfecte per masos o veïnats, tals com els veïnats de Matamala, Panedès o Romanyà de La Selva; els masos de Can n'Arbres, Can Sardanes, Mas Bóta o Mas Bassets; o les extensions anomenades Les Planes i Planes d'en Castelló.

Aquesta combinació de relleus muntanyosos suaus amb superfícies planes s'ha interpretat com els vestigis de diferents cicles d'erosió quaternaris, que originaren planells distribuïts a diferents nivells de cota per tot el massís (Marcet i Solé, 1949; Roqué i Pallí, 1994). D'entre els nivells que destaquen per estar millor representats i conservats hi ha els planells situats entre 340-300m (punts 3, 6 i 7 Figura 2) i aquells situats entre 220-175m (punts 1, 2, 4 i 5 Figura 2).

Sector de plana

Eminentment pla, el relleu d'aquest sector està definit per la plana al·luvial de la riera Gotarra ('B' Figura 2). Constitueix la part occidental de l'àrea estudiada, el límit de la qual s'ha fet coincidir amb la riera Gotarra perquè és on hi desemboquen tots els cursos de la zona. La Gotarra flueix seguint la inclinació cap al nord de la plana, i conflueix amb l'Onyar a Riudellots de La Selva. Cap al sud, als voltants de Llagostera, el sector de plana es va elevat fins a arribar al massís de l'Ardenya, encara que cap al SE s'enfonsa sobtadament a la Vall d'Aro, per on flueix el riu Riudaura, fóra de l'àrea d'estudi.

Sector de transició

Aquests sector fa referència a la part central de la zona d'estudi, que enllaça els primers relleus de Les Gavarres amb la plana al·luvial de la riera Gotarra. Es tracta d'un terreny pla lleugerament inclinat cap al SO, molt ben definit al sud de l'àrea estudiada, als voltants de Llagostera. En canvi, més cap al nord s'hi troben sobreposades algunes superfícies planes i elevades limitades per petits escarpaments. El municipi de Cassà de La Selva es troba al damunt d'un d'aquest planells ('C' Figura 2)

Aquesta superfície plana i inclinada, que s'estén entre Cassà de La Selva i Llagostera s'ha interpretat com un glació d'erosió o pediment (Marcet i Solé, 1949; Roqué i Pallí, 1994). A la zona de Llagostera, els processos d'erosió actuals han deixat al descobert aquesta superfície; en canvi, en indrets més propers a Cassà de La Selva, s'hi han conservat dipòsits posteriors, que la fossilitzen i formen els planells elevats abans mencionats.

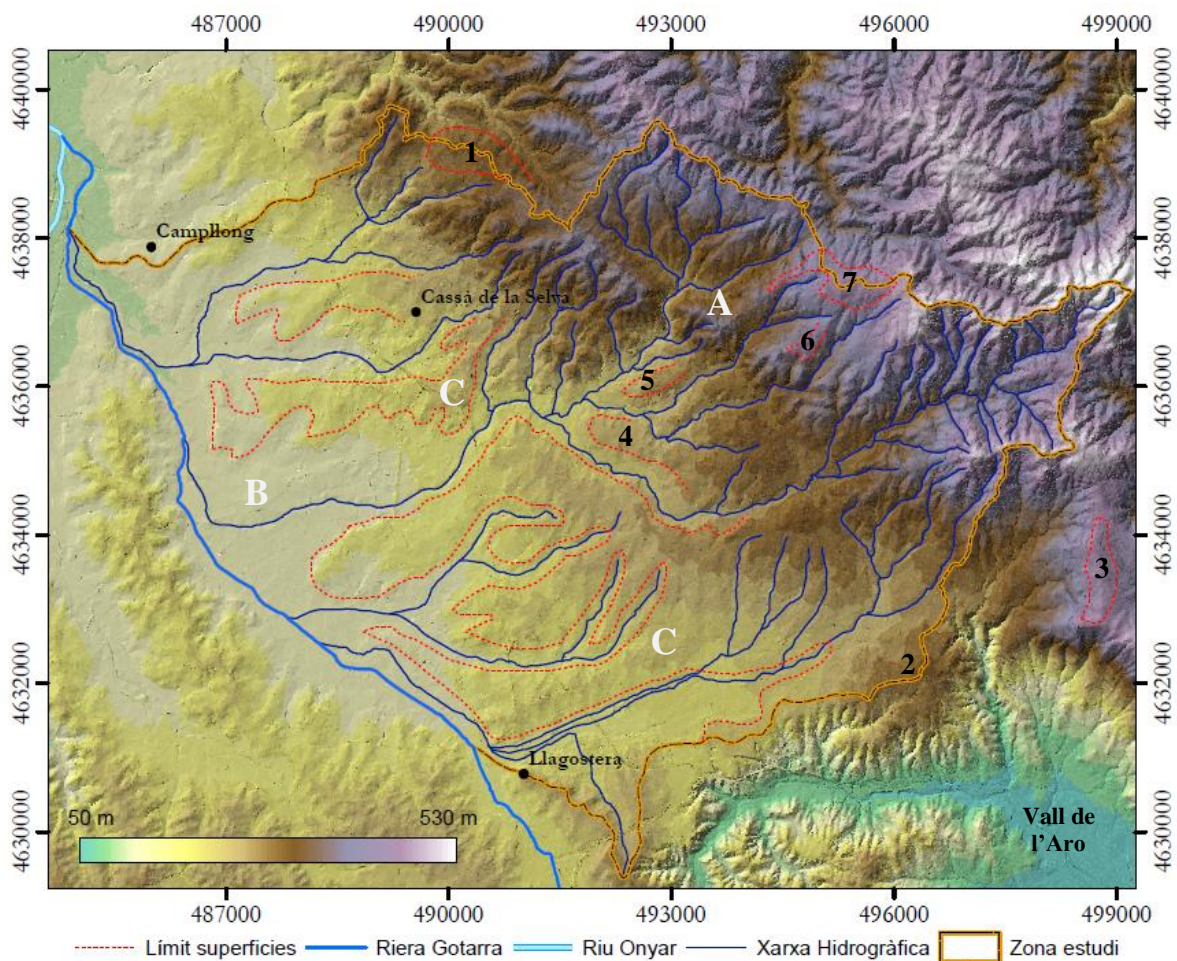


Figura 2. Relleu de la zona d'estudi. Elaborat a partir de les dades altimètriques 1:5000 (ICGC, 2010b). Per delimitar les superfícies s'ha consultat el mapa morfològic de la zona (Pallí, 1983).

Veïnats: (1) Matamala; (2) Panedès; (3) Romanyà de la S. Masos; (4) Ca n'Arbres i Can Sardanes; (5) Mas Bota i Mas Bassets. (6) Les Planes. (7) Planes d'en Castelló

2.3. El clima i règim pluviomètric

El clima a la zona es cataloga com Mediterrani Prelitoral Nord, amb els següents trets distintius: precipitació mitjana entre 700 i 1000mm, amb màxims equinoccials, una temperatura mitjana de 14-15 °C i una amplitud tèrmica de 15 a 18°C (Clavero et al,1996).

L'estació meteorològica més propera a la zona és la de l'aeroport Girona-Costa Brava. El seu registre de dades, resumit en el diagrama de la Figura 3, es presenta com a exemple del règim tèrmic i de precipitació que predomina a la comarca de La Selva i l'àrea meridional del Gironès (SMC, 2016).

Referent al règim pluviomètric, el total anual mitjà al prelitoral de La Selva i el sud del Gironès es troba al voltant de 700-750mm, encara que augmenta considerablement cap a la zona del Montseny. Estacionalment, la distribució de pluges presenta dos màxims a la primavera i tardor (Maig i Octubre) i mínims a l'estiu (Juliol). Finalment, com a dada de torrencialitat, el major valor registrat de precipitació màxima en 24h és de 177.1mm l'Octubre del 1987

Respecte al règim tèrmic, l'estiu és calorós, amb un juliol molt àrid al ser el mes amb menys precipitació i major temperatura mitjana (29.2°C). L'hivern és moderat, amb una temperatura mínima mitjana de 8.4°C i un valor mínim mig de 1°C al mes de Gener.

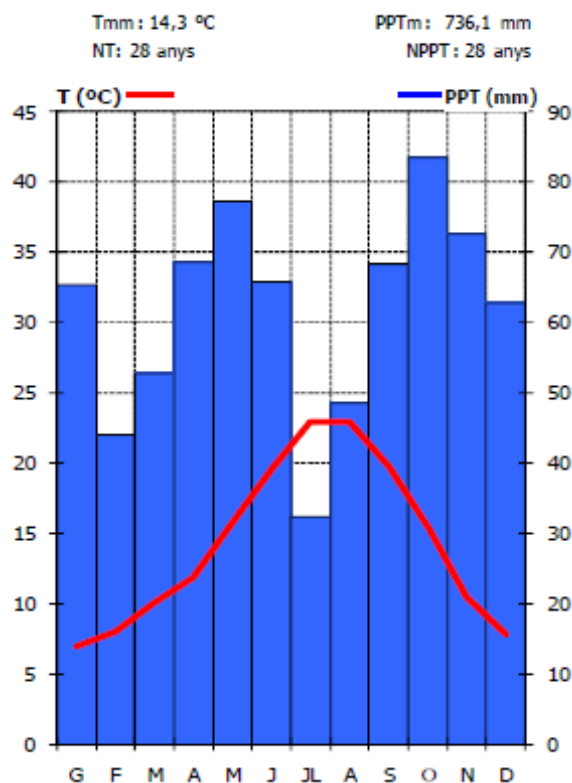


Figura 3 Diagrama de precipitació i temperatura mensual. Gràfic elaborat pel Servei Meteorològic de Catalunya (SMC,2016) amb dades de la estació de l'aeroport Girona-Costa Brava.

2.4. La vegetació

El bosc originari i potencial del massís de Les Gavarres és l'alzinar, format per **alzina** (*Quercus ilex*), **surera** (*Quercus suber*) i **roure** (*Quercus pubescens*), amb un estrat arbustiu dens d'espècies com el llentiscle (*Pistacia lentiscus*), l'aladern (*Phillyrea angustifolia*) o el galzeran (*Ruscus aculeatus*), i de lianes, com l'esbarzer (*Rubus ulmifolius*), l'heura (*Hedera helix*) o l'arítjol (*Smilax Aspera*). Tanmateix, el paisatge que més predomina són les brolles: comunitats vegetals originades per la degradació dels boscos originals a causa de la pressió antròpica o els incendis. Aquestes comunitats vegetals, molt esclarissades, estan formades principalment per arbustos com el bruc (*Erica arborea*) i diverses espècies d'estepa, acompanyades d'altres com el romaní (*Rosmarinus officinalis*), la gatosa (*Ulex parviflorus*) o la ginesta (*Spartium junceum*). A més, poden tenir un estrat arbori de sureres i pins (brolla arbrada) (Gavarres.cat, 2016)

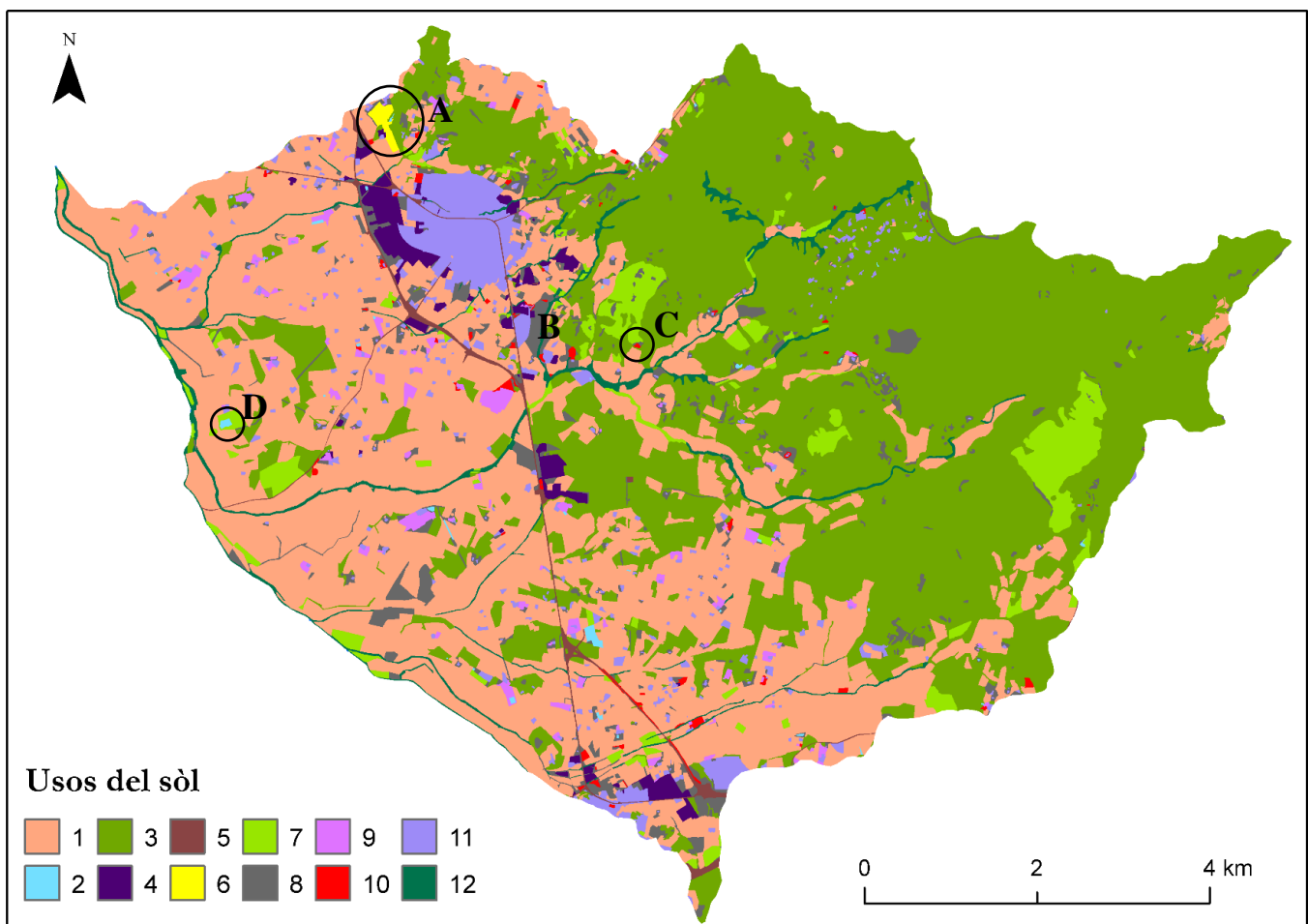
Un altre de les comunitats importants de la zona és la sureda. Aquests boscos poc densos, formats per alzina surera (*Quercus suber*) acompanyada de pi pinyer (*Pinus Pinea*) i pi pinastre (*Pinus Pinaster*), s'ubiquen sobretot als cims i als vessants més assolellats. Van proliferar molt a la zona amb el desenvolupament de la indústria surera.

Finalment, cal destacar aquella vegetació que prolifera a prop dels cursos d'aigua: el bosc de ribera. Aquestes comunitats ocupen zones humides al fons de les valls i al voltant de rius i rieres. Es caracteritzen per arbres caducifolis com el **vern** (*Alnus glutinosa*), el **freixe** (*Fraxinus angustifolia*), l'**om** (*Ulmus -*), el **pollancre** (*Populus tremula*), el **plataner** (*Platanus x hispànica*) o el **castanyer** (*Castanea sativa*); un sotabosc atapeït d'arbustos de zona humida (galzeran, heura, esbarzer...) i multitud d'espècies herbàcies. El bosc de ribera originari a la zona és la verneda, encara que no en tots els indrets es troba ben representat o es distingeix de la vegetació habitual en llocs humits. De fet, a les rieres Gotarra i Banyaloques, aquest tipus de bosc està força alterat per l'acció humana, ja que o bé les comunitats són escasses, o bé predominen les canyes (*Arundo donax*) o arbres més característics d'altres zones, com el plataner o el pollancre (Plasencia, 2002).

2.5. Els usos del sòl

L'ús del sòl a la zona està molt lligada amb la diferència de relleu entre el sector de Les Gavarres i la Depressió de La Selva. En essència, es diferencien dues franjes de direcció NO-SE (Figura 4). La franja més oriental és essencialment boscosa, i correspon al sector de muntanya i a Les Gavarres. En mig del bosc, s'hi observen zones de plantació (eucaliptus i pollancre) i planes agrícoles, lligades a planells o als fons de vall de les rieres Verneda, Vilallonga i Banyalocques.

En canvi, la franja occidental s'emmarca als sectors de transició i la Plana de La Selva. És principalment agrícola, amb nombroses explotacions ramaderes escampades i dues àrees industrials adjacents als municipis de Cassà de La Selva i Llagostera. També hi ha zones boscoses i de plantacions, però no són pas predominants.



1) Agricultura; 2) Basses i equipaments d'aigua; 3) Bosc; 4) Indústria; 5) Infraestructures; 6) Extraccions; 7) Plantacions; 8) Prats i matorrals; 9) Granges; 10) Sòl nu; 11) Urbà; 12) Vegetació de ribera

Figura 4. Mapa d'usos del sòl de la zona. Elaborat a partir de la informació del mapa d'usos del sòl (CREAF,2009). Consultable interactivament a l'Annex 4.

L'activitat minera és inexistents a la zona, malgrat que en d'altres indrets de Les Gavarres existeixen els vestigis d'explotacions mineres artesanals (apartat 3.3). En canvi, l'activitat extractiva de roques hi és més present. Actualment, només existeix una argilera activa al nord de Cassà de La Selva (punt A Figura 4). Tanmateix, tradicionalment s'explotava el sauló en diferents parcel·les de poca entitat. Els terrenys abandonats on es troben els antics fronts d'explotació estan classificats com a sòl nu, al voltant del veïnat de la Verneda (punt B Figura 4). N'hi ha quatre de catalogats, i un d'ells ha estat utilitzat com a abocador, ara clausurat; es desconeix el contingut del material abocat.(punt C Figura 4).

Finalment, les aigües residuals produïdes per les diferents activitats són tractades a una estació depuradora (punt D Figura 4). La majoria dels habitatges, establiments i indústries de Cassà i Llagostera estan connectats al sistema de sanejament municipal, que condueix l'aigua fins la EDAR mitjançant tres canonades principals soterrades. La planta depuradora aboca les aigües tractades directament a la riera Gotarra; per tant fóra de la unitat hidrològica definida en aquest treball (Cassà, 2009).

Tanmateix, existeixen algunes empreses, censades i autoritzades per l'ACA, que realitzen abocaments directes al domini públic hidràulic, suposadament havent estat tractats prèviament per sistemes de depuració interns. La majoria es concentren a la subconca de Susvalls i a la part baixa de la subconca Verneda. Alguns exemples d'activitats realitzades per empreses censades són agricultura, ramaderia i elaboració de productes càrnics, fabricació de formigó, plàstic, suro o aparells elèctrics; valorització de materials classificats o hostaleria i restauració (ACA,2016).

Capítol 3 Context geològic de les conques estudiades

3.1. Marc estructural

L'àrea estudiada se situa en el marc de dues unitats estructurals ben diferenciades: el massís de Les Gavarres i la fossa tectònica de La Selva. Totes dues unitats formen part de l'extrem septentrional de la Serralada Costanera Catalana.

La Serralada Costanera Catalana és una alineació de serres que s'estenen en direcció NE-SO, paral·leles a la línia de costa actual, des del Cap de Begur a l'extrem més septentrional fins a la Serra dels Ports de Beseit al sud, on enllaça amb la Serralada Ibèrica a través d'un tram de transició anomenat Zona d'Enllaç, al Maestrat. En aquesta Serralada Costanera es diferencien tres subunitats: la Serra Prelitoral, que limita amb la Conca de l'Ebre; la Depressió Prelitoral i la Serra Litoral, adjacent a la costa. Tanmateix, altres autors creuen que aquesta classificació obeeix més a criteris geogràfics que geològics; per això, proposen altres nomenclatures per dividir-la segons criteris estratigràfics i tectònics: en sectors, paral·lels a la alineació i que representen unitats paleogeogràfiques; i en dominis, transversals i amb diferències estratigràfiques entre ells. (Anadón et al, 1979)

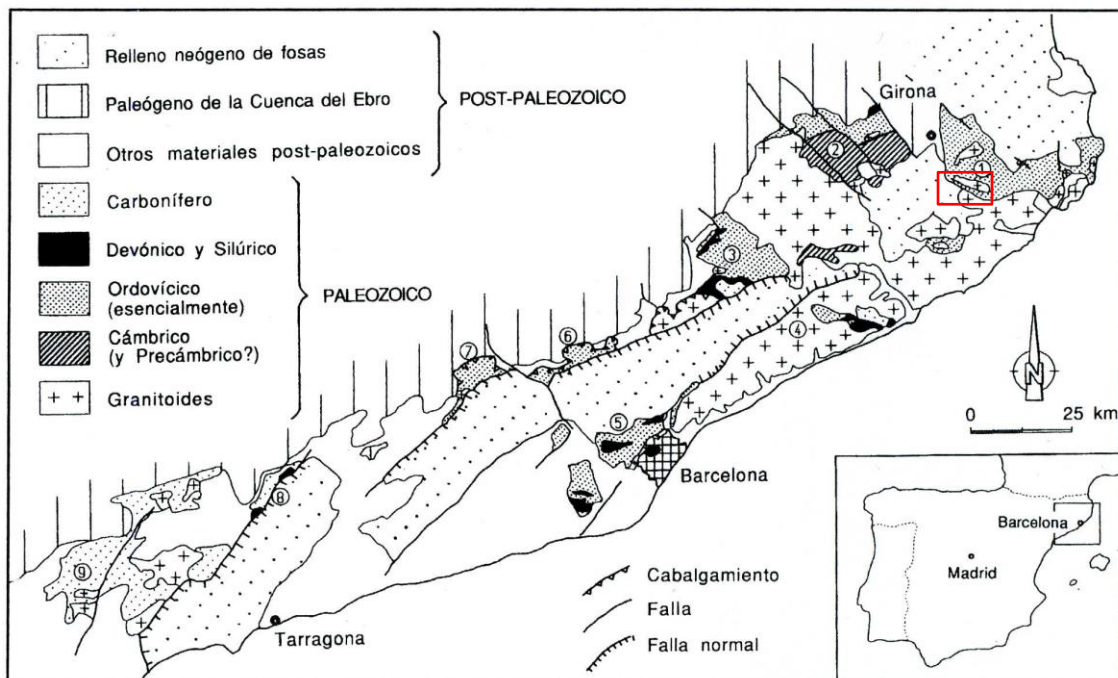


Figura 5 Esquema estructural de les Cadenes Costaneres Catalanes (Julivert i Duran, 1992). 1, Gavarres. 2, Guillerics. 3, Montseny. 4, Montnegre. 5, Collserola. 6, Pedritxes. 7, Capellades. 8, Serra de Miramar. 9, Bloc del Priorat-Prades. El requadre vermell ubica l'àrea estudiada.

Pel que fa al seu origen, la Serralada Costanera Catalana es defineix com un orogen alpí, estructurat durant el Cenozoic per la inversió tectònica de les conques mesozoiques (Álvaro et al 1979).

Segons Santanach (1992a), el conjunt de materials que formen la Serralada representa un registre estratigràfic molt ampli i divers litològicament, però que pot agrupar-se en dos conjunts: el sòcol i la cobertora. D'una banda, es consideren part del **sòcol** els materials paleozoics pre-orogènics, que foren intensament deformats durant l'Orogènia Herciniana (anterior al Carbonífer inferior); els materials paleozoics sinorogènics, sedimentats a les conques d'avantpaís del Massís Hercinià a mesura que aquest s'alçava i/o s'erosionava (Carbonífer superior-Permià); i les roques ígnies post-orogèniques que intrueixen la sèrie paleozoica.

D'altra banda, la **cobertora** engloba tots aquells materials posteriors, principalment mesozoics, que es dipositaren discordantment sobre el sòcol.

L'existència d'aquesta cobertora va lligada, entre d'altres factors, a la paleogeografia que ocupava l'actual Serralada Costanera des de finals del Paleozoic. Durant gran part del Mesozoic, aquest context paleogeogràfic fou el d'un extens mar somer i càlid desenvolupat en escorça continental, que rodejava zones emergides de relleus paleozoics molt arrasats. Gràcies als esdeveniments geodinàmics globals (trencament de Pangea a finals del Paleozoic, obertura de l'Atlàntic central durant el Juràssic i l'allunyament de la Placa Africana respecte Euràsia), en aquest mar somer prosperaren una sèrie de falles normals que individualitzaren un conjunt de conques sedimentàries, on s'hi acumularen gruixos importants de material al llarg del Mesozoic (Santanach, 1992a; Sopeña, 2004).

Durant el Paleogen, aquestes falles van començar a actuar en sentit invers a causa de la col·lisió entre les plaques Ibèrica i Eurasiàtica i la formació dels Pirineus. Les deformacions generades al marge de la placa Ibèrica es van anar transmetent cap a zones interiors de la placa i van reactivar les falles que limitaven les conques mesozoiques. Això va fer que tant el sòcol com el gruix de sediments acumulats s'apilessin en diverses làmines encavalcants i estructurassin la Cadena Costanera Catalana (Guimerà, 1992b).

Ara bé, l'estructura que avui dia defineix els relleus de la Serralada Costanera s'atribueix a la formació de la Conca Marina Catalanoblear durant el període extensiu del Neogen (Santanach, 1992b). En aquest context, un conjunt de falles normals de direcció NE-SW i NW-SE van anar enfonsant progressivament els relleus cap a la Mediterrània en un sèrie d'alts estructurals i fosses tectòniques. Algunes d'aquestes falles, com la del Vallès-Penedès són antics encavalcaments Paleògens que han actuat amb un moviment normal (Guimerà, 1992a). Així doncs, el conjunt de serres i fosses que formen l'actual Serralada Costanera Catalana representen els primers graons d'aquesta davallada.

Com ja s'ha apuntat, l'àrea estudiada s'ubica a l'extrem septentrional de la Serralada Costanera Catalana, en el marc de dues de les unitats estructurals individualitzades durant el Neogen: el marge SO de Les Gavarres en contacte amb la Fossa de La Selva (Figura 5).

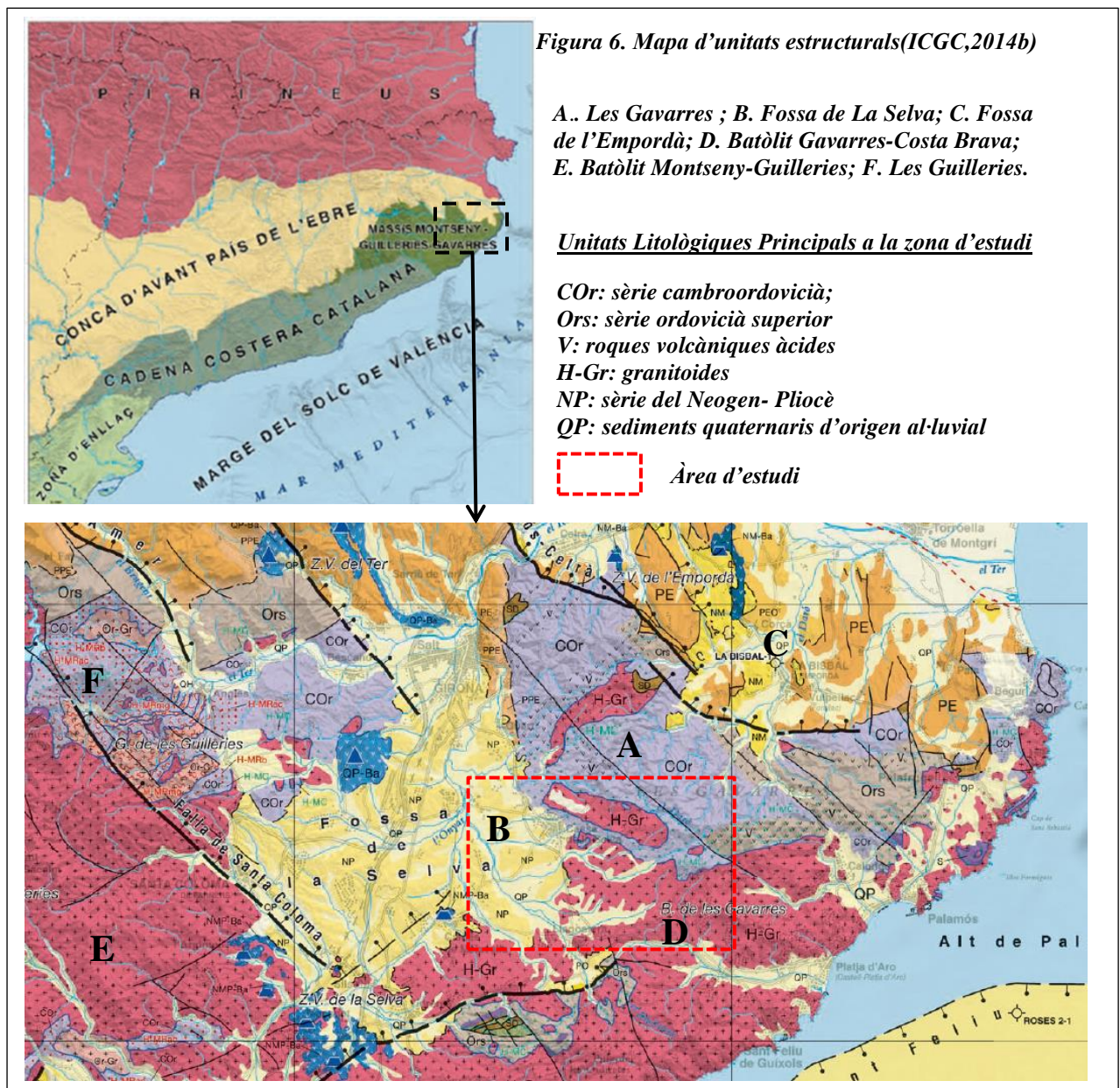
D'una banda, **el massís de Les Gavarres** és un d'aquests alts estructurals, constituït essencialment per materials del sòcol Paleozoic: al centre i nord del massís, predomina una sèrie sedimentària afectada per un metamorfisme regional de baix a molt baix grau, que assoleix només la zona de la clorita o d'esquistos verds (Sebastián et al, 1990); en canvi, a la part sud i est del massís aflora un conjunt de roques plutòniques i hipabissals, que intrueixen la sèrie metasedimentària paleozoica. Al voltant d'aquestes intrusions s'hi han desenvolupat importants aureoles de metamorfisme de contacte. L'absència de cobertora mesozoica s'ha explicat per la no deposició d'aquests materials (Domini septentrional segons Anadón et al, 1979).

D'altra banda, **la Depressió de La Selva** és una fossa tectònica compartimentada per un conjunt de falles orientades principalment NO-SE. La seva estructura consisteix en un sòcol paleozoic, meta-sedimentari al nord i granític al sud, arrasat a 100m i recobert posteriorment per sediments pliocens procedents del desmantellament dels relleus circumdants. Tanmateix, a causa dels cicles d'erosió quaternaris, els materials pliocens només es conserven al marges de la depressió, on formen un conjunt de turons entre 100 i 160m d'altura (Solé Sabarís i Llopis Lladó, 1939)

3.2. Marc litostratigràfic

El conjunt de materials presents a la zona d'estudi formen un registre geològic complex i heterogeni, tant en litologies com en edats. Són el testimoni dels diversos processos que s'han anat succeint i que han modelat l'actual estructura geològica i de relleu. D'acord amb això, tant Les Gavarres com la Depressió de La Selva estan formats per materials ben diferenciats.

En aquest apartat es descriuran les unitats litològiques més importants a la zona: la **sèrie estratigràfica paleozoica** que constitueix gran part de Les Gavarres; **les roques ígnies** del Batòlit de la Costa Brava, predominants a la part meridional de Les Gavarres i a la zona d'estudi; els **materials neògens** que rebleixen la Fossa de La Selva; i **sediments quaternaris** generats per la dinàmica de rius i torrents (Figura 6)



3.2.1.El Paleozoic de Les Gavarres

Els afloraments de roques sedimentàries i metamòrfiques del Paleozoic a la Cadena Costanera Catalana apareixen en àrees aïllades, separades entre sí per intrusions de granitoides, fosses tectòniques reblertes de sediments neògens i àrees amb cobertura mesozoica (Figura 5). Estratigràficament, aquesta successió es divideix en dues parts, separades per una disconformitat (Julivert i Durán, 1992):

- **La successió pre-carbonífera**, que engloba els materials més antics coneguts del Càmbric o anterior fins a finals del Devonià inferior. A grans trets, és una sèrie detrítica força monòtona de pissarres, gresos de gra fi i quarsites, amb pocs horitzons guia i mancada de fòssils conservats que permetin una bona datació. El Silurià i Devonià es caracteritzen per la presència de les pissarres negres amb graptòlits i les formacions calcàries, respectivament.
- **La successió del Carbonífer pre-Estefanià**, on es distingeix el Carbonífer previ a l'Orogènia Herciniana i el Carbonífer sinorogènic, representat per uns conglomerats de còdols arrodonits, gresos i lutites coneguts com a fàcies *Culm* i interpretats com sèries turbidítics (ICGC, 2014a)

La sèrie paleozoica de Les Gavarres pertany a la successió pre-carbonífera, i s'ha dividit en tres unitats: inferior, intermèdia i superior (Barnolas i García-Sansegundo, 1992; Roqué i Pallí, 1994).

La unitat inferior és coneguda com a **Sèrie heterolítica inferior de Les Gavarres**. El tram inferior d'aquesta unitat, d'uns 1500m de potència, és eminentment lutític. Alternen rítmicament pissarres i limolites amb alguns nivells decimètrics de quarsites.

Cap al sostre, les intercalacions de quarsites i gresos quarsítics són cada cop més abundants i potents. Així doncs, al tram superior predomina una sèrie detrítica de conglomerats i quarsites, intercalats entre pissarres, limolites i calcàries (Figura 7)

Posteriorment, la unitat intermèdia, que s'atribueix a l'Ordovicià superior, es divideix en quatre conjunts de litologies (Figura 7). De base a sostre està constituïda per:

- **Conglomerats de Sant Cebrià de Lledó:** conglomerats amb matriu llimosa abundant i clastes arrodonits de gres quarsític d'entre 3 i 10 cm.
- **Complex volcanosedimentari:** format per esquists quars-feldspàtics, amb textura porfírica i color groguenc. Esporàdicament apareixen intercalacions de grauvaques de color grisós. Es consideren roques derivades de materials piroclàstics de composició àcida i dipòsits de caiguda de cendres. La potència és de 500 a 600m.
- **Limolites i calcàries de Mas Calç:** alternança de limolites amb nivells més lutítics, amb un aspecte bandejat. Presenta alguns nivells de calcàries micrítiques sense restes fòssils. La potència és d'uns 150m
- **Pissarres de Fitor:** pissarres de color negre a gris-blavós amb intercalacions de gresos quarsític de gra fi. La potència total no s'ha establert perquè al sostre de la unitat sempre s'hi identifica una superfície tectònica de desenganxament, tal i com s'observa a la columna estratigràfica (Figura 7)

Finalment, la unitat superior és una formació carbonatada amb abundants restes fòssils, que ha permès una bona datació d'edat siluriana-devoniana. Les capes de calcàries, matriu-suportades (wackstone) i de color gris a groguenc, es troben intercalades entre lutites carbonatades verdoses a vermelloses. Reben el nom de **Carbonats de Sant Miquel i de Montnegre**. Aquesta unitat sempre es troba en contacte tectònic, o bé amb la Unitat heterolítica inferior, com amb els granitoides (Figura 7)

Altres autors consideren que no hi ha prou indicis per assegurar la presència a la zona de les pissarres negres del Silurià, habituals en d'altres afloraments Paleozoics de les Cadenes Costaneres Catalanes (Roqué i Pallí, 1994).

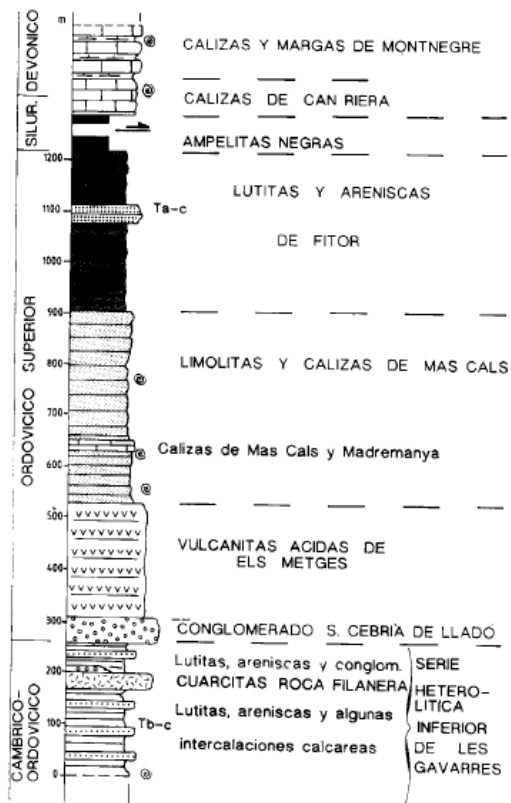
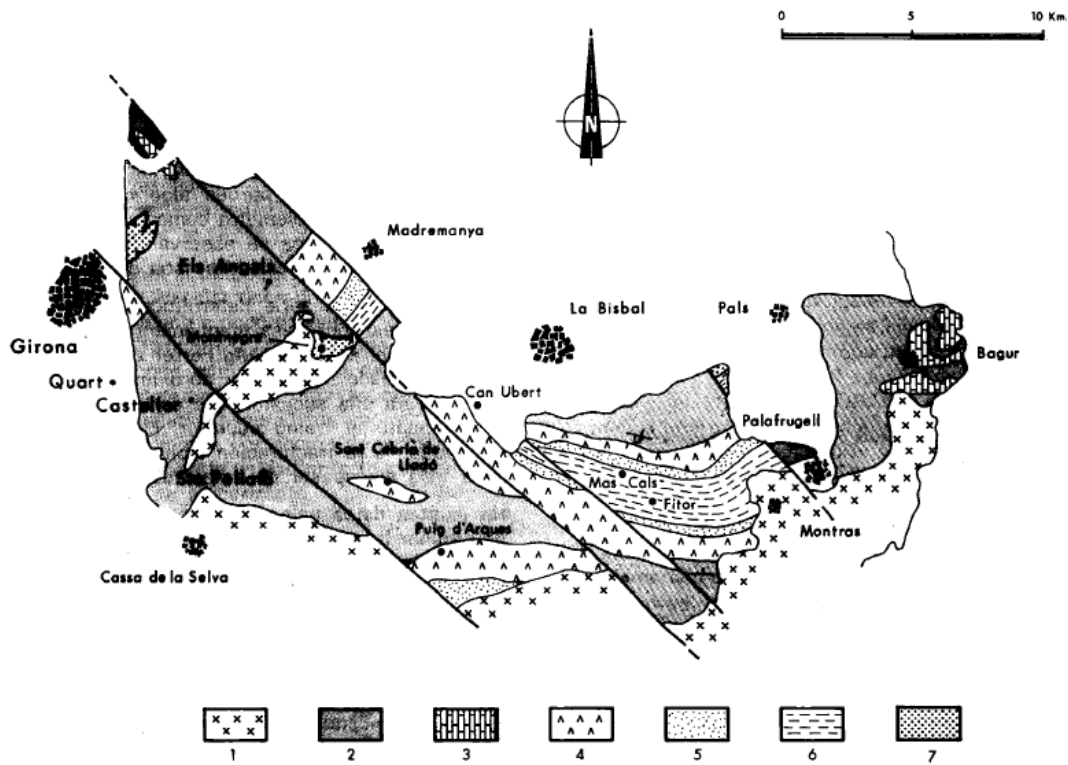


Figura 7 . Estratigrafia de la sèrie paleozoica de Les Gavarres (Barnolas i García – Sansegundo, 1992)

A dalt: distribució de les unitats paleozoiques al massís de Les Gavarres. Notar que l'àrea d'estudi se situa al marge meridional, a Cassà de La Selva.

A l'esquerra: columna estratigràfica de la sèrie paleozoica.

3.2.2.El batòlit de Les Gavarres.

El batòlit de Les Gavarres-Costa Brava és la denominació geogràfica per distingir la part més septentrional del Batòlit Costaner Català (Figura 6). Aquest batòlit, d'extensió desconeguda, està format per diversos plutons amb varietat de textures i composicions modals, encara que principalment predominen el grup dels granitoides: granodiorites (65%), monzogranits (27%) i tonalites (7%). La resta són roques de composició més bàsica o àcida (Enrique, 1990)

A més, en determinades zones, com la que ens ocupa, existeix també un conjunt de roques hipabissals, de composició semblant a les roques plutòniques, que travessen el complex plutònic com un dens eixam de dics i sills.

L'edat que s'atribueix a aquestes roques intrusives per datació radiomètrica és el Carbonífer Superior- Permià; per tant, es consideren unes intrusions formades durant els darrers estadis de l'etapa herciniana.

Les roques plutòniques

A la zona d'estudi es distingeixen quatre grups de roques plutòniques (Enrique, 1990; ICGC, 2006; ICGC, 2007):

- Granodiorita biotítica amb megacristalls: de color gris fosc i molt meteoritzades. Són freqüents les textures porfíriques, amb megacristalls de feldspat potàssic i matriu de gra mig-groller de quars, plagiòclasi, biotita tabular i feldspat potàssic. Tanmateix, també hi són presents varietats equigranulars.
- Granit biotític: la seva composició modal és de monzogranit; per tant, tenen una major proporció de feldspat potàssic respecte plagiòclasi. A més, en comparació amb la granodiorita, tenen un percentatge menor de biotita, un major contingut en quars i una important reducció d'anortosita en la plagiòclasi. Tenen un color més clar, encara que també estan fortament alterades. La seva textura sol ser equigranular de gra gros.
- Leucogranit moscovític: per composició es tracta d'un monzogranit. El seu contingut en biotita és inferior al 5%, i per tant es considera una variant leucocràtica (índex de color més baix). Com a particularitat, presenten moscovita i granat. Tenen un color molt clar, de blanc a groguenc segons el grau de meteorització. La textura és inequigranular. Són roques força resistents a la meteorització i erosió, de manera que són les responsables dels

turons més importants a la zona d'estudi. Apareixen com una intrusió el·lipsoïdal de 7.5km de llarg i 2 km d'ample.

- Sienites: no són abundants a la zona d'estudi, però hi apareixen puntualment. Té una coloració vermellosa a rosada, i té com a minerals essencials principalment la ortosa, amb plagiòclasi sòdica i amfíbol.
- Unitat complexa: formada per una amalgama entre granitoides i roques de metamorfisme de contacte, identificables per separat però sense prou extensió com per ser cartografiades a 1:5000 (ICGC,2006). A la cartografia s'interpreta com el sostre del plutó, i per això hi ha aquesta geometria irregular.

Les roques hipabissals

Formen un eixam de discs subverticals de gruix decimètric a mètric i continuïtat lateral d'ordre mètric a quilomètric, segons tipologia. La majoria d'ells estan relacionats genèticament i en composició amb les roques plutòniques descrites; d'altres s'hi han emplaçat per processos diferents i posteriors. Es destaquen:

- Pòrfirs de composició variada: diorítica, granodiorítica o (leuco)granítica. Presenten textura porfírica o afanítica microcristal·lina.
- Aplites i pegmatites: com a minerals accessoris destaquen la moscovita, turmalina, epidota i granats.
- Filons de quarz massiu, associat a processos hidrotermals.
- Lampròfirs, de textura porfírica amb matriu de gra fi i fenocristalls de piroxè i biotita. La seva relació amb el complex plutònic no està del tot ben entesa.

L'aureola de contacte

Les roques al voltant de les intrusions plutòniques estan afectades per una aureola de metamorfisme de contacte, on l'increment de temperatura va permetre assolir les fàcies de corniana hornblèndica (Sebastián et al, 1990). Així doncs, a les zones més properes a les intrusions predominen les cornianes, de composició variada segons quin fos el protòlit (unitat inferior i mitja de la sèrie paleozoica); en canvi, a les zones més allunyades, destaquen les fil·lites pigallades.

Són roques molt competents, que destaquen al paisatge per un relleu pronunciat: una cresta estreta amb direcció NO-SE que limita el sector de muntanya amb el de transició (Figura 2)

3.2.3.El Neogen i el Quaternari a la Fossa de La Selva

El rebliment de la Fossa de La Selva es produí durant el Neogen mitjançant un conjunt de ventalls al·luvials adossats als relleus que limiten els marges de la conca (Cabrera i Guimerà, 1992). Donat que l'àrea estudiada es troba al sector SE de la conca, els materials neògens presents provenen de l'erosió del marge occidental de Les Gavarres.

Els ventalls al·luvials més importants d'aquest marge es desenvoluparen sobre el substrat granític de la part més meridional; per això, els dipòsits terrígens del sector proper a Cassà de La Selva i Llagostera són rics en feldspats. En essència, aquests sediments són sorres arcòsiques de color gris blanquinós dipositades com cossos lenticulars, entre les quals hi ha intercalats nivells de llims i argiles de color vermell, ocre o verd i passades de graves. (ICGC, 2006).

Lateralment cap al nord, a la zona propera a Quart i Llambrils, passen a predominar les argiles de color vermellós (Figura 8). Aquest fet s'ha atribuït al canvi de litologia de l'àrea font, que en aquest sector és la sèrie heterolítica del Paleozoic inferior, més pissarrenca. (Marcet Riba i Solé Sabarís, 1949)

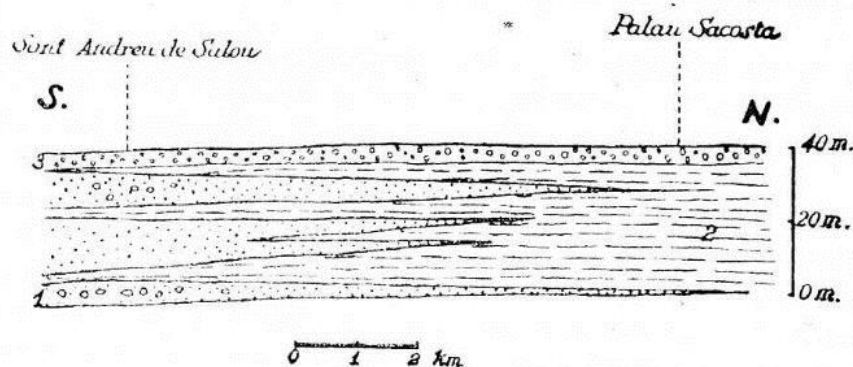


Figura 8 Variació lateral de fàcies del Pliocè de La Selva (Marcet Riba i Solé Sabarís, 1949).
1) Arcoses gris- blanques; 2) Argiles vinoses a groguenques; 3) Conglomerats vermells.

En referència als materials més recents del Quaternari, els sediments d'origen al·luvial són els més importants. Predominen als trams baixos de les rieres, al sector de plana, on omplen els fons de vall amples i poc canalitzats excavats en els granit meteoritzats. Són llims i argiles amb sorres de gra fi i còdols heteromètrics aïllats (ICGC, 2006).

A més, cal destacar els dipòsits eluvials o regòlits, originats per la meteorització del substrat rocós granític en superfícies horitzontals o poc inclinades (Marcet Riba i Solé Sabarís, 1949).

La Figura 9 mostra el mapa geològic de la zona, amb la ubicació de totes les unitats geològiques descrites, modificat a partir de la cartografia en format vectorial del ICGC (2001,2006,2007).

3.3. Marc metal·logenètic i d'activitats extractives

En el marc del context geològic fins ara descrit, les mineralitzacions existents s'han definit com a poques i poc importants, les explotacions de les quals es troben avui dia inactives en general (Mata, 1990). Tanmateix, les mineralitzacions hi són presents; per tant, l'alteració dels cossos més superficials i/o explotats pot originar una aureola de dispersió secundària, identificable en prospecció geoquímica de sediments.

Extracció de roques per ús industrial

Actualment, a la zona d'estudi només hi ha activa una extracció d'argiles al NO de Cassà de La Selva (Figura 4). És l'argilera de Can Xirgo, que explota una formació d'argiles vermelles-ocres i sorres arcòsiques d'edat pliocena.

Ara bé, antigament existien com a mínim 4 explotacions de granit i granodiorita al llarg de la carretera dels Metges just abans d'arribar al camí de can Vilallonga, al barri de la Verneda de Cassà de La Selva (Territori, 2014). Eren de petita entitat i se'n desconeix qui les explotava. Probablement s'abandonaren quan va entrar en vigor la Llei 12/1981 i el Decret 343/1983, que obligava els explotadors a dissenyar un pla de restauració. Cal destacar que una d'aquestes pedreres és avui dia un abocador clausurat, encara que de molt poca entitat. (Figura 4)

Mineralitzacions i activitat minera coneguda

No s'ha trobat cap referència sobre explotacions mineres importants dins dels límits de l'àrea estudiada. Tanmateix, si s'amplia el focus d'interès a la resta del massís de Les Gavarres i al límit entre la depressió de La Selva i el massís de l'Ardenya (zona de Vidreres a Llagostera), hi ha documentada l'existència de certes mineralitzacions i de petites explotacions tradicionals, ara inactives (IGME, 1974; Mata Perelló, 1990; Roqué i Pallí, 1994). A Les Gavarres es destaquen dos tipus de mineralitzacions (Solé, 1986):

- **Jaciments filonians de Les Gavarres**

Aquestes mineralitzacions es troben associades a un eixam de filons de quars amb direcció general NW-SE i verticals, encaixats tant en granits i granodiorites com en les roques de la sèrie paleozoica. Sovint, aquests filons són estèrils o van acompanyats de pirita o òxids i hidròxids de ferro. Tanmateix, en certs indrets s'han trobat enriquits especialment en baritina (BaSO_4), calcita i galena (PbS). Aquests indrets coneguts són dos: l'àrea de Mont-Ras i Llofriú, i l'àrea de Sant Mateu de Montnegre.

A les rodalies de Mont-Ras, es coneix l'existència de diverses mines de galeria excavades per explotar la galena i la baritina (mena) d'aquests filons de quars (ganga). Són explotacions tradicionals ara inactives, la més important de les quals és la mina "Carmen", on s'hi explotava la galena d'un filó de quars hidrotermal d'un metre de potència. A més, cal destacar que al mapa metal·logenètic de la zona hi figuren indicis de mineralitzacions filonianes de Pb i Ba en aquest sector (IGME, 1974)

En canvi, a l'àrea de Sant Mateu de Montnegre, aquests filons de quars es troben enriquits en baritina, però no galena. Una d'aquestes explotacions rellevants eren les Mines de Ca n'Estivalca. Aquestes, però, no figuren al mapa metal·logenètic.

Creiem que aquest tipus de mineralitzacions podrien aparèixer a la zona d'estudi, ja que també hi és present la mateixa família de filons de quars hidrotermal (Figura 9; ICGC,2006)

▫ **Formacions ferruginoses de Celrà**

S'ubiquen al sector nord de Les Gavarres, prop dels municipis de Celrà i Sant Julià de Ramís. Consisteixen principalment en mineralitzacions d'òxids i hidròxids de ferro i manganès estratiformes (goethita, limonita i hematites), acompanyats de petits filons amb indicis de Pb (galena, cerussita), Cu (calcopirita i malaquita) i Ba (baritina). Aquestes concentracions minerals s'emplacen tant a la sèrie volcanosedimentària de la unitat intermèdia, com als carbonats de la unitat superior (Solé,1986) (Figura 7). A més, tradicionalment han estat objecte de petites explotacions (mines de Celrà).

Pel que fa al seu origen, aquest tipus de mineralitzacions han estat interpretades segons un model epitermal lligat a la activitats volcànica explosiva de l'Ordovicià superior (Ferrer, 1990).

Finalment, Solé (1986) també identifica altres mineralitzacions rellevants presents als materials cambrordovicians, però es concentren a l'àrea del Cap de Begur, molt allunyat i geològicament molt diferent de l'àrea d'estudi.

MAPA GEOLÒGIC DE LA ZONA D'ESTUDI

Modificat a partir de les dades geològiques de ICGC (2001, 2006 i 2007)

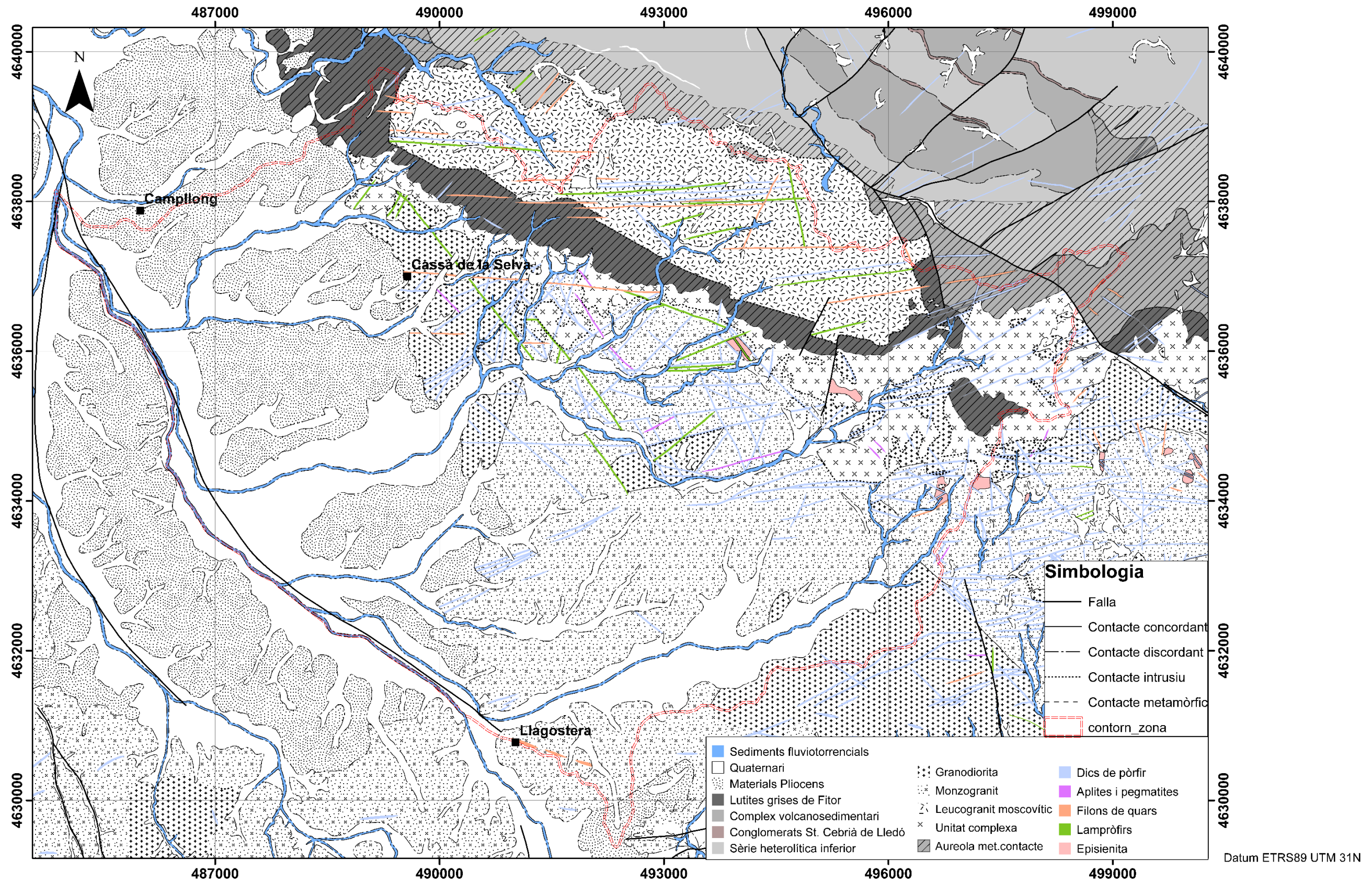


Figura 9. Mapa geològic de la zona d'estudi. Modificat a partir del mapa 1:25000 del ICGC (2001,2006,2007).

Capítol 4 Anàlisi geomorfomètric de les conques

L'anàlisi geomorfomètric d'una conca hidrogràfica té per objectiu descriure'n les seves característiques físiques: tant la forma, el relleu o la xarxa hidrogràfica, com el substrat geològic i com aquest en condiciona la morfologia.

Així doncs, definir bé aquests trets inherents de les conques és important a l'hora d'entendre'n el seu funcionament hídric davant de factors més variables com la pluviometria o els usos del sòl.

4.1. Característiques de les rieres i torrents

La xarxa hidrogràfica de la zona es pot dividir clarament en dues regions, tant per la morfologia dels cursos com per la seva densitat (Figura 10). La primera regió, a la zona de capçalera del sector de muntanya, es caracteritza per la **morfologia dendrítica** dels cursos amb direcció SO. És a dir, diversos cursos petits van coincidint dos a dos en angle agut per formar un nou curs de més entitat, de manera que un conjunt de petits torrents va definint aigües avall un curs principal. Aquest tret general es manifesta amb les seves particularitats segons la riera. Per exemple, la riera Vilallonga i Vernegar (punts 5 i 6 Figura 10) s'ajusten bé a la descripció anterior. En canvi, la riera Verneda (punt 1 Figura 10) està ben definida des de la capçalera i, a més, capta un conjunt de torrents més curts, de major pendent i amb una confluència en angle gairebé recte. Aquesta morfologia és més aviat **pinnada**.

En canvi, quan els cursos entren al sector de transició i de plana, la morfologia es torna totalment paral·lela. En aquesta segona regió, els diversos cursos principals ja no reben tributaris, circulen un al costat de l'altre per una gran plana al·luvial sense interferir i acaben confluïnt en diferents punts amb la riera Gotarra, que flueix en sentit N-NO.

Ara bé, la morfologia de les rieres en aquest segon sector està molt condicionada per l'activitat humana dels nuclis urbans propers: Cassà de La Selva i Llagostera. Són diversos els indicis que així ho fan pensar. En primer lloc, s'observa com les rieres, en el seu tram final, transcorren paral·lelament a la riera Gotarra al llarg de 1 a 3 km, separades només per 100 m (punt A Figura 10). A més, en aquest darrer tram les rieres estan flanquejades per motes. Tot això fa pensar en un traçat imposat per l'home, probablement per millorar la capacitat de desguàs de les rieres i minimitzar les inundacions dels camps del voltant.

En segon lloc, el traçat de la riera Banyalocues al seu pas per Llagostera resulta molt poc natural (punt B Figura 10). En realitat, són tres rieres amb traçat paral·lel i separades poc menys de 100m entre elles: la Banyaloca al centre, el Rieró al nord i la Cateura al sud. Al camp no s'hi han observat motes, però són cursos molt incidits i reforçats per escullera i formigó. En conjunt, sembla també un traçat antròpic, probablement per evitar-hi la formació d'aiguamolls després de les inundacions, al tractar-se d'una zona molt plana. De fet, els topònims locals reforcen aquesta hipòtesis, ja que en aquesta zona hi ha establert un barri antigament anomenat Veïnat de l'Estany. En aquest sentit, l'historiador local Elvis Mallorquí està investigant per documentar aquesta hipòtesi (comunicació personal).

En darrer lloc, l'existència de nombroses conduccions artificials, com canals de reg, el sistema de sanejament urbà i industrial o les canalitzacions en granges, és un indicador més sobre l'adaptació d'aquest tram baix de conca a l'activitat humana i les seves necessitats hidrològiques (línies amb trama discontinua Figura 10). Per exemple, sota la llera de les rieres urbanes de Cassà (torrent del Pas i Riera de Susvalls, punts C i C' Figura 10) s'hi han emplaçat les conduccions principals de la xarxa de clavegueram, que condueixen les aigües residuals domèstiques i industrials del municipi a la EDAR (Cassà, 2009)

Litomorfolgia

La influència de la litologia en la morfologia dels cursos d'aigua és molt marcada. D'una banda, a les zones de capçalera, on la xarxa és més densa, ramificada i de torrents més curts, encaixats i amb vessants en forma de V, el substrat predominant són els leucogranits, les cornianes o les fil·lites pigallades. Aquestes són les roques més competents de la zona.

D'altra banda, a les zones de plana, on la morfologia és paral·lela i els cursos són més llargs, amples i amb valls poc encaixades en forma de bressol, el substrat és molt menys resistent: granits i granodiorites molt alterades, sorres i argiles terciàries o dipòsits al·luvials quaternaris.

A més, el propi pendent dels torrents també juga un paper important en la morfologia del seu traçat: com major és el pendent, més capacitat d'erosió té l'aigua que hi circula, i més estret i incidit serà el seu curs. D'acord amb aquest principi, els cursos més encaixats es troben a les conques amb major pendent (P_m a Taula 2)

Adaptació del traçat de les rieres a l'estructura geològica

Si s'observa amb detall els cursos principals, s'aprecia com en determinats punts el seu traçat experimenta girs bruscs, a vegades de 90° (punt D Figura 10). A més, també s'observa com el sentit de drenatge de les rieres, amb sentit SO, canvia cap al nord al sector de plana. Aquestes tendències direccionals són imposades pels sistemes de fractures de direcció NE-SO, NW-SE i N-S (Mas et al, 1985).

Jerarquitització de la xarxa de drenatge

La xarxa de drenatge pot assimilar-se a un conjunt de nodes connectats entre sí per segments de recta (Horton, 1945; Strahler, 1957). Els nodes *font* són aquells connectats només a un segment, mentre que els nodes *unió* en reben més d'un.

A cada segment se li atribueix una categoria numèrica o ordre d'importància. Quan dos segments del mateix ordre conflueixen, generen un nou segment d'ordre major; en canvi, si el node *unió* rep dos segments d'ordre diferent, el segment que en surt és la continuació del d'ordre major. Es consideren d'ordre 1 aquells segments que neixen d'un node *font*; així doncs, quan dos segments d'ordre 1 conflueixen en formen un d'ordre 2, i així successivament.

Els cursos d'una xarxa de drenatge es defineixen com la unió de diversos segments. Es considera el curs principal aquell que té el node *font* en el punt més elevat de la conca, mentre que la resta de cursos són tributaris. La categoria de la conca serà la mateixa que l'ordre del curs principal al punt de sortida.

Aquesta jerarquitització s'ha establert per conveni sobre la xarxa hidrogràfica identificable a escala 1:50000 (ICGC, 2010a). És obvi que una cartografia més detallada permetria identificar torrents més petits, de manera que l'ordre seria major en general.

Les subconques de major entitat identificades a la zona són les de les rieres **Vernegar** (ordre 3), **Vilallonga** (ordre 4) i **Verneda** (ordre 4) (Taula 1). De fet, totes elles podrien considerar-se també com la conca de la riera Verneda, ja que aquesta riera és la que desemboca a la riera Gotarra (Figura 10). Tanmateix, s'ha optat per aquesta subdivisió perquè facilita l'anàlisi morfomètric del proper apartat.

LES CONQUES ESTUDIADAES I LES SEVES CARACTERÍSTIQUES MORFOMÈTRIQUES

Taula 1. Dimensions característiques de les conques jerarquitzaació dels cursos segons criteri de Horton-Strahler. Càlculs efectuat mitjançant SIG

Conques	Jerarquitzaació dels cursos ¹								Dimensions ²					
	Ordre 1		Ordre 2		Ordre 3		Ordre 4		L _t	L _r	L	L _c	S	Perímetre
	Nº	L(km)	Nº	L(km)	Nº	L(km)	Nº	L(km)	Km	Km	Km	Km	Km ²	Km
1. Verneda	21	21.721	3	3.551	1	8.063	1	6.533	39.987	17.111	12.768	5.837	22.156	39.368
2. Susvalls	5	13.147	1	6.465	0	-	0	-	19.662	8.601	6.801	3.641	15.518	20.370
3. Banyaloques	9	17.862	2	10.770	1	2.954	0	-	31.585	11.815	9.471	5.594	14.968	26.671
4. Cagarella	4	7.985	2	3.817	1	1.426	0	-	13.228	5.241	4.906	3.119	10.516	15.063
5. Vilallonga	11	13.513	2	1.837	1	2.401	1	0.666	18.417	5.907	4.226	2.631	7.563	14.837
6. Vernegar	4	7.610	2	2.726	1	0.904	0	-	11.240	5.602	4.632	2.433	5.532	12.335

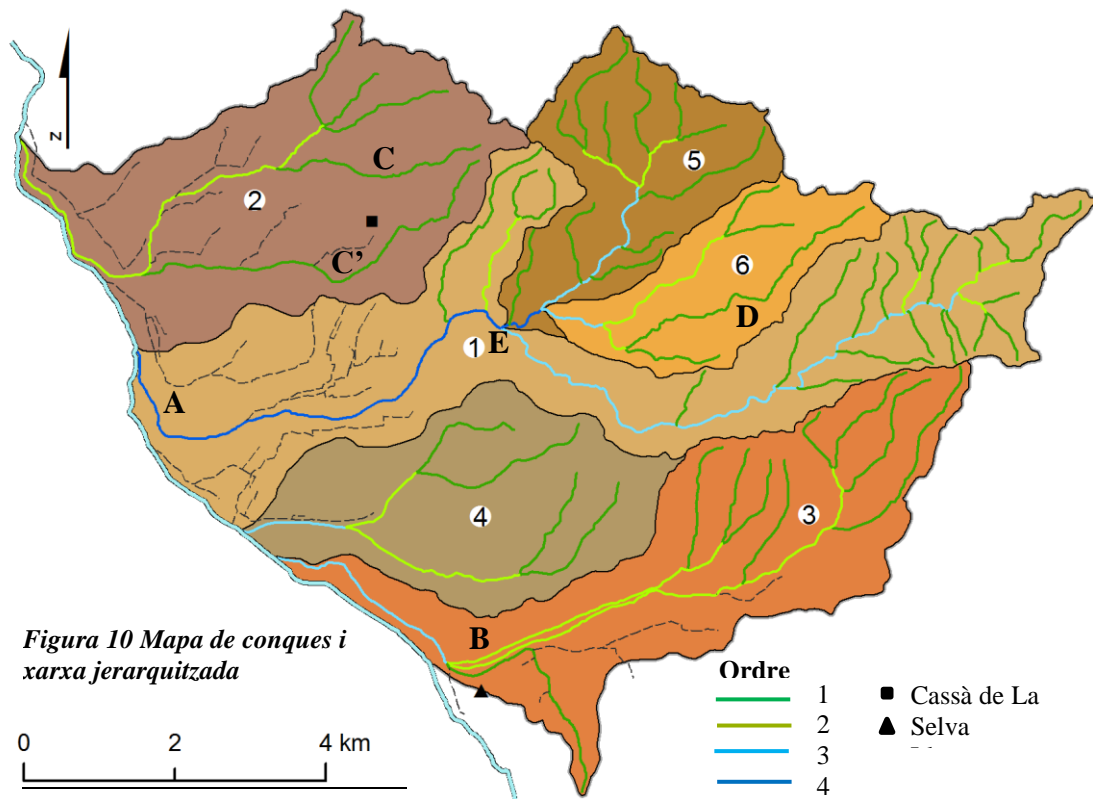


Figura 10 Mapa de conques i xarxa jerarquitzada

Taula 2 Paràmetres geomorfomètrics de les conques

Conques	Lineals ³			Superfície ⁴		Relleu ⁵	
	D	C _T	R _b	K _c	R _f	P _m	H _m
	Km ⁻¹	-	-	-	-	%	m
1.Verneda	1.805	0.95	3.67	2.34	0.136	9	185.7
2.Susvalls	1.267	0.32	5	1.44	0.335	5	134.2
3.Banyaloque	2.110	0.60	3.25	1.93	0.167	5	155.8
4.Cagarella	1.258	0.38	2	1.30	0.437	3	128.8
5.Vilallonga	2.435	1.45	2.83	1.51	0.423	14	213.4
6.Vernegar	2.032	0.72	2	1.46	0.258	12	220.7

³**Lineals.** D=densitat de drenatge; C=coeficient torrencialitat; R_b=relació bifurcació.

⁴**Superfície.** K_c=coeficient de compacitat ; R_f : factor de forma.

⁵**Relleu.** P_m=pendent mitjà; H_m = elevació mitjana.

¹ **Jerarquitzaació.** N^o= nombre de segments d'ordre donat; L= suma de les longituds dels segments. Veure apartat d'anàlisi morfomètric per més informació.

² **Dimensions.** L_t= longitud total dels cursos de la conca; L_r= longitud del curs principal; L= longitud de la conca; L_c= longitud des del centre fins al punt de sortida de la conca; S=àrea

4.2. Anàlisi morfomètric de les conques

En aquest apartat es descriurà les propietats morfològiques i hidrològiques de les conques mitjançant una sèrie de paràmetres objectius. Existeix un gran nombre de variables pensades per quantificar diversos aspectes de les conques; tanmateix, aquí només s'utilitzaran alguns dels més comuns per tal de complementar les descripcions i figures dels apartats anteriors en aquest capítol, potser més subjectives. Algunes d'aquestes variables són mesures directes realitzades utilitzant el programa SIG ArcGis© (Taula 1); d'altres, són magnituds dependents calculades a partir de les mesures directes (Taula 2). Per més detalls, pot consultar-se l'Annex 4.

4.2.1. Propietats lineals

Les propietats lineals d'una conca són totes aquelles mesures directes i paràmetres que caracteritzen tant la xarxa hidrogràfica com la longitud de la conca segons diferents criteris.

Longituds característiques de la conca

- Longitud de la conca (L): longitud d'una línia recta paral·lela al curs principal.
- Longitud al centre de la conca (L_c): distància entre el punt de desembocadura i el centre geomètric de la conca.
- Longitud del curs principal (L_R): distància entre el naixement i la desembocadura de la conca seguint el traçat del curs principal.
- Longitud total dels cursos (L_T): suma de la distància recorreguda per tots els cursos de la conca cartografiats a escala 1:50000.

Paràmetres de la xarxa hidrogràfica

- Densitat de drenatge (D)

Es defineix la densitat de drenatge com la relació entre la longitud total dels cursos i l'àrea de la conca a la que pertanyen (Horton, 1945).

$$D[\text{km}^{-1}] = \frac{L_T[\text{km}]}{S[\text{km}^2]}$$

Aquest paràmetre informa sobre el desenvolupament de la xarxa de drenatge, encara que també se'n poden deduir altres aspectes com la permeabilitat del substrat, el relleu o la resposta hidrològica davant d'una pluja. Una xarxa de drenatge ben desenvolupada (densitat alta) pot indicar un substrat poc permeable i un relleu accidentat, que afavoreixi l'escorriment superficial a través d'uns canals preferents enlloc de pel vessant (Taula 2)

▫ Relació de bifurcació (R_b)

Es defineix com la relació entre un ordre de cursos i l'ordre superior, i s'estima com la mitjana dels valors calculats pels diferents ordres dels canals (Taula 2)

$$R_b = \frac{n^{\circ} \text{ cursos ordre } n}{n^{\circ} \text{ cursos ordre } n + 1}$$

Aquesta proporció apareix a la *Llei dels nombres de corrent* establerta per Horton (1945) a partir de l'estudi de nombroses conques. Aquesta llei empírica diu que el nombre de corrents de cada ordre segueix una progressió geomètrica de raó igual a $1/R_b$. És a dir, si $R_b=2$ (valor mínim teòric), significa que si la conca és d'ordre 3, hi haurà un canal d'ordre 3, dos d'ordre 2 i 4 d'ordre 1.

Així doncs, una conca "natural" tendeix a mantenir la proporció entre els segments d'un ordre respecte el següent. Els valors habituals es troben entre 3 i 5.

▫ Coefficient de torrencialitat (C_T)

Aquest paràmetre és una mesura del potencial erosiu d'una conca. Es basa en quantificar el nombre de cursos d'ordre 1 per unitat de superfície, ja que aquest acostumen a ser els de menor recorregut i major pendent (Taula 2)

$$C_T = \frac{n^{\circ} \text{ cursos ordre } 1}{S [km^2]}$$

Donada una determinada superfície, com major sigui el nombre de cursos d'ordre 1, menor serà el temps de concentració de la conca, ja que l'aigua dels punts més allunyats es canalitzarà molt abans i es drenarà més ràpid del que ho faria circulant pel vessant, més rugós. Per tant, un valor alt d'aquest coeficient preveu un hidrograma amb pics de cabals molt pronunciats i sobtats (avinguda poc laminada).

4.2.2. Propietats de superfície

L'àrea és una de les magnituds més importants a l'hora de caracteritzar una conca. És una mesura objectiva de les seves dimensions i permet comparar-la amb d'altres. A més, és un dels factors més relacionats amb la resposta hidrològica de la conca davant d'una pluja (volum captat, cabals d'escorriment superficial, etc.), i per tant, és decisiu en la capacitat de transport de sediments.

Ara bé, dues conques amb la mateixa superfície poden tenir formes diferents: simètriques o asimètriques, circulars o el·lipsoïdals, rectangulars o triangulars, etc. S'ha demostrat que la forma

de la conca, juntament amb d'altres factors (relleu, usos del sòl o tipus de xarxa de drenatge), condiciona la forma de l'hidrograma d'una avinguda (Jardí, 1985)

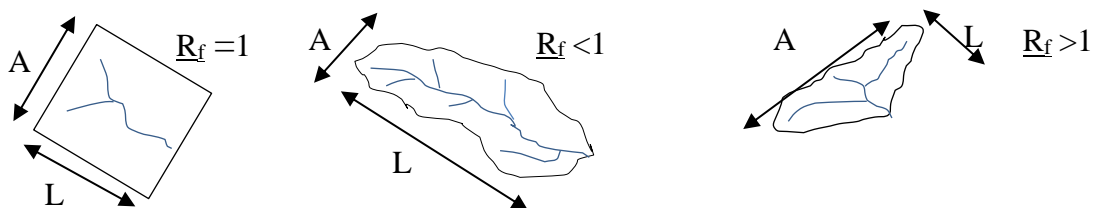
Per aquest motiu, existeix una gran diversitat de paràmetres per caracteritzar la forma de les conques. La majoria es basen en una relació entre l'àrea S i el perímetre P

▫ Factor de forma (R_f)

Es defineix com la relació entre l'ample de captació (A) i la longitud (L) de la conca. Tenint en compte que l'ample de captació és la superfície (S) entre la longitud (L) (Gravelius,1914), s'obté:

$$R_f = \frac{A}{L} = \frac{S/L}{L} = \frac{S}{L^2}$$

Així doncs, un valor $R_f=1$ indicaria una conca quadrada, amb el mateix ample de captació que la longitud entre capçalera i punt de sortida de la conca. En canvi, valors $R_f < 1$ indiquen conques més llargues que amples, i per tant elongades (Taula 2).



▫ Coefficient de Gravelius (K_c)

Aquest paràmetre compara el perímetre de la conca (P) amb la longitud de circumferència d'un cercle d'igual superfície (Gravelius,1914)

$$K_c = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Independentment de si la conca és arrodonida o allargada, aquest paràmetre permet identificar com de regular és el contorn. Com més gran a 1 sigui K_c , més lobulat o irregular serà el contorn; és a dir, menys compacte (Taula 2).

4.2.3. Propietats de relleu

Característiques com l'altitud o el pendent d'una conca són determinants per aspectes com la temperatura, règim de precipitació, velocitat d'escorriment o maduresa de la conca.

Per definir el relleu de les conques, s'han utilitzat les dades altimètriques de la zona (ICGC,2010b), i l'extensió 3D Analyst del programa ArcGis ©. Amb aquestes eines, és possible aproximar el relleu a partir d'una xarxa irregular de triangles (TIN). A partir d'aquesta, es pot

dividir la zona en píxels i interpol·lar un valor d'elevació o pendent per cada un. El resultat és el model digital d'elevacions (MDE) de la conca.

▫ Elevació de la conca

El model digital d'elevacions permet calcular immediatament una sèrie d'estadístics per cada conca: valors extrems, rang o la superfície ocupada per un cert interval d'elevacions. Per resumir de manera útil aquestes xifres, s'ha utilitzat dues representacions: la corba hipsomètrica i el mapa d'elevacions.

La corba hipsomètrica d'una conca (Figura 12) representa el percentatge de superfície que es troba per sobre d'una certa altura. És un gràfic que permet visualitzar la distribució numèrica de les elevacions: l'altura mediana, el rang d'elevació o els valors màxim i mínim. A més, també dóna informació sobre el grau de maduresa de la conca (Figura 11). En canvi, el mapa d'elevacions (Figura 14) permet visualitzar a l'espai la distribució d'elevacions, i complementa tota la informació sintetitzada a la corba hipsomètrica.

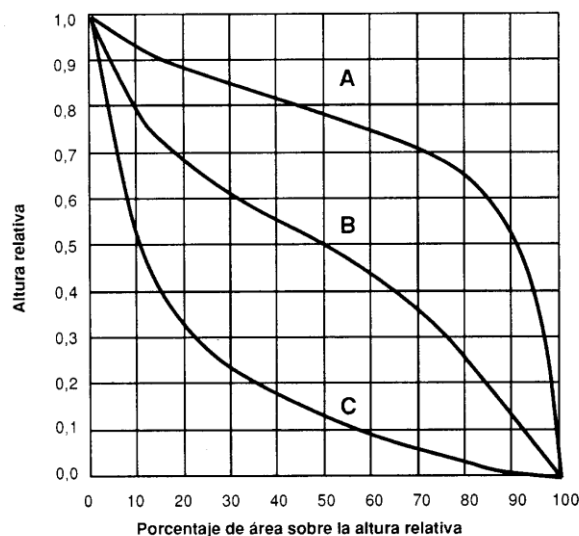


Figura 11 Corbes hipsomètriques del cicle erosiu d'una conca, segons Strahler (Llamas,1993). A) Conca de dinàmica erosiva (joventut); B) Conca en equilibri (maduresa) ; C) Conca de dinàmica sedimentària (vellesa). L'altura corresponent al 50% de la superfície correspon a l'altura mediana.

▫ Pendent de la conca

El pendent, és la relació entre la diferència d'altura entre dos punts respecte la distància horitzontal que els separa. S'ha calculat a partir del MDE utilitzant l'eina *slope* de l'extensió *Spatial Analyst* del programa ArcGis. Com a resultat s'obté un valor del pendent en % a cada píxel del mapa (Figura 13) i un histograma amb la distribució per conques, a partir del qual es calcula la mitjana per cada conca (Taula 2)

4.2.4. Discussió dels resultats

Referent a la **xarxa hidrogràfica**, la densitat de drenatge aconseguix reflectir bé les diferències morfològiques entre les zones de capçalera i de transició o plana. Les densitats més elevades corresponen a les subconques de capçalera Vilallonga i Vernegar (Taula 2), amb relleus de major pendent i litologies més competents i impermeables (cornianes i leucogranits). En canvi, els valors més petits són els de les conques de plana Susvalls i Cagarella, de relleus més suaus i litologies més permeables i poc competents (granitoides molt alterats i sediments al·luvials quaternaris).

Ara bé, aquest criteri no sembla complir-se per les conques Banyaloques i Verneda. D'una banda, a les Banyaloques la densitat calculada és de les més elevades tot i estar en zona de plana, la qual cosa podria atribuir-se a l'acció antròpica sobre la xarxa de drenatge als voltants de Llagostera, on es mantenen artificialment tres cursos en paral·lel per afavorir el drenatge de la zona. D'altra banda, ben diferent és el cas de la conca de la Verneda, on la densitat pren un valor intermedi entre els que s'han considerat de capçalera i de plana. És justament per aquest motiu: és un valor mig que representa tota la conca, amb una zona de capçalera més densa i ramificada en un substrat impermeable, i una zona de plana amb un únic curs.

Pel que fa a **la forma**, és destacable que les conques més importants, Verneda i Banyaloques, tenen el factor de forma més petit (Taula 2), i per tant són les més allargades. A més, també són les conques amb un factor de compacitat major, la qual cosa indica que tenen un perímetre molt irregular. Per tant, aquesta morfologia afavoreix la laminació de l'hidrograma d'una avinguda, ja que l'aigua ha de recórrer més distància i tarda més en concentrar-se.

En canvi, la conca Vilallonga és la més arrodonida i la més compacta (R_f i K_c propers a 1, Taula 2). A més, és la de major coeficient de torrencialitat i densitat de drenatge. Tots plegats afavoreix que l'aigua d'escorriment superficial es pugui concentrar molt ràpidament i acabi produint cabals punta alts i sobtats al punt de desguàs, on conflueix amb la riera Verneda (punt E Figura 10)

Finalment, en referència al **relleu**, a partir de les corbes hipsomètriques es dedueix una altura mediana de 125-150m per les conques de plana i transició, i de 212m per les conques de muntanya (Taula 2). A més, totes mostren un perfil característic de conques envellides (Figura 12). Per tant, en general no són conques on la diferència d'altura sigui un factor clau en el comportament hidràulic.

Pel que fa al **pendent**, sí que juga un paper més important. D'una banda, les conques de les rieres Vilallonga i Vernegar presenten els valors de mitjana més elevats, 14 i 12% respectivament (Taula 2). Aquesta característica, juntament amb les anteriorment comentades (alta compacitat i arrodoniment, poca longitud i nombrosos cursos d'ordre 1) sembla indicar que aquestes conques poden produir avingudes molt ràpides i concentrades.

D'altra banda, la conca de la riera Verneda té un pendent mitjà inferior a les anteriors, de 9% (Taula 2). Ara bé, la seva superfície és entre 3 i 4 vegades més gran i té una proporció molt important a la zona de plana (baixa pendent). Tot i així, el valor de mitjana es prou rellevant, de manera que el pendent a la zona de capçalera ha de ser forta en general (Figura 13). Per tant, tot i tenir paràmetres lineals i de forma que afavoreixen la laminació de les avingudes (factor de forma elongat, gran longitud del curs, baixa compacitat del perímetre), el fort pendent a la zona de capçalera és un indicador de la potència de les avingudes generades en aquesta conca.

CORBES HIPSOMÈTRIQUES DE LES CONQUES D'ESTUDI

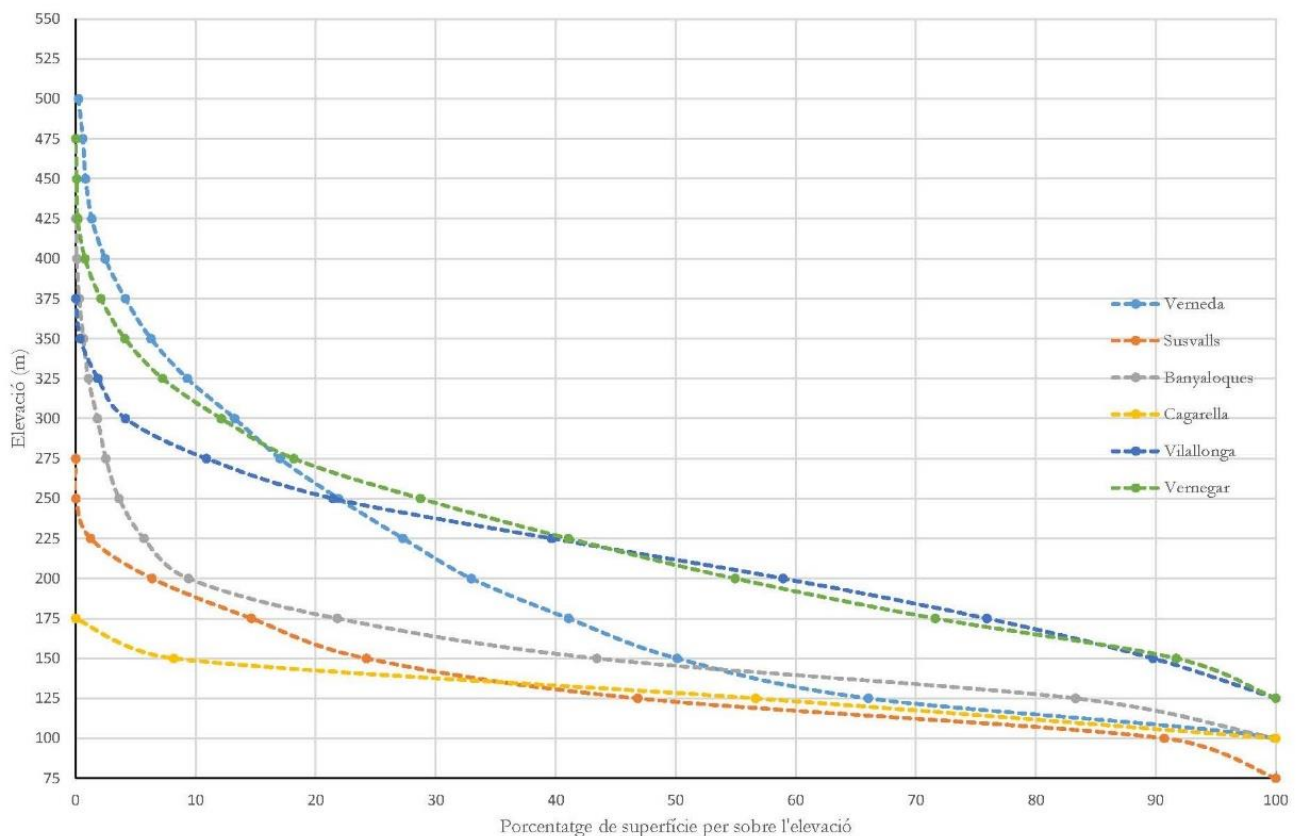


Figura 12. Anàlisi de relleu: corbes hipsomètriques de les conques, calculades a partir del mapa d'elevacions

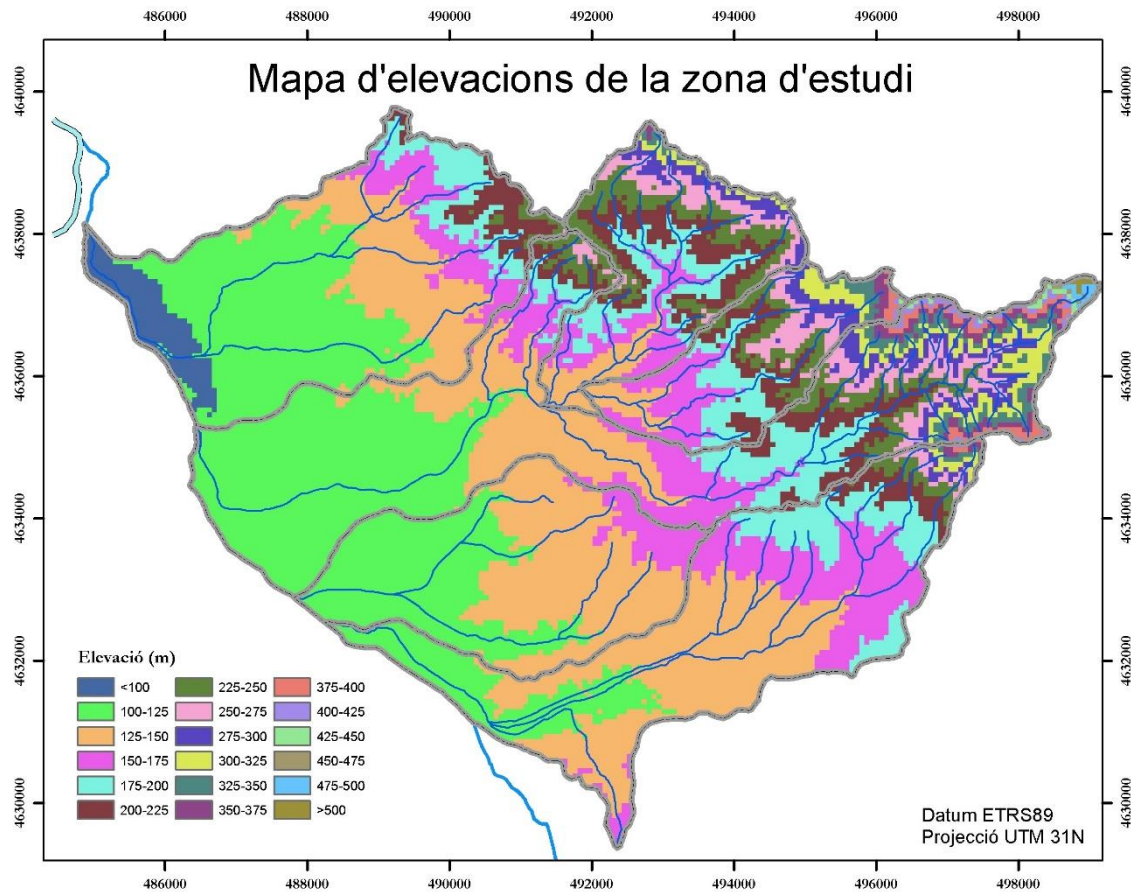


Figura 14. Anàlisi del relleu: mapa d'elevacions calculat mitjançant les dades altimètriques disponibles de la zona (ICGC,2010b)

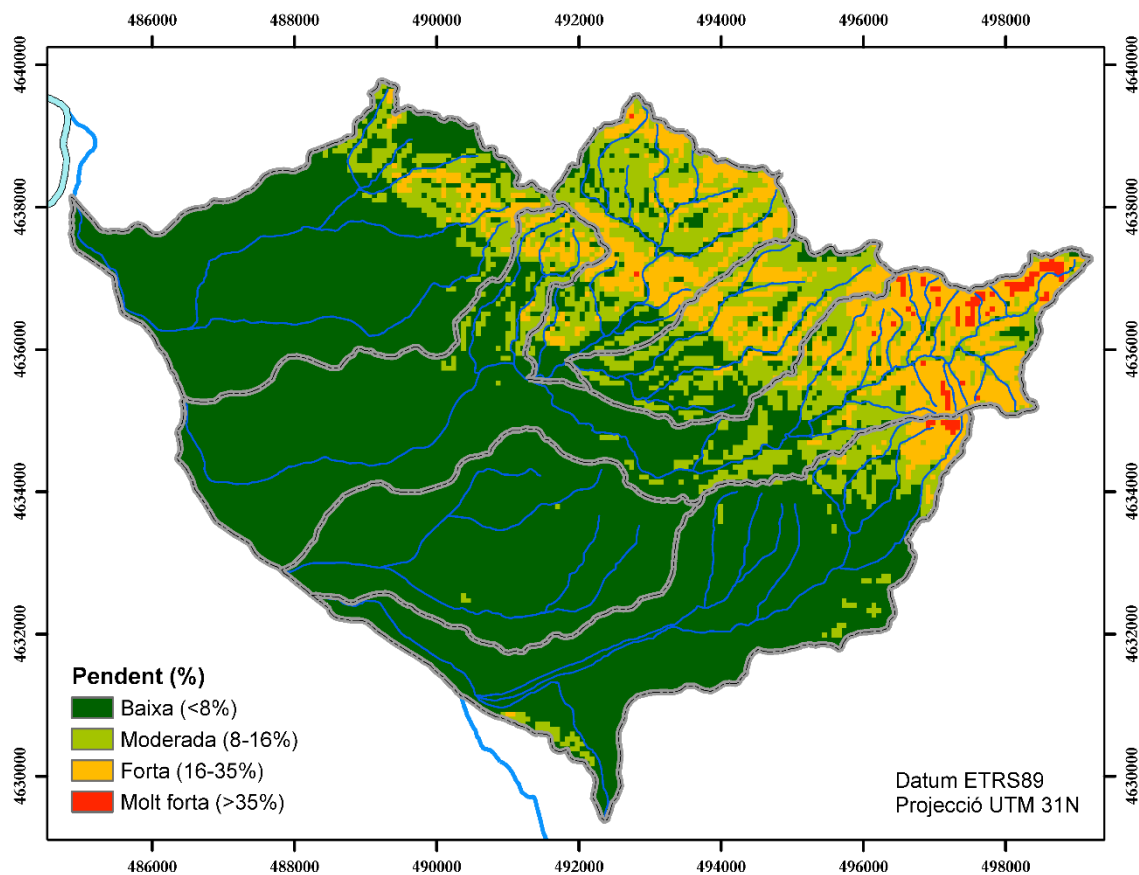


Figura 13. Mapa de pendents calculat a partir del model d'elevacions. Classificació de pendents segons Mora et al (2002)

Capítol 5 Mostreig

5.1. La prospecció de sediments en xarxes de drenatge

L'estudi dels sediments al·luvials en xarxes de drenatge és el mètode més emprat pel reconeixement geoquímic en conques hidrogràfiques ben desenvolupades. La seva utilitat rau en considerar el sediment com un producte representatiu d'aquells materials constituents de l'àrea font, aigües amunt del punt de mostreig; per tant, poden servir per reconèixer una zona geoquímicament anòmala en el marc de la conca hidrogràfica i rastrejar-ne l'origen (Levinson, 1980a). A més, és un mètode que permet conservar la mostra per estudis posteriors i pot aplicar-se en qualsevol tipus de clima (Font, 1983).

El principi fonamental de la geoquímica de sediments és l'efecte meteoritzant i de transport que tenen els agents naturals sobre el substrat aflorant. A la intempèrie, molts dels minerals formadors de roques i mineralitzacions són inestables, i s'alteren per l'efecte de reaccions químiques (hidròlisi, oxidació, etc). Com a resultat, s'alliberen elements en dissolució i es disgrega la roca per la pèrdua de consistència dels seus minerals, així com per l'efecte de la meteorització física (fracturació per canvis de temperatura)

Per tot plegat, aquests productes de meteorització s'acaben concentrant a les xarxes de drenatge, on l'aigua els transporta corrent avall, o bé en dissolució en cas dels ions resultants de l'alteració mineral (*dispersió química*), o bé com a càrrega de fons en el cas de fragments lítics i partícules minerals més resistents (*dispersió mecànica*). La distància que recorren aigües avall, fins que els clastes se sedimenten i els ions en solució precipiten o són adsorbits pel sediment fi, depèn de les condicions químiques del medi (pH, Eh, producte solubilitat, etc) i la capacitat de càrrega del corrent aquós (Rose et al, 1979a)

Els processos descrits sempre afecten el substrat rocós de la zona; per això, la composició química del sediment al·luvial és habitualment una mostra del *fons geoquímic*: la concentració habitual en un element químic. Tanmateix, quan actuen sobre un cos mineralitzat prou superficial, s'observa com els sediments al llarg de la xarxa de drenatge mostren concentracions *anòmalament* altes en els elements característics de la mena. A més, idealment dibuixen un *patró de dispersió* característic, que permet rastrejar i acotar-ne l'origen: els sediments amb major concentració es troben als cursos d'aigua propers al cos mineralitzat; aigües avall, la concentració disminueix gradualment per dilució; en canvi, aigües amunt, no hi ha dispersió d'elements, i per tant el sediment no registra la presència de la mineralització (Rose et al, 1979b) (Figura 15).

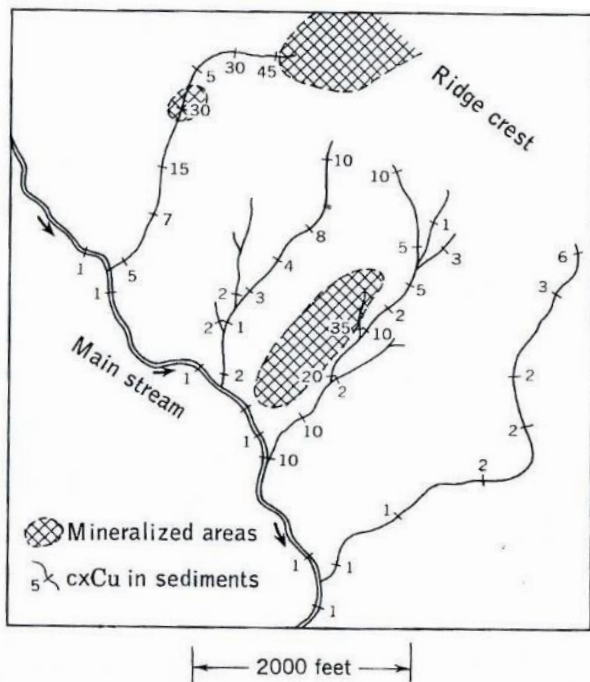


Figura 15. Dispersió del coure en els sediments de la xarxa que drena una mineralització de coure, Uganda. (Rose et al, 1979b).

Fins ara, només s'ha fet referència a un cos mineralitzat com l'origen de la *anomalia geoquímica* a localitzar; aquest és l'objecte d'interès en l'exploració de recursos minerals. No obstant, un focus de contaminació (industrial, urbana, agrícola, etc) també suposa la concentració anòmalament alta d'un cert element susceptible a dispersar-se al llarg de la xarxa de drenatge; la seva localització és l'objectiu de la prospecció orientada a la geoquímica ambiental.

En definitiva, per aprofitar els principis descrits i obtenir uns resultats fiables amb la prospecció geoquímica de sediments, són essencials tres aspectes: un bon mostratge, capaç de captar els patrons de dispersió a la xarxa de drenatge; una preparació adequada de les mostres, per tal d'escollir la fracció de sediment que representi millor el fenomen de la dispersió; i l'ús del mètode analític químic i/o instrumental que pugui oferir més contrast entre el fons geoquímic i els valors anòmals. (Hale i Plant, 1994)

5.2. Localització dels punts de mostreig

El mostratge dels sediments al·luvials es va planificar prèviament sobre un mapa de la xarxa hidrogràfica a escala 1:50000, amb l'objectiu de caracteritzar l'àrea estudiada amb el menor nombre de mostres possible.

El disseny del mostratge és dicotòmic: per cada bifurcació important es pren una mostra de sediment a cada curs, aigües amunt de la seva confluència. En els trams de riera llargs corresponents a la Zona de muntanya, amb major densitat de cursos, s'ha agafat una mostra

aproximadament cada 1500m; en canvi, a la Zona de plana, on el substrat és Terciari i pràcticament no hi ha cursos tributaris, la separació entre punts de mostreig és major.

La planificació inicial s'ha ajustat als imprevistos sorgits a camp, com poden ser la inaccessibilitat, la manca de sediments o la localització de possibles focus contaminants. En total, el mostratge consta de 60 punts en una àrea de 70 km², la qual cosa significa una densitat de mostratge de 1 mostra cada 1.27 km².

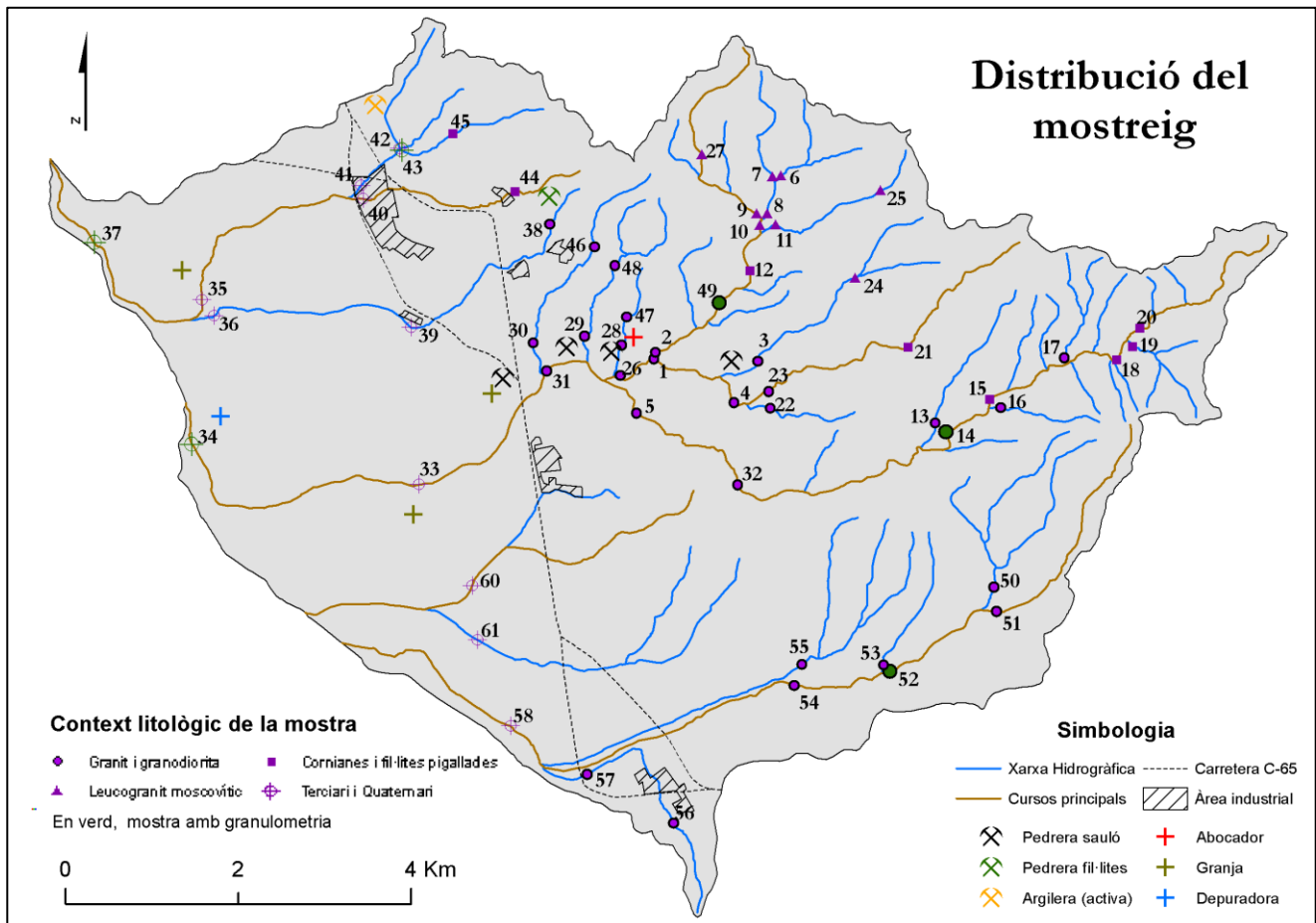


Figura 16. Mapa de distribució del mostreig, juntament amb la localització de punts d'interès. Xarxa hidrogràfica extreta del mapa 1:50000 (ICGC, 2010a). Ubicació de pedreres abandonades consultat de Territori(2014)

Aquest disseny no és tan sistemàtic i exhaustiu com el que recomana l'exploració orientativa de Bermell (1973), en què es basen les prospeccions de sediments més importants a zones properes (Font, 1983; Solé, 1986; Viladevall et al, 1996; Viladevall et al, 1999). Tanmateix, es creu que pot ser vàlid com a primera aproximació perquè prioritza les zones amb la xarxa de drenatge millor desenvolupada i una geologia més variada, té en compte aquells punts on es creu probable trobar una anomalia antròpica i té una bona densitat en global.

5.3. Recollida de mostres

La presa de mostres es va realitzar durant els mesos de Desembre 2015-Gener 2016. Com a eines de planificació, es van utilitzar les cartografies de diferent escala disponibles a la zona, segons el propòsit: el mapa 1:50000 (Figura 16) va servir com a marc general, mentre que pel treball de camp es va dividir la zona en una quadrícula de mapes din-A3 a escala 1:5000 (ICGC,2010b) (veure Annex 4).

En referència al mostreig, es va seguir un protocol clar i senzill a fi d'aconseguir unes condicions de recollida similars per totes les mostres, i així evitar introduir errors sistemàtics. El sediment es recollia al llit viu de les rieres, o al canal més funcional en el cas d'estar seques; d'aquesta manera s'aprofita el procés de dispersió mecànica de les partícules (Font, 1983) i es redueix la possibilitat de mostrejar materials de caiguda provinents dels vessants. A més, per tal que la mostra sigui el més representativa possible, és recomanable recollir el sediment en diferents punts al llarg del canal. També és important cavar una mica i descartar el material més superficial de la llera, que pot contenir més proporció de matèria orgànica descomposta, fulles i arrels o material del vessant.



Figura 17. Punt de mostreig C-48, al Torrent del Cornell.

El mostratge es realitzava manualment, amb una pala de jardiner per recollir el sediment i bosses de plàstic de 3L per guardar i transportar la mostra sense contaminar-la (Figura 17)

Finalment, s'etiquetava la mostra de cada punt amb un codi, se'n localitzava la posició al mapa i es descrivien els següents aspectes del context en una fitxa (veure Annex 3):

- Referències geogràfiques per accedir al punt de mostreig
- Característiques de la riera: amplada, pendent i encaixament del llit viu, tipus de canal (únic, trenat amb barres, etc.), existència de plana d'inundació, altura i pendent dels marges.
- Vegetació i matèria orgànica: desenvolupament del bosc de ribera i grau de distinció de la vegetació respecte la resta del bosc, presència de fulles seques, arrels o horitzons de matèria orgànica en descomposició.
- El sediment: color, granulometria i selecció general amb l'ajuda d'un comparador, importància de la fracció fina argilosa (plasticitat), presència de còdols i blocs i la seva litologia.
- L'encaixant: riera encaixada en materials al·luvial/col·luvial quaternaris o en substrat rocós.
- Altres aspectes: presència d'aigua superficial (corrent o estancada) o subterrània (nivell freàtic superficial), elements contaminants in-situ o llocs propers potencialment contaminadors (extraccions, granges agrícoles i ramaderes, carreteres, canonades d'aigües negres o industrials, etc.).

5.4. Tractament de les mostres al laboratori

Les mostres recollides precisen de les següents operacions mecàniques prèviament a ser sotmeses a les anàlisis químiques:

- Assecat de les mostres en una estufa fins la pèrdua d'humitat. Cal controlar la temperatura entre 40-50°C per evitar la volatilització del Mercuri.
- Garbellat de la mostra durant 10', utilitzant una màquina garbelladora amb tambor vibrant de la casa *GKM Siebtechnik* i quatre tamisos de malla quadrada de la sèrie ASTM (num. 14, 45, 60 i 80).
- Separació de 20g de la fracció inferior a 0.177mm (passa pel tamís #80) considerada òptima per l'anàlisi química (Font, 1983). La resta de les dues fraccions inferiors a 0.250mm (passa pel tamís #60) es conserven al laboratori en pots de plàstic. A més, d'algunes de les mostres se'n realitza una granulometria.

5.5. Granulometria

La distribució de mides dels sediments en diferents trams de les rieres pot aportar informació sobre la dinàmica de transport i la naturalesa de l'àrea font. En aquest sentit, s'ha estimat la granulometria de sis de les mostres processades al laboratori, localitzades aigües amunt i avall dels cursos més importants del sector (Figura 16).

Per realitzar aquest procediment, cal pesar els sediments retinguts en cada un dels 4 sedassos i al recipient inferior que recull la fracció més fina. Posteriorment, es calcula quant sediment ha passat per cada sedàs com la diferència entre el pes que entra (passa l'anterior sedàs) i el que hi queda retingut. Finalment, se'n calcula el percentatge respecte el pes total de la mostra, la qual cosa dona la proporció de sediment de mida inferior a cada garbell. El resultat és una corba granulomètrica de quatre fraccions (Figura 18). Els valors calculats i les corbes de cada mostra es poden consultar a l'Annex 2.

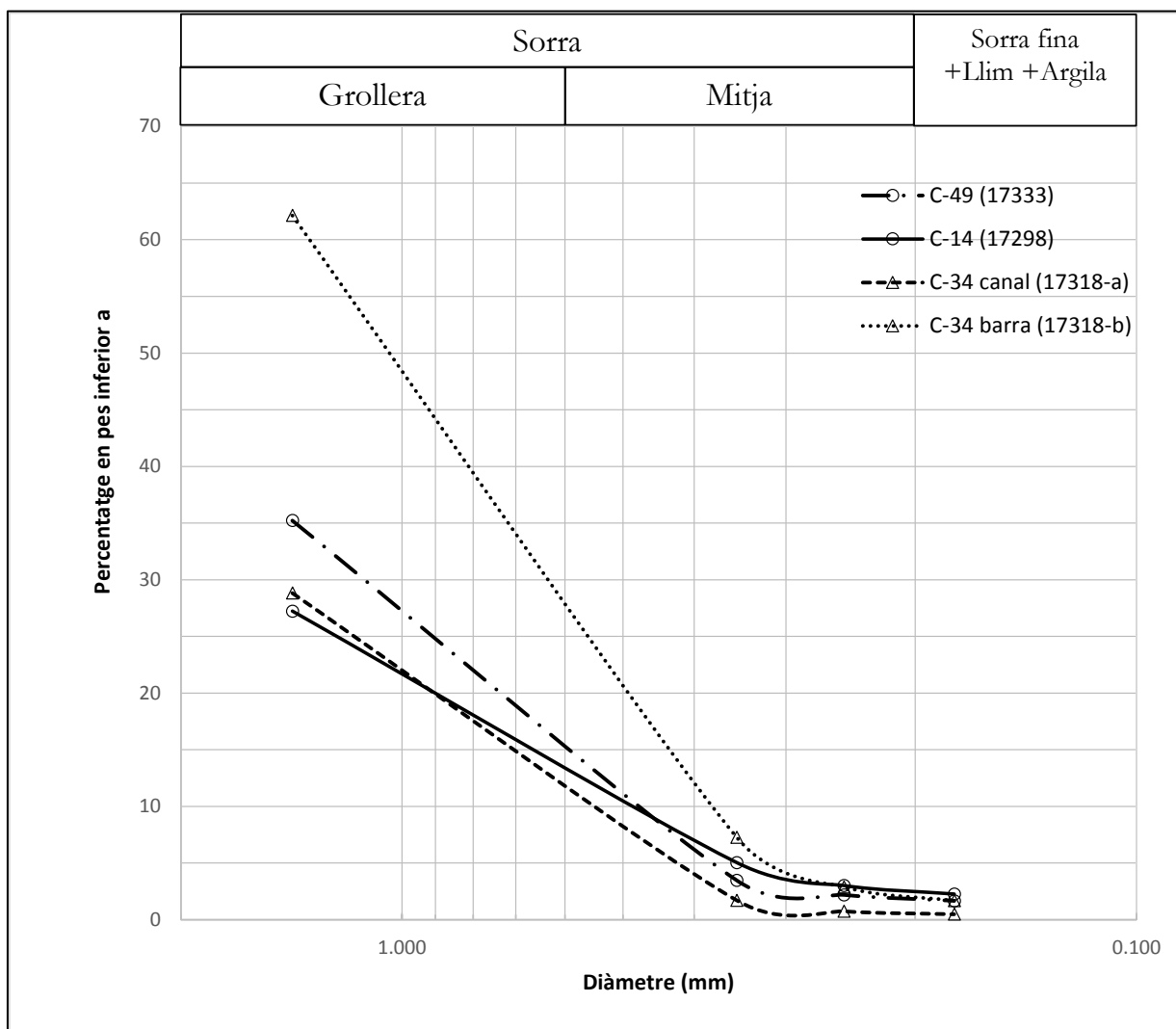


Figura 18. Corbes granulomètriques de mostres de capçalera (C-14 i C-49) o de desembocadura (C-34).

Sobre la interpretació d'aquestes corbes, en primer lloc es dedueix que el sediment és en general molt groller, predominantment gravenc-sorrenc, mal seleccionat i amb molt poca fracció fina (<0.2mm, sorra fina, llim i argila). A més, a camp també s'observaren nombrosos còdols i blocs mesclats amb el sediment, que no recull aquesta granulometria.

En segon lloc, no s'identifica cap variació significativa entre les granulometries dels trams alts i baixos d'un mateix curs. La única diferència rellevant és entre les dues mostres preses al tram baix de Verneda (mostra c-34, Taula 3). La mostra *a* està presa, igual que la resta, al llit viu de la riera; en canvi, la mostra *b* pertany a una barra de sorra acumulada entre les zones més incidides del canal, i s'observa com és molt més sorrenca i millor seleccionada (Figura 18, Taula 3)

En conclusió, donat que el sediment de les rieres és, al llarg de tot el seu curs, groller i mal seleccionat, indicaria una dinàmica torrencial: l'erosió i transport només es produeix en esdeveniments puntuals, amb molta capacitat de càrrega, però poc retreballament del sediment al llarg del temps. A més, el caràcter sorrenc i la poca presència de fins podria atribuir-se principalment a la naturalesa del substrat: d'una banda, la meteorització dels granitoides origina sauló, que al no estar sotmès a l'acció constant d'un corrent no es retreballa; d'altra banda, les roques metamòrfiques de la zona són molt competents (cornianes), l'alteració de les quals genera més aviat blocs i còdols.

Taula 3 Distribució granulomètrica dels sediments a les rieres Verneda i Vilallonga

Mida de partícula	Aigües amunt		Aigües avall	
	C-14	C-49	C-34a	C-34b
Grava	63%	55%	60%	30%
Sorra grollera	26%	30%	30%	50%
Sorra mitja	8%	13%	9%	28%
Fins	3%	2%	1%	2%

En vermell: predomini de la fracció sorrenca grollera i mitja respecte la grava (C-34b vs C-14).

Aigües amunt i avall, no s'aprecia variació granulomètrica (C-14 vs C-34 a)

Capítol 6 Anàlisis químiques

Per determinar la composició química dels sediments, s'ha emprat la fracció granulomètrica inferior a 177 µm obtinguda amb el garbellat de cada mostra. L'ús d'aquesta fracció és molt generalitzat als estudis de prospecció en xarxes de drenatge i es considera òptima per la tasca analítica, ja que proporciona una mostra homogènia i representativa dels processos de *dispersió mecànica* (partícules minerals arrossegades com a càrrega) i *química* (ions en solució adsorbits) (Font, 1983).

Actualment, els mètodes utilitzats en anàlisis geoquímics permeten estimar la composició d'una mostra en diferents elements simultàniament, amb uns límits de detecció baixos i una fiabilitat i precisió intermèdia. Aquest anàlisi multi-element dels sediments es va realitzar al laboratori extern Activation Laboratories Ltd. (Actlabs), amb seu a Ontario, Canadà. La qualitat dels seus serveis està acreditada per la norma ISO 17025 i té l'aval de més de 25 anys d'experiència realitzant assajos i anàlisis per diferents tipus d'indústries.

Per cada una de les 61 mostres, se n'ha analitzat la concentració en 50 elements químics (% pes, ppm o ppb) mitjançant la metodologia més adequada: Au, Ag, Cu, Cd, Mo, Pb, Ni, Zn, S, Al, As, Ba, Be, Bi, Br, Ca, Co, Cs, Cr, Eu, Fe, Hf, Hg, Ir, K, Li, Mg, Mn, Na, P, Rb, Sb, Sc, Se, Sr, Ta, Th, Ti, U, V, W, Y, La, Ce, Nd, Sm, Sn, Tb, Yb, Lu. Aquests resultats s'han estructurat en un fitxer de dades, juntament amb l'etiqueta i les coordenades de cada mostra, per tal de facilitar-ne l'anàlisi posterior (veure Annex 1).

6.1. Mètodes

L'anàlisi multi-element de les mostres s'ha realitzat mitjançant tres metodologies: la digestió total de la mostra seguida per l'ús d'un espectròmetre d'emissió òptica (TD-ICP); l'anàlisi per activació neutrònica (INAA) i el vapor fred pel Mercuri (Cold Vapour FIMS).

No existeix un únic mètode que proporcionï una resposta adequada per tots els elements a detectar (Fletcher, 1983b); per això la combinació de tècniques permet un anàlisi més fiable i precís del conjunt d'elements químics. A la Taula 4 s'indica quin mètode s'ha utilitzat per cada element.

Digestió total amb espectrometria emissió òptica (TD-ICP)

Per determinar la composició de la mostra, el mètode consta de dos procediments successius: la digestió de la mostra i la mesura de la concentració dels elements mitjançant un espectròmetre d'emissió atòmica.

En primer lloc, la digestió total de la mostra (*Total digestion-TD*) és un procediment per extraure i solubilitzar tots aquells elements que formen els diferents minerals de la mostra. S'hi apliquen una sèrie d'àcids (fluorhídric, nítric, perclòric o clorhídric) i altres passos per tal de recuperar en dissolució la major proporció possible d'elements.

Seguidament, aquesta dissolució es processa amb l'Espectròmetre d'Emissió Òptica per Plasma Acoblat Inductivament (ICP-OES *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer*). En essència, aquest instrument consta de dos elements principals: una torxa de plasma i un detector de radiació.

La torxa de plasma es crea a partir d'una massa d'argó gas, un camp magnètic induït per una bobina i una espurna elèctrica. L'espurna genera electrons, que són accelerats gràcies a la oscil·lació del camp magnètic. Quan aquests electrons xoquen amb els àtoms d'argó, els ionitzen. El resultat és una massa a molta temperatura d'àtoms d'argó amb una petita proporció cations i electrons lliures, en equilibri.

Sobre aquesta flama de plasma s'hi polvoritza la dissolució amb els elements a analitzar. Quan entren en contacte amb el plasma, les molècules es trenquen i els àtoms lliures perden i recuperen els seus electrons. A causa d'aquests constants salts electrònics, cada element allibera energia en forma de radiació electromagnètica segons el seu patró d'emissió atòmica característic.

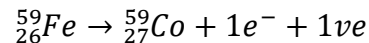
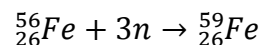
Aquesta radiació generada se separa en diferents feixos de llum segons la seva longitud d'ona, la intensitat dels quals es mesura als detectors òptics de l'aparell i es correlaciona amb la concentració de cada element. Donat que existirà interferència entre els patrons d'emissió dels diferents elements de la mostra, un programa informàtic corregeix aquest efecte i atribueix a cada element la intensitat de la radiació que li correspon.

Anàlisi per Activació Neutrònica (INAA)

L'Anàlisi per Activació Neutrònica permet identificar i quantificar la composició d'una mostra a partir dels patrons de desintegració radioactiva i l'energia alliberada durant el procés, característica de cada element.

Per tal d'utilitzar aquest principi físic, es bombardeja la mostra amb neutrons per així transformar els elements en isòtops radioactius inestables. A mesura que aquests isòtops es desintegren per formar un altre element més estable, s'allibera energia en forma de rajos gamma. L'energia d'aquests rajos és característica de l'element a la mostra, i la seva intensitat és proporcional a la quantitat.

Per exemple, l'isòtop estable del ferro més abundant a la naturalesa és el Fe 56, el nucli del qual està format per 26 protons i 31 neutrons. Quan és bombardejat pel flux de neutrons, pot absorbir tres neutrons fins a convertir-se en Fe 59, inestable. Aquest isòtop es desintegra segons un procés β^- , és a dir, un neutró es transforma en protó i s'emet un electró.



Durant aquest procés de desintegració, els rajos gamma detectats presentaran un pic en les energies 1099 i 1291 KeV (Nucleide.org, 2016). Com major sigui la intensitat dels rajos en aquestes energies, major serà la quantitat de ferro a la mostra analitzada.

Vapor Fred de Mercuri

El principi fonamental d'aquest mètode es l'espectre d'absorció del Mercuri: el vapor de Mercuri absorbeix la llum ultraviolada de longitud 253.7 nm, de manera que existeix una relació de proporcionalitat entre l'energia UV absorbida i la concentració de mercuri (Actlabs, s.d)

Prèviament a l'anàlisi, cal digerir la mostra en aigua règia per extraure el mercuri divalent Hg^{2+} , i a continuació reduir-lo a mercuri atòmic en estat vapor. Seguidament, s'injecta el vapor de mercuri a una cel·la i s'irradia amb llum UV. Un detector mesura la caiguda de la intensitat d'energia i es relaciona amb la concentració de mercuri a la cel·la.

6.2. Límits de detecció

El límit de detecció (LD) es defineix com la concentració mínima de substància que pot ser detectada amb fiabilitat per un mètode analític determinat.

Les lectures instrumentals sempre generen un petit senyal de fons encara que la mostra no contingui l'element analitzat, la qual cosa impossibilita la mesura de concentracions per sota d'un cert valor. En el cas de l'instrumental utilitzat en els mètodes TD-ICP i INAA, es considera el límit de detecció aquella concentració en un element que genera una lectura superior a tres vegades la desviació estàndard del soroll instrumental de fons. Els llindars de detecció dels resultats analítics es poden consultar a la Taula 4

6.3. Exactitud i precisió dels anàlisis

Els conceptes *Exactitud* i *Precisió* sovint són utilitzats com a sinònims; tanmateix, quan es tracta del control de qualitat de resultats analítics, cal diferenciar-ne bé el significat. Així, el terme *Exactitud* (*accuracy*) fa referència a com de proper es troba el valor mesurat del valor 'real' o estàndard. En canvi, la *Precisió* descriu com són de semblants diverses mesures repetides d'un mateix objecte; és a dir, quina és la reproductibilitat del mètode analític. La fiabilitat dels resultats depèn doncs d'aquests conceptes.

Per tal de poder demostrar la qualitat de l'anàlisi, el laboratori aporta, juntament amb els resultats, un informe del control de qualitat (QC) amb les dades necessàries perquè el client comprovi la bondat de l'exactitud i la precisió. D'una banda, per obtenir l'**exactitud** dels resultats s'analitzen diversos estàndards internacionals de qualitat preparats pel USGS. Són materials certificats de composició coneguda que s'analitzen juntament amb les mostres de sediment, per així comparar els valors mesurat i estàndard de cada element com l'error relatiu.

$$Exactitud (\%) = \frac{|Valor\ estàndard - Valor\ mesurat|}{Valor\ estàndard} \cdot 100$$

Els estàndards de qualitat utilitzats són els següents: GXR-1, GXR-4, GXR-6, SDC-1, SBC-1, DNC-1a, OREAS 45d, SdAR i DMMAS 119. Els valors acceptables per aquest tipus d'anàlisis estan entre 5-20% (Actlabs, s.d). L'exactitud de cada element s'ha calculat com la mitjana aritmètica dels errors relatius a cada estàndard, descartant aquells amb valors propers al llindar de detecció (Taula 4)

D'altra banda, per calcular la **precisió** dels resultats s'analitzen per duplicat un 10% del total de mostres. D'aquesta manera, poden comparar-se els valors mesurats d'una mateixa mostra i calcular-ne la variabilitat mitjançant la Diferència relativa percentual (%RPD):

$$\%RPD = \frac{|X1 - X2|}{\left(\frac{X1 + X2}{2}\right)} \cdot 100$$

S'han analitzat 6 mostres per duplicat: quatre d'elles pel mercuri amb el mètode Vapor Fred, i les dos restants per tots els elements analitzats amb el mètode TD-ICP. No es tenen mesures duplicades dels elements analitzats amb INAA. Es considera una precisió acceptable valors del RPD inferiors al 15-25% (EPA, s.d), encara que per mesures properes al límit de detecció la precisió és sempre pitjor. Pels valors inferiors al límit de detecció no pot calcular-se la precisió.

A la Taula 4 es recull l'exactitud i la precisió d'aquells elements pels quals s'han calculat. S'observa que els valors d'exactitud es troben dins del rang d'error acceptable.

Respecte a la precisió, hi figuren els dos valors %RPD corresponents als dos parells de mostres duplicades. S'aprecia com la precisió del segon parell de duplicats és molt bona (sempre inferior al 10%); en canvi, la precisió pel primer parell de duplicats és en general molt més dolenta, i en alguns casos puntual superior al llindar acceptable del 25% (remarcat en vermell). Tanmateix, donat que el segon duplicat té una precisió excel·lent, no es creu que aquest error afecti el resultat en general.

En conclusió, tot i posant de manifest algunes febleses en la precisió, l'exactitud és molt bona i la precisió entra en general dins els límits establerts per la EPA (s.d) . Per tant, els resultats analítics es consideren fiables

Taula 4 Límits de detecció de cada element químic analitzat, mètode analític i valors d'exactitud i precisió. L.D: límit de detecció; A: exactitud en %error relatiu; P: precisió en %RPD. Vap.: vapor fred de mercuri; Múltiple: combinació de INAA + TD-ICP.

Element	L.D	A (%)	P (% RPD)	Mètode analític	Element	L.D	A (%)	P (% RPD)	Mètode analític
Hg (ppb)	5	0.8	4	Vap.	Li	1	14.3	0	TD-ICP
Au (ppb)	2	0.2	-	INAA	Mg (%)	0.01	14.3	2 ; 0	TD-ICP
Ag	0.3	9.6	-	Múltiple	Mn	1	5.3	10 ; 2	TD-ICP
Cu	1	4.7	23; 0	TD-ICP	Na (%)	0.01	1.9	-	INAA
Cd	0.3	-	-	TD-ICP	P (%)	0.00	13.5	4	TD-ICP
Mo	1	12.5	-	TD-ICP	Rb	15	-	-	INAA
Pb	3	11	64 ; 2	TD-ICP	Sb	0.1	1.3	-	INAA
Ni	1	3.7	29 ; 4	Múltiple	Sc	0.1	3.1	-	INAA
Zn	1	6.2	0.8 ; 2.1	Múltiple	Se	3	-	-	INAA
S (%)	0.01	1.1	0	TD-ICP	Sr	1	6.2	1 ; 3	TD-ICP
Al (%)	0.01	17.7	3 ; 0.7	TD-ICP	Ta	0.5	-	-	INAA
As	0.5	4.3	-	INAA	Ti (%)	0.01	22	52 ; 7	TD-ICP
Ba	50	5.7	-	INAA	Th	0.2	-	-	INAA
Be	1	6.2	-	TD-ICP	U	0.5	4.6	-	INAA
Bi	2	21	-	TD-ICP	V	2	15.9	32 ; 4	TD-ICP
Br	0.5	-	-	INAA	W	1	-	-	INAA
Ca (%)	0.01	7.1	2; 1	TD-ICP	Y	1	12.6	3 ; 0	TD-ICP
Co	1	6.1	-	INAA	La	0.5	-	-	INAA
Cr	2	6.8	-	INAA	Ce	3	11.1	-	INAA
Cs	1	-	-	INAA	Nd	5	-	-	INAA
Eu	0.2	-	-	INAA	Sm	0.1	-	-	INAA
Fe (%)	0.01	4.7	-	INAA	Sn (%)	0.01	-	-	INAA
Hf	1	-	-	INAA	Tb	0.5	-	-	INAA
Hg	1	-	-	INAA	Yb	0.2	-	-	INAA
Ir (ppb)	5	-	-	INAA	Lu	0.05	-	-	INAA
K (%)	0.01	16.3	14; 9	TD-ICP					

Capítol 7 Tractament estadístic de les dades. Mètodes, resultats i discussió

Els resultats analítics dels sediments al·luvials representen un conjunt de dades massa nombrós, variable i complex per ser explorat directament. Per una bona interpretació en clau geoquímica, és necessari poder resumir-lo de manera que se'n ressalti la informació essencial.

El tractament estadístic de les dades permet realitzar aquesta síntesi de manera objectiva, mitjançant tant l'estadística descriptiva de cada element com mètodes més complexos capaços de desvelar associacions d'elements i similituds entre diverses mostres. Aquests dos enfocaments complementaris reben el nom **d'anàlisi univariant i multivariant**.

7.1. Conceptes previs

L'anàlisi **univariant o monoelemental** té per objectius establir la llei de distribució dels elements i classificar les diferents mostres en dos grups: el fons geoquímic i les anomalies. Es defineix com a *fons geoquímic* d'un element aquell rang de concentracions considerat normal tant en les roques com en els sòls i sediments d'una regió, excloent-ne les mineralitzacions i les àrees contaminades. En canvi, la concentració d'un element es considera *anomia geoquímica* si s'observa una desviació significativa respecte la distribució considerada normal per aquella zona o *Paisatge* geoquímic. Quantificar aquesta distinció entre les concentracions implica fixar un valor *llindar d'anomia*, particular per cada element (Rose et al, 1979c).

Els patrons segons els quals els elements químics es distribueixen pel territori estan regits per diversos agents geològics, com per exemple els corrents d'aigua. D'una banda, són agents importants en el transport de partícules minerals resistents originades per la meteorització del substrat, i per tant, dels seus elements formadors (*dispersió secundària mecànica*); d'altra banda, és el mitjà pel qual elements químics mobilitzats en certs ambients geoquímics poden ser transportats en dissolució fins tornar a precipitar o ser adsorbits a les argiles del sediment al·luvial a certa distància de l'origen (*dispersió secundària química*). Un altra exemple són els mecanismes pels quals s'originen diferents roques ígnies en composició química i modal. Processos com la cristallització fraccionada o la diferenciació magmàtica són els responsables del repartiment dels elements químics durant la formació de les diferents tipologies de roques ígnies (*dispersió primària*).

Així doncs, conceptualment cal entendre el fons geoquímic com un conjunt de valors diversos que s'ajusta a una certa distribució, i no pas com una concentració homogènia a tota la regió. S'ha observat que els elements majoritaris solen seguir aproximadament una distribució Normal, mentre que els minoritaris i traça s'ajusten força a una distribució Lognormal (Ahrens, 1954). Per això, a efectes pràctics, el fons geoquímic se sol quantificar com el valor central de la seva distribució (mitjana, mediana) o el valor més freqüent (moda).

Per tal de definir el fons geoquímic i el llindar d'anomalia de cada element analitzat, l'estudi univariant segueix la metodologia estadística habitualment emprada en prospecció geoquímica (Lepeltier, 1969; Parslow, 1974; Font, 1983). La base de la tècnica és l'anàlisi exploratori del conjunt de dades mitjançant estadístics descriptius i gràfics tals com histogrames, diagrames de caixes i gràfics de probabilitat normal acumulada. Aquestes eines permeten visualitzar a quina distribució estadística s'aproximen les dades; identificar si existeix una única població o diferents poblacions, amb cert solapament, pel fons geoquímic i les anomalies; determinar quin és el valor central o més freqüent per caracteritzar la població de fons; i fixar el valor llindar a partir del qual les concentracions pertanyen a la població anòmala.

Una vegada establerts el valor de fons i el llindar d'anomalia, es confeccionen mapes monoelement per localitzar geogràficament a quines regions pertanyen les mostres anòmales.

7.2. Anàlisi univariant

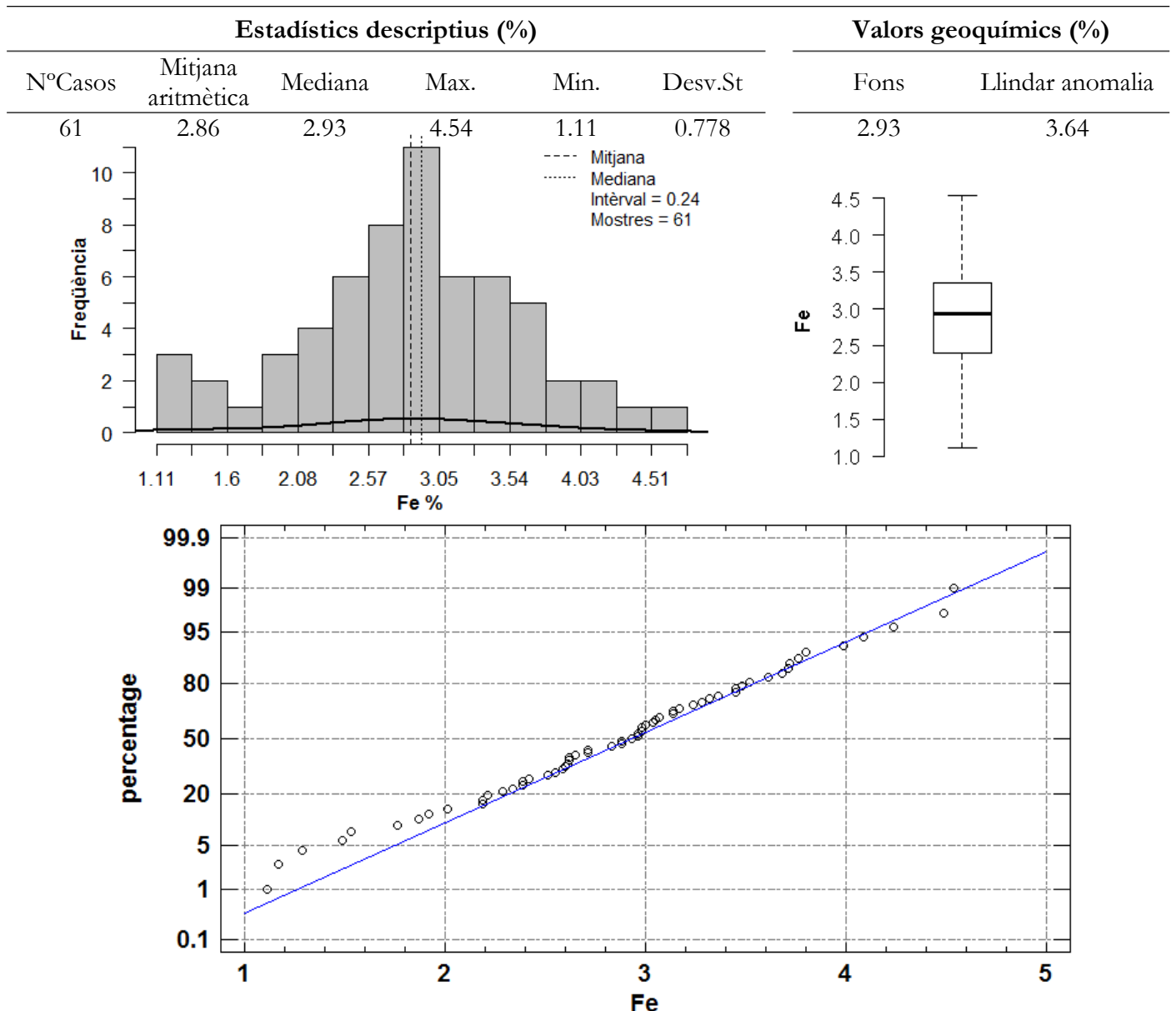
Es disposa d'un total de 61 mostres de sediments, cada una de les quals té un valor de concentració en els 50 elements analitzats. Tanmateix, perquè el mètode estadístic univariant pugui aplicar-se, cal que el conjunt de valors sigui prou variable i divers. Per això, aquells elements amb totes les mostres amb valors inferiors al límit de detecció s'han descartat: Ag, Cd, Bi, Ir, Se, Ta, W, Sn. Per a la resta de variables, els valors inferiors al límit de detecció s'han fixat com la meitat d'aquest llindar.

Per cada element analitzat s'ha realitzat una fitxa, que pot consultar-se a l'Annex 1.3. A continuació es mostren quatre casos paradigmàtics del mètode utilitzat amb els diferents diagrames realitzats

El primer cas és el del **Ferro**, un dels elements majoritaris presents a la majoria de les roques de l'escorça. Visualitzant-ne les concentracions amb l'histograma de freqüències i el diagrama de caixa, s'observa com els valors estan distribuïts simètricament al voltant d'un valor central, que coincideix amb la mitjana aritmètica, la mediana i la moda. Tampoc presenta valors extrems llevat d'un petit excés de valors baixos, atribuïble a l'error mitjà de la tècnica analítica en la mesura de valors propers al límit de detecció. A més, els valors de freqüència acumulada del gràfic de probabilitat normal s'ajusten molt bé a la recta de quantils teòrics.

Així doncs, la mostra consisteix en una única població amb distribució Normal. El valor central (mediana) és representatiu del fons geoquímic, mentre que el llindar d'anomalia es fixa en el quantil corresponent al 84% acumulat (16% de la població és anòmala). Com que la distribució és normal té sentit pensar el llindar com la mitjana més la desviació típica

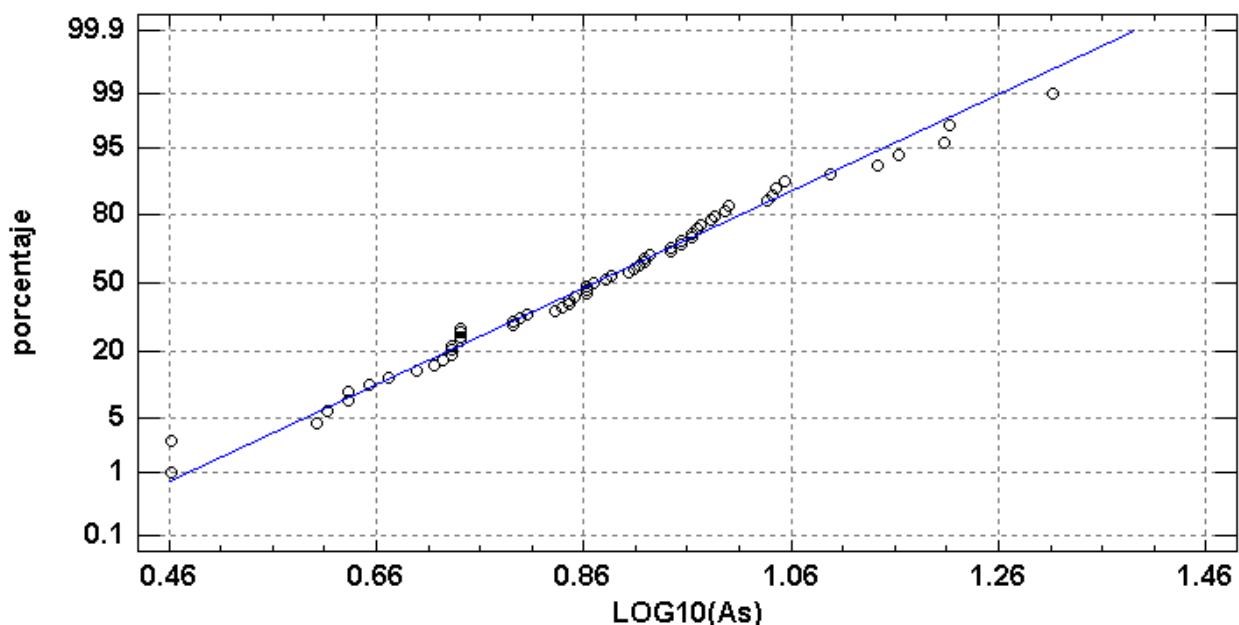
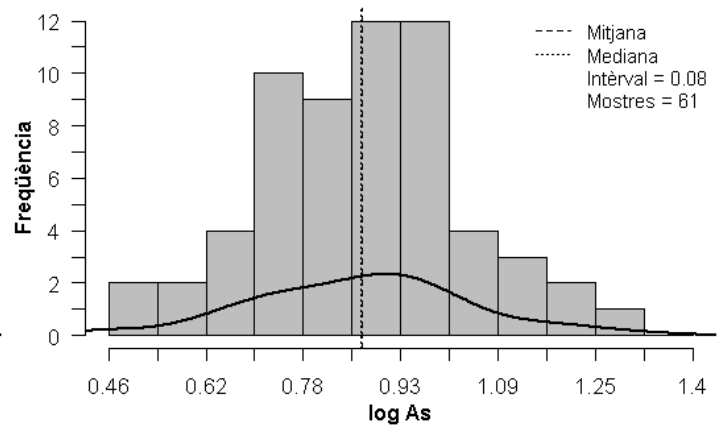
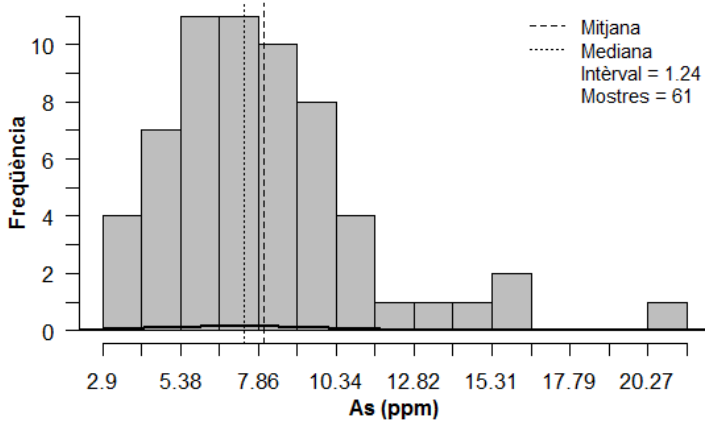
Figura 19. Histograma, diagrama de caixa i gràfic de probabilitat normal acumulada amb escala probabilística pel Fe



El segon cas il·lustra l'**Arsènic**. Les concentracions en aquest element traça, dibuixen una distribució força asimètrica amb biaix positiu. Tanmateix, aplicant a les dades una transformació logarítmica, la distribució es torna simètrica al voltant d'un valor central proper a la mitjana geomètrica, la mediana i la moda. A més, el gràfic de probabilitat normal acumulada amb logaritmes s'ajusta molt bé a la recta de quantils teòrics. Per tant, la mostra d'arsènic s'aproxima a una distribució lognormal. Donat que s'observa una única població de valors, té sentit considerar el valor central (antilogaritme de la mediana) com a representatiu del fons. El llindar d'anomalia es fixa, com a l'anterior exemple, al quantil del 84% acumulat.

Figura 20. Histogrames i gràfic de probabilitat normal acumulada amb escala probabilística per l' As

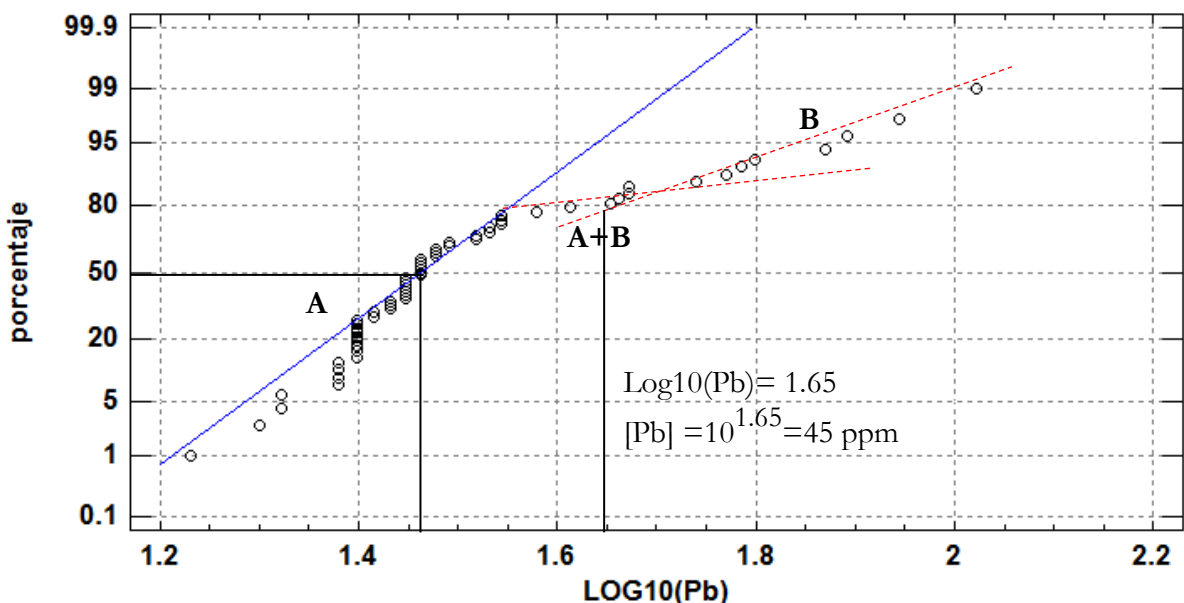
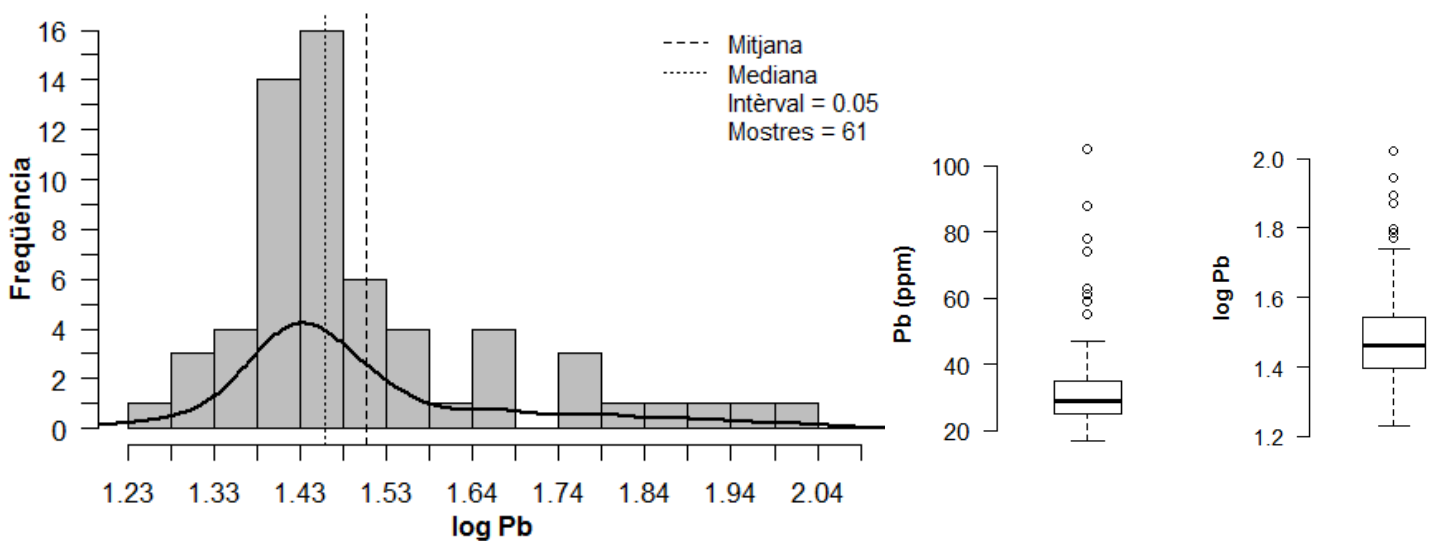
Estadístics descriptius (ppm)						Valors geoquímics (ppm)	
NºCasos	Mitjana geomètrica	Mediana	Max.	Min.	Desv.St	Fons	Llindar anomalia
61	7.42	7.4	20.5	2.9	3.349	7.4	10.3



El tercer dels casos tracta sobre el **Piom**. El diagrama de caixa de les seves concentracions mostra una distribució molt asimètrica positiva, amb un bon nombre de valors extrems elevats. En canvi, el diagrama de caixa amb la transformació logarítmica dels valors aconsegueix agrupar i simetritzar la distribució, tot i que encara quedin alguns *outliers*; a més, passar a valors logarítmics fa que la part inferior de la distribució s'ajusti millor a la recta de quantils teòrics en el gràfic de probabilitat normal. Per tant, es considera que s'aproxima a una distribució lognormal. Ara bé, l'histograma mostra una segona població de valors elevats que es mescla amb la població de fons. Al gràfic de probabilitat apareix com un canvi de pendent. En aquest cas, el llinard d'anomalia es fixa al mig del canvi de pendent de la corba de freqüències acumulades. El fons se segueix representant com la mediana.

Figura 21. Histograma, diagrames de caixes i gràfic de probabilitat normal acumulada amb escala probabilística pel Pb

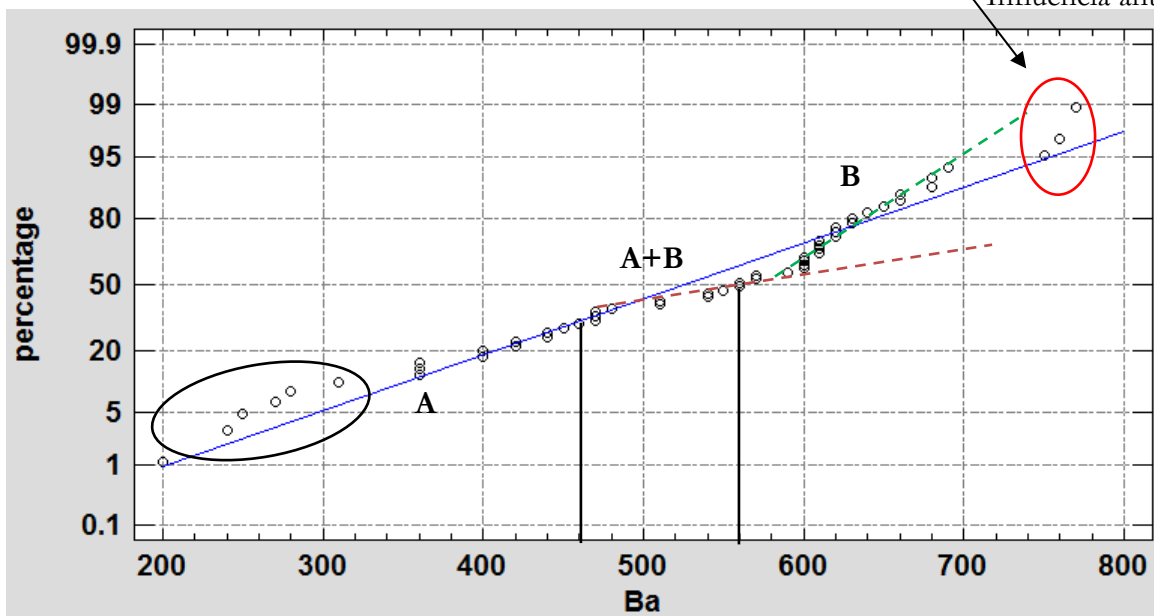
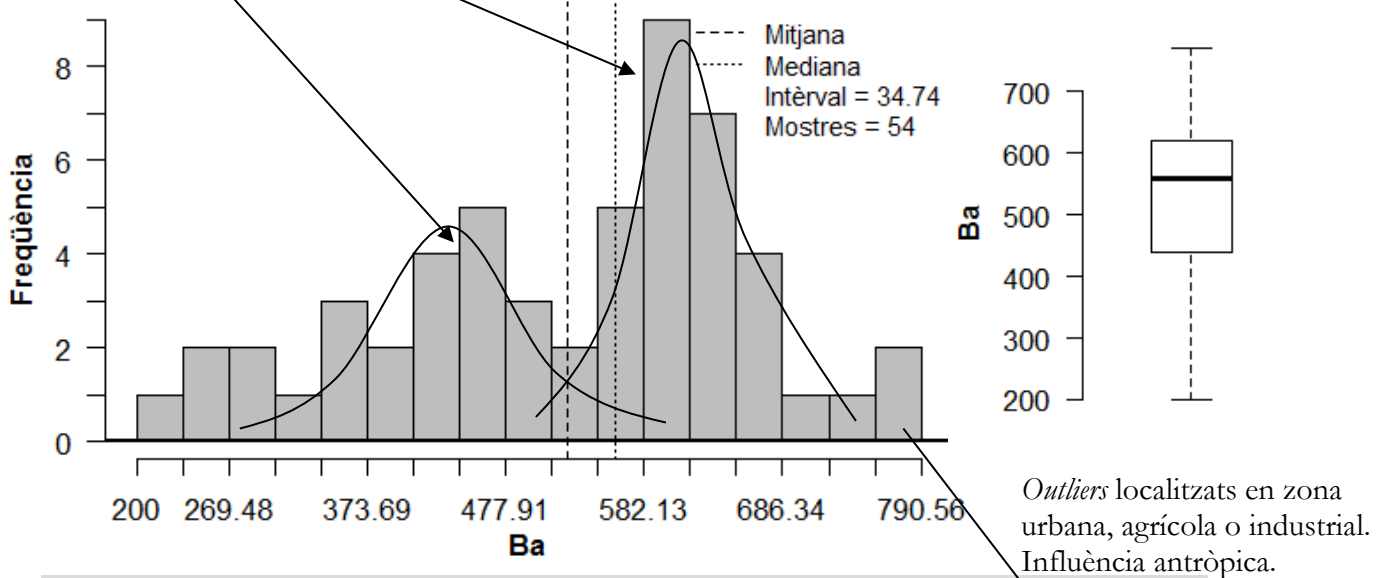
Estadístics descriptius (ppm)						Valors geoquímics (ppm)	
NºCasos	Mitjana geomètrica	Mediana	Max.	Min.	Desv.St	Fons	Llinard anomalia
61	32.38	29	105	17	17.04	29	45



Finalment, en el darrer cas s'analitza el **Bari**. Aquest element mostra una dificultat afegida pel fet de treballar amb dades naturals, on és complicat aconseguir una mostra de característiques homogènies. A l'histograma s'observen clarament dues poblacions diferents, una amb més elements que l'altra. A la recta de probabilitat normal s'observa com una recta amb dos canvis de pendent, on el tram intermedi correspon a la mescla entre poblacions. Donat que les mostres no s'han separat per litologies, és possible que cada població representi el fons geoquímic de dos substrats diferents, com els diferents tipus de granit. En aquest cas, s'ha pres com a fons de la primera població la Moda 1, i com a llindar d'inici de la segona població, el valor corresponent a la meitat de la recta de mescla. Per falta de més criteris, considerem anòmals els valors més alts que s'aparten de la tendència al gràfic de probabilitat (cercle vermell).

Figura 22. Histograma, diagrama de caixa i gràfic de probabilitat normal acumulada pel Ba

Estadístics descriptius (ppm)						Valors geoquímics (ppm)	
NºCasos	Moda 1	Moda 2	Max.	Min.	Desv.St	Fons	Llindar anomalia
54	470	600	770	200	139	460	560



El producte final d'aquest mètode és la projecció dels mapes de fons i anomalia per cada element, a partir dels valors estimats en l'anàlisi estadístic. Aquests permeten visualitzar la relació espacial del fons i les anomalies amb les característiques geològiques o els possibles focus contaminants.

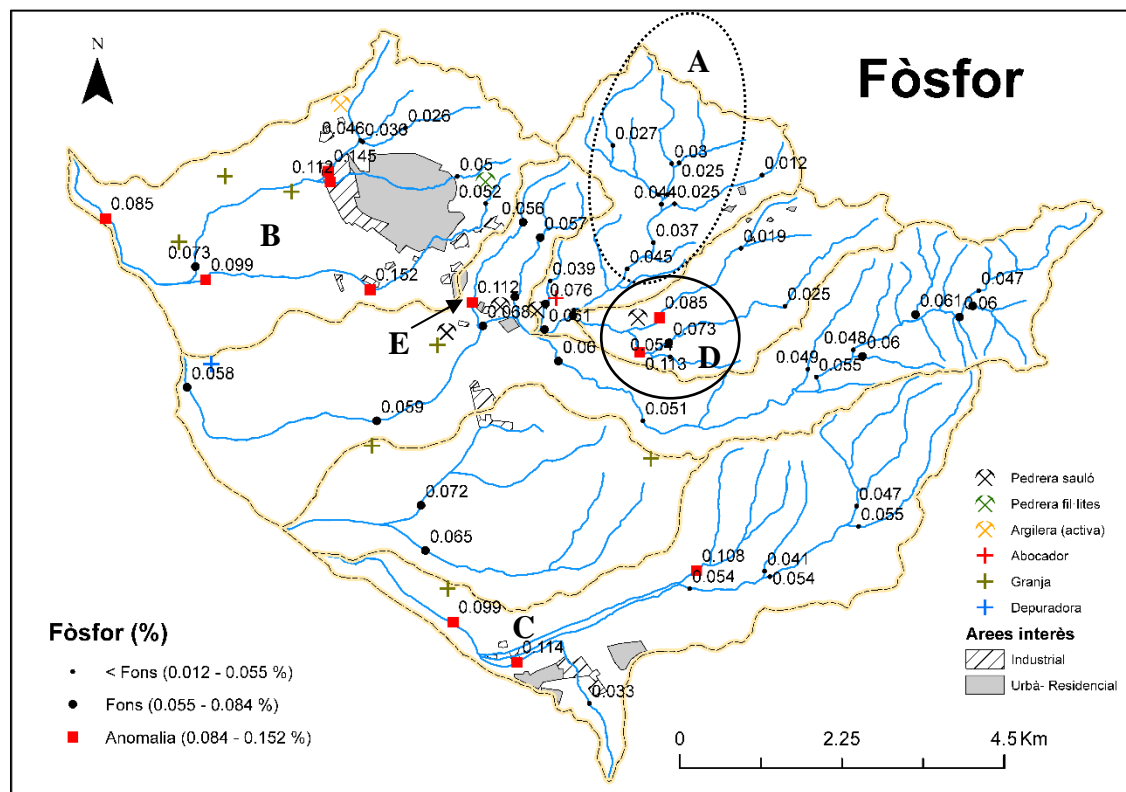


Figura 23. Mapa d'anomalies del Fòsfor, amb zones i punts d'interès remarcats (veure text).

Per exemple, en el cas del fòsfor (Figura 23) s'observa com a la capçalera de les rieres es concentren els valors més baixos, de fons o inferior (punt A). En canvi, als trams aigües avall dels nuclis urbans de Cassà de La Selva i Llagostera (punts B i C) i en punts propers a finques agrícoles (punts D i E), s'hi concentren els valors més elevats, anòmals. Aquesta distribució geogràfica probablement sigui deguda a l'efecte que l'activitat urbana (p.e detergents) i agrícola (fertilitzants) té sobre el medi on es desenvolupa. A l'Annex 4 poden consultar-se la resta de mapes elaborats.

La Taula 5 recull els resultats de l'anàlisi estadístic univariant de tots els elements estudiats. D'aquells més rellevants se'n comentaran els detalls durant la discussió i es mostrarà el mapa d'anomalies corresponent. A més, a l'Annex 1.2 pot consultar-se el resum dels estadístics descriptius de cada element. D'altra banda, per analitzar els valors del fons geoquímic calculats, és necessari tenir una referència per comparar. En aquest sentit, s'ha recopilat a la Taula 6 els valors de fons estimats al vessant nord de Les Gavarres (Solé, 1986) i al Montseny (Font, 1983).

Taula 5. Valors representatius del fons i llindar d'anomalia pels 31 elements analitzats estadísticament. Unitats en ppm on no s'indiqui.

Element	Fons	Llindar Anomalia	Element	Fons	Llindar Anomalia
Al (%)	7.30	7.82	Ni	18	26
K (%)	2.08	2.22	Cr	54	68
Na (%)	1.71	2.05	Co	11	13
Fe (%)	2.93	3.64	As	7.4	10.3
Ca (%)	0.77	1.12	Sb	0.9	1.3
Mg (%)	0.49	0.61	Sc	9.9	12
Ti (%)	0.22	0.3	Hf	13	16
P (%)	0.055	0.085	Li	32	52
S (%)	0.03	0.06	Rb	179	235
Mn	478	750	U	7.6	11
Pb	29	45	Th	24.1	38.6
Zn	70	95	V	51	63
Cu	19	30	Y	29	35
Ba	460	560	Br	9.7	18
Sr	95	121	RRE	233.3	345.98
Hg (ppb)	33	51			

Taula 6. Comparació dels valors de fons calculats en aquest treball amb els de zones properes. (Font, 1983²; Solé, 1986¹)

Element	Vessant S Gavarres		Vessant N Gavarres¹		Granit Montseny²	
	Fons geoquímic	Llindar Anomali	Fons geoquímic	Llindar Anomalia	Fons geoquímic	Llindar Anomalia
Pb (ppm)	29	45	21	35	18	37
Zn (ppm)	70	95	54	84	49	78
Cu (ppm)	19	30	12	22	9	20
Fe (%)	2.93	3.64	1.8	2.6	1.7	2.2
Mn (ppm)	478	750	300	499	400	700
Ni (ppm)	18	26	10.5	16.5	7	14
Co (ppm)	11	13	7.7	11	10	14
As (ppm)	7.4	10.3	3.0	5.2	0.8	1.7
Hg (ppb)	33	51	-	-	190	480

En general, els valors de fons obtinguts en aquest estudi són força més alts que en les altres dues zones properes (Taula 6). Tanmateix, es creu que aquesta diferència és deguda al menor grau d'homogeneïtat de les mostres en aquest estudi i a la major pressió antròpica a que està sotmesa l'àrea d'aquest treball. Tant a l'estudi del Montseny com al del Vessant N de Les Gavarres es va diferenciar les mostres per litologies per tal d'aconseguir una mostra més homogènia.

7.3. Anàlisi bivariant

L'estudi bivariant de les dades té per objectiu determinar quina relació tenen els elements dos a dos. Per realitzar aquesta tasca, es calcula la matriu de covariància pels 42 elements amb prou variabilitat estadística, i a partir d'aquesta, la matriu de coeficients de correlació de Pearson.

Com a resultat s'observen 4 grups d'elements correlacionats (Figura 24). En primer lloc destaca la forta relació entre les terres rares. En segon lloc, el Ca i el P es relacionen entre sí i amb els elements Sr, S, Cr, Zn i Pb. El tercer grup d'elements correlacionats dos a dos són el Ni, Cr, Zn, Sb i Cu. El darrer grup són el Fe, Mg, Al, Li i Sc. Aquest elements tenen una correlació positiva molt forta entre ells, però alhora mostren una relació negativa amb el Na i K.

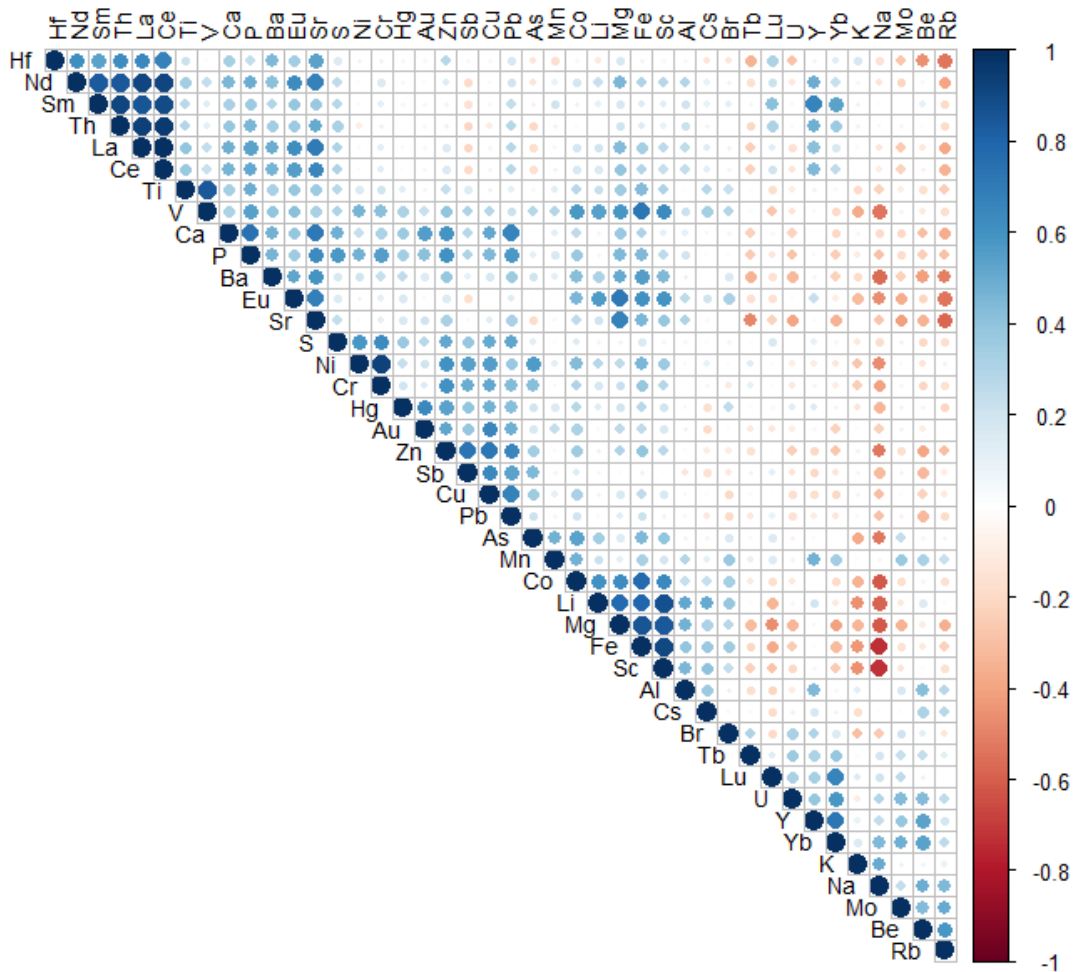


Figura 24. Matriu de coeficients de correlació de Pearson. Com major és la mida dels cercles, més forta és la correlació entre dos elements. El color blau simbolitza una correlació positiva, mentre que el vermell indica una correlació negativa.

7.4. Anàlisi multivariant

Els mètodes estadístics que analitzen les relacions entre variables d'un conjunt d'observacions reben el nom d'*anàlisi multivariant*. En prospecció geoquímica, l'ús d'aquestes tècniques permet identificar quines associacions d'elements químics existeixen en el conjunt de l'àrea explorada. Aquesta informació pot resultar útil a l'hora d'interpretar l'origen d'una anomalia, bé com un índex de mineralització o bé com un indicador de contaminació. També pot ajudar a ressaltar agrupacions d'observacions amb característiques semblants i associar-les a un determinat context geològic o fisiogràfic, la qual cosa pot resultar complicat d'apreciar amb l'anàlisi univariant (Howarth i Sinding-Larsen, 1983).

La tècnica multivariant més utilitzada en estudis geoquímics és l'*Anàlisi de Components Principals* (ACP). Basant-se en conceptes de l'àlgebra lineal, l'ACP permet reduir un conjunt nombrós de variables, dependents entre sí i complex d'analitzar, en un nou grup de variables independents anomenades *Components Principals*. Les variables inicials contribueixen amb un cert pes al càlcul de les components principals com una combinació lineal, de manera que cada una individualment pugui explicar el major percentatge de la variabilitat de les dades.

Així doncs, l'ús de les components principals permet, d'una banda, reduir el nombre de variables a tenir en compte per la interpretació, ja que pot prescindir-se d'aquelles components que pràcticament no afecten la variabilitat de les dades; i d'altra banda, ressaltar quines són les associacions d'elements que més influeixen sobre la dispersió de les concentracions observades respecte la mitjana o el fons geoquímic.

Per aquest estudi, s'ha aplicat l'ACP a un subconjunt de les dades format per 15 variables: Zn, Ni, Cu, Pb, Cr, Co, As, Sb, Mn, Hg, Ba, Sr, Li, U i Th. Aquest grup d'elements calcòfils, sideròfils i litòfils (Goldschmidt, 1926) són importants per ser elements formadors o indicadors de menes metàl·liques i minerals industrials d'interès econòmic, o bé per resultar d'utilitat en la detecció de focus de contaminació. Addicionalment, s'ha afegit una variable amb nombres aleatoris que servirà per ajudar a discernir a partir de quina component l'anàlisi ja no és fiable (Font, comunicació personal).

L'anàlisi s'ha realitzat mitjançant el paquet estadístic Statgraphics©. Dels 15 components principals resultants, els quatre primers es consideren prou significatius per representar el conjunt de dades i interpretar la seva variabilitat (Taula 7). D'una banda, representen el 71% de la variància de les concentracions observades en els elements químics analitzats; de l'altra, són

components amb valors de variància o autovalors superiors a 1 (criteri de Kaiser). A més, la cinquena component té un pes positiu important de la variable aleatòria, i per tant ja no és fiable.

Per escollir quins són els elements de més importància en la combinació lineal de cada component principal, s'ha fixat com a valor llindar arbitrari un pes de 0.3, representat com una línia de punts en els diagrames de la Figura 25 i Figura 26.

Com a resultat, la **component principal 1** explica un 34.39% de la variància de les dades i està relacionada amb el Zn – Ni – Cu – Cr – Sb – Pb amb pesos positius (Figura 25). S'atribueix a la contaminació urbana, agrícola i industrial.

La **component principal 2** explica el 15.05% de la variància de les dades, i està construïda pels pesos positius de la associació Sr – Ba – Th (Figura 25). S'ha interpretat com una component litològica entre els dos tipus de granitoides.

La **component principal 3** conté el 13.30% de la variància i està formada pels elements Li – Co – Mn – As, amb càrregues també positives (Figura 26). La variabilitat explicada podria estar lligada al conjunt de dics de porfir, filons de quarz, pegmatites i lampròfirs, així com a possibles mineralitzacions associades.

Finalment, la **component principal 4** representa el 8.29% de la variància de les dades, i associa positivament els elements U – Hg (Figura 26). S'interpreta com una component lligada a mineralitzacions.

El valor dels components principals per cada observació reben el nom de *scores*, i es calculen com la combinació lineal entre les concentracions elementals d'acord amb el seu pes en cada component. D'una banda, per visualitzar la relació espacial entre els *scores* i les característiques geològiques o els possibles focus contaminants, s'han projectat aquests valors en quatre mapes de símbols graduats (Figura 28). D'altra banda, també s'ha representat els *scores* de cada mostra en diferents gràfics de la component 1 respecte les altres components, amb la finalitat de cercar similituds i diferències entre les mostres i agrupar-les en diverses classes (Figura 29 i Figura 30).

Taula 7 Components principals i variància explicada per cada un d'ells. En vermell, els components escollits

Component principal	Variància explicada	% Variància acumulat	Component principal	Variància explicada	% Variància acumulat
1	5.158	34.39	9	0.364	92.21
2	2.257	49.44	10	0.323	94.36
3	1.996	62.74	11	0.271	96.17
4	1.243	71.03	12	0.227	97.68
5	0.992	77.64	13	0.185	98.92
6	0.873	83.46	14	0.124	99.75
7	0.508	86.85	15	0.038	100
8	0.439	89.78			

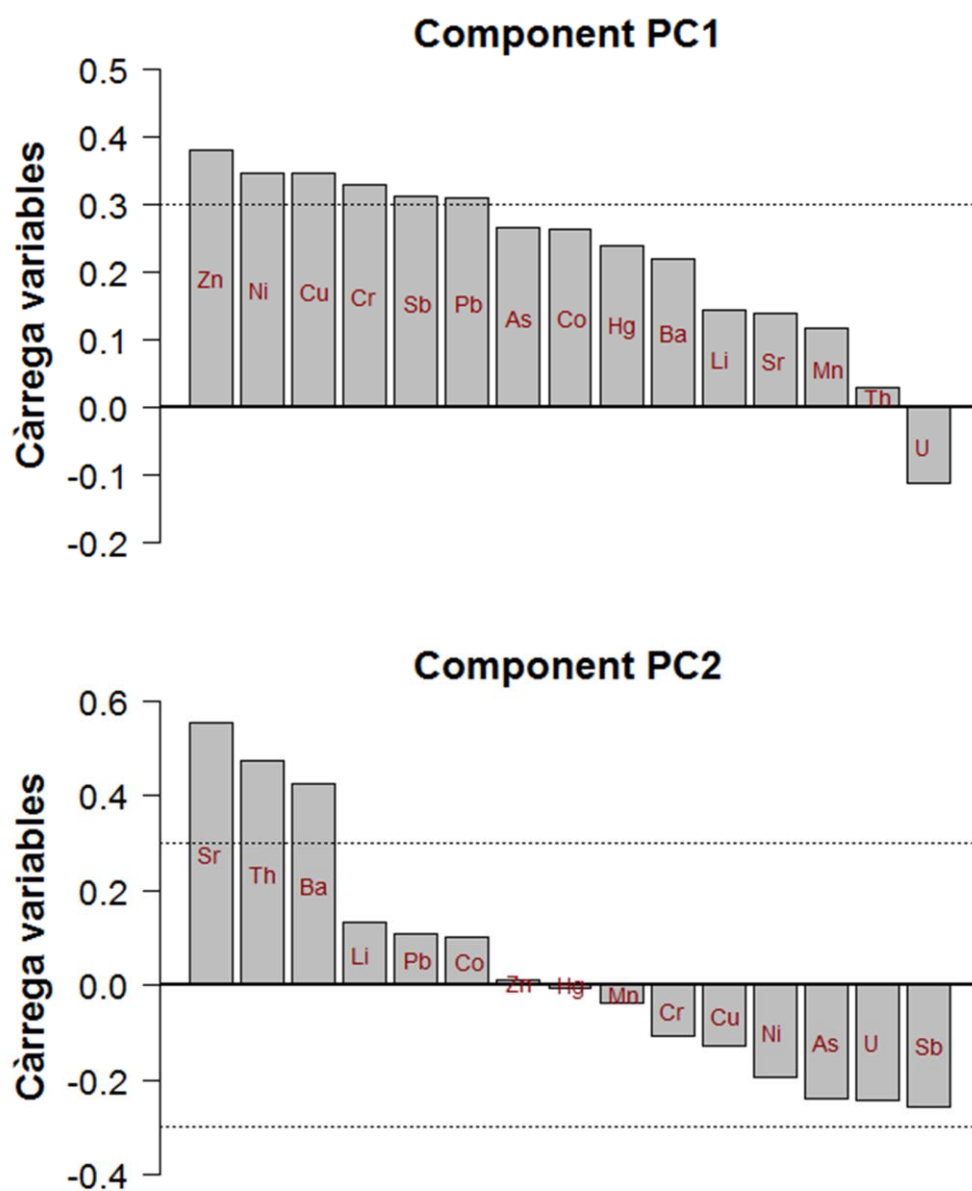


Figura 25. Diagrames de barres amb els pesos de cada element químic pels component principals 1 i 2. La línia discontinua marca el valor llindar de 0.3.

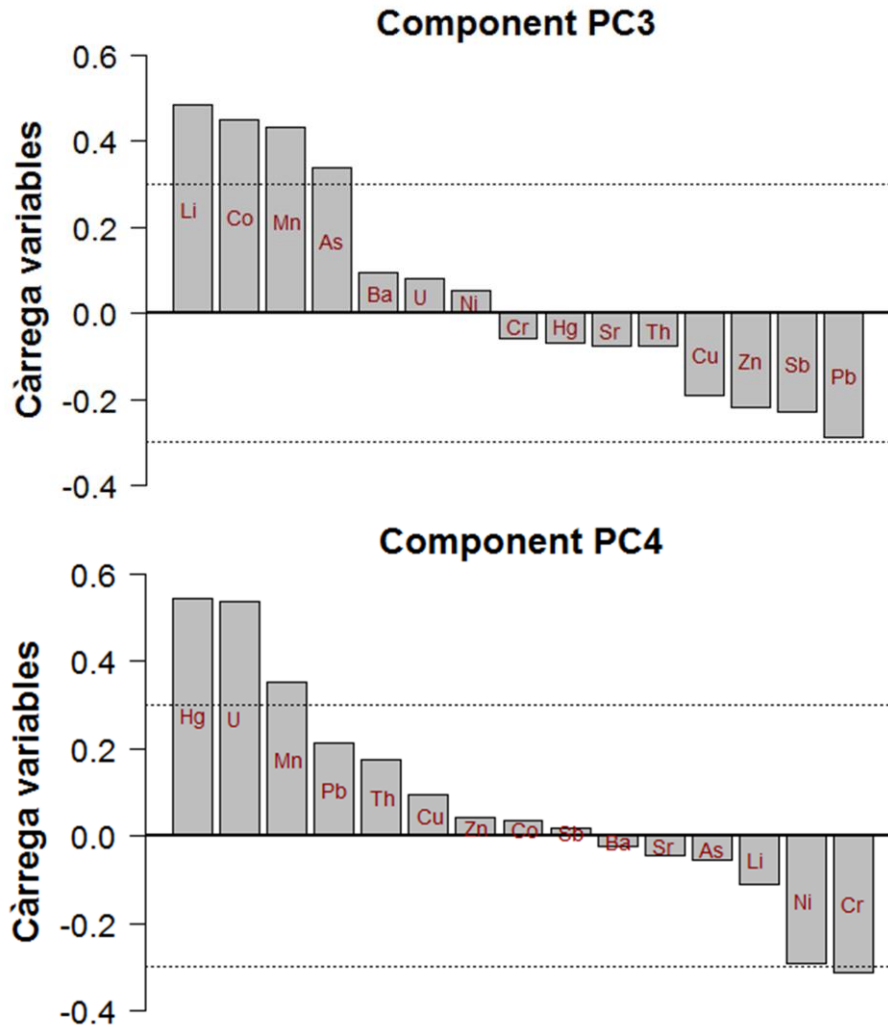


Figura 26. Diagrames de barres amb els pesos de cada element químic pels component principals 3 i 4. La línia discontinua marca el valor llindar de 0.3.

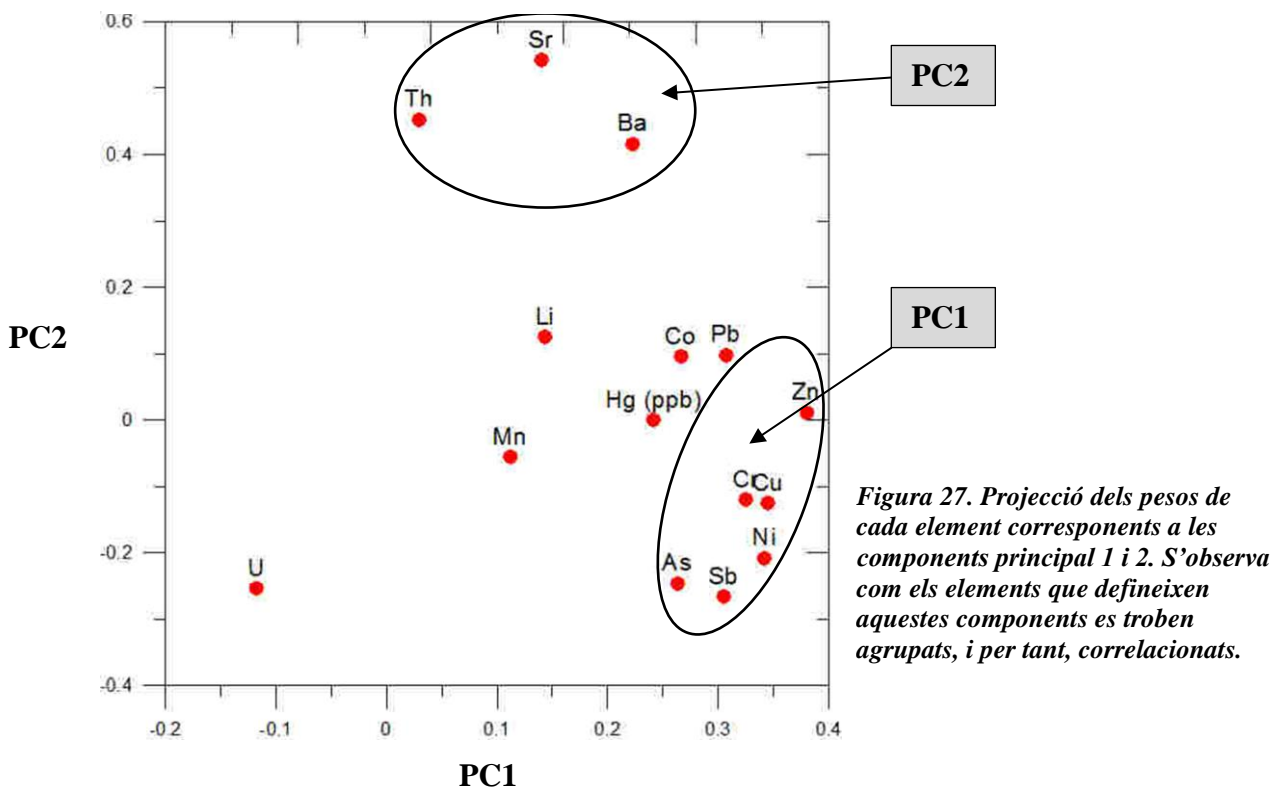


Figura 27. Projectió dels pesos de cada element corresponents a les components principal 1 i 2. S'observa com els elements que defineixen aquestes components es troben agrupats, i per tant, correlacionats.

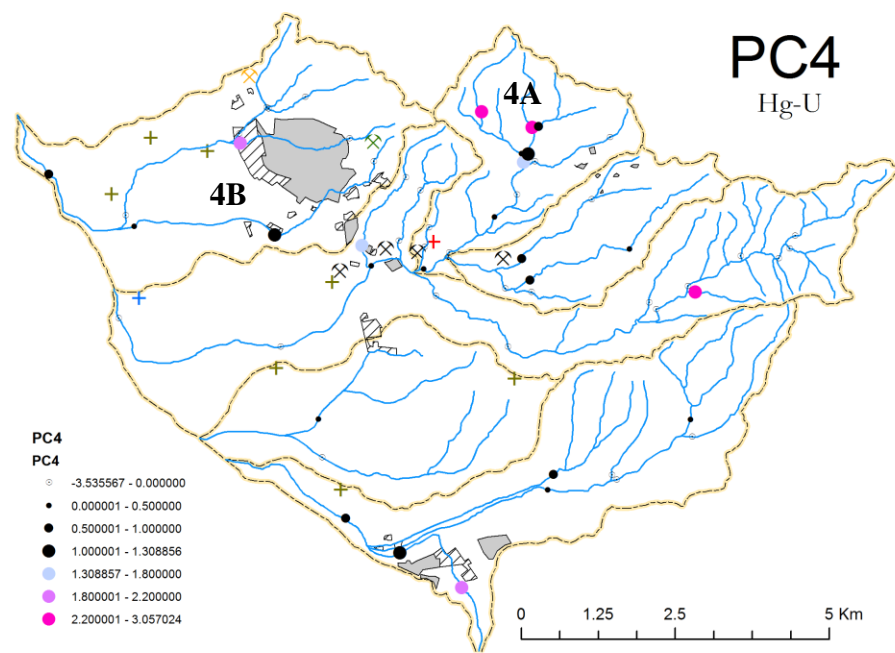
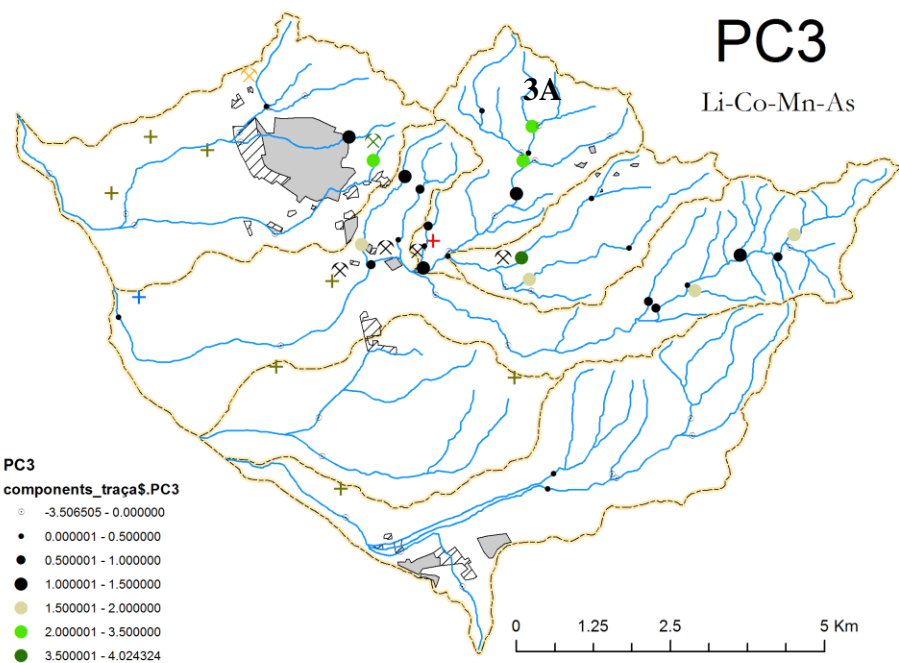
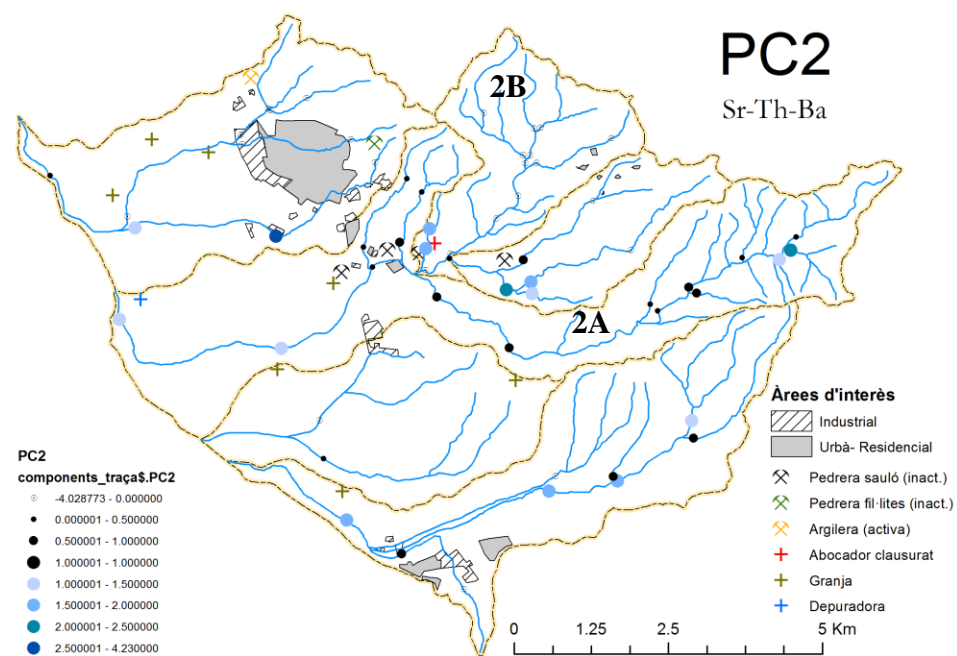
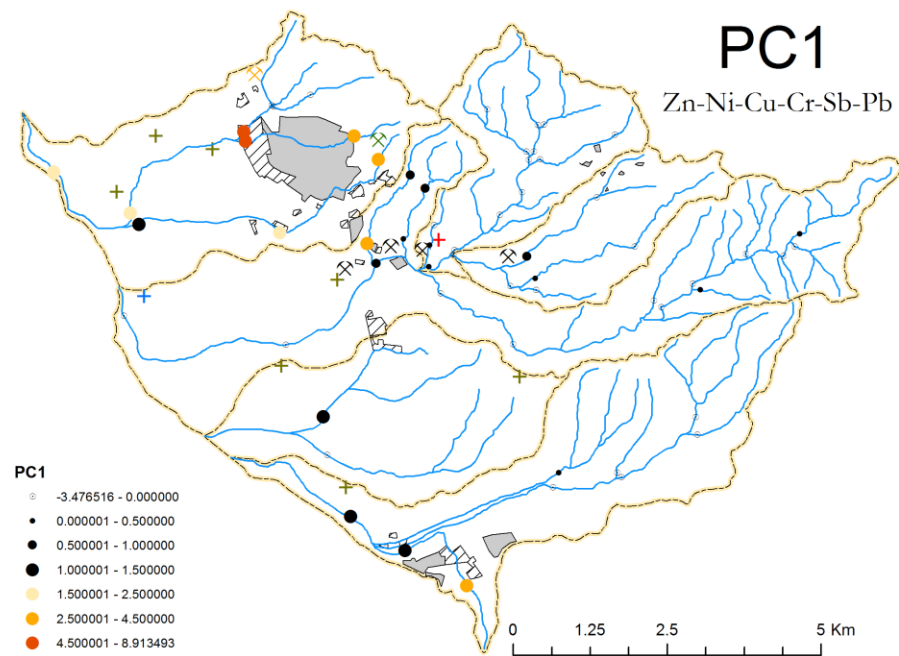


Figura 28. Mapes de símbols graduats amb el valor de les observacions per cada component escollida. El mapa de grups mostra la ubicació de les mostres segons la classificació establerta en els diagrames de les figures Figura 25 i Figura 26

7.5. Discussió dels resultats

Respecte a la **primera component principal**, aquesta revela l'existència d'una associació positiva amb els elements calcòfils Zn – Cu – Pb – Sb i el parell Ni – Cr. Si l'origen de les anomalies en aquests elements fos geogènic, els valors elevats d'aquesta component estarien lligats, respectivament, a l'existència de mineralitzacions de sulfurs, identificades en d'altres llocs del massís de Les Gavarres, i a l'alteració d'un substrat de roca ultrabàsica, inexistent a la zona. Tanmateix, tots els valors importants d'aquesta component es localitzen al voltant dels nuclis urbans i industrials de Cassà de La Selva i Llagostera, i a les àrees agrícoles de la part baixa de les conques (Figura 28). Per tant, la variabilitat en aquests elements no respon a processos naturals, sinó a la contaminació antròpica.

D'una banda, la presència d'empreses del sector metal·lúrgic i valorització de metalls podrien tenir relació amb els valors elevats d'aquesta component principal a l'àrea industrial i urbana. Per exemple, en els acabats metàl·lics són habituals els processos de recobriment basats en banys electrolítics, com el zincat, cromat, niquelat o el courejat, els quals sovint utilitzen sals de plom com a reactius en el procés químic. La legislació qualifica les substàncies derivades d'aquests tractaments com a tòxiques i perilloses (Llei 20/1986, del 14 de Maig).

D'altra banda, l'ús de productes agroquímics podria contribuir també a la variabilitat d'aquesta component principal. S'ha demostrat que l'ús excessiu de fertilitzants fosfatats inorgànics i pesticides pot incrementar el contingut del sòl en metalls pesants, com Cu, Zn, Cd, Ni o Pb (Gimeno-García et al, 1995; Giuffré et al 1997). Aquests elements es troben com a impureses en fertilitzants fosfatats perquè són elements traça de la roca fosfatada a partir de la qual es fabrica. En aquest sentit, l'anàlisi bivariàble revela correlacions amb $r \approx 0.5-0.6$ entre P – (Zn, Pb, Cu, Ni), la qual cosa podria servir d'índex per provar aquesta hipòtesi (Figura 24).

Pel que fa a la **segona component principal**, aquesta indica una associació positiva Sr – Th – Ba (Figura 25). Els valors més importants d'aquesta component es localitzen al llarg de la riera Verneda, a la capçalera de la riera Banyaloca i a la part baixa de la riera del Vernegar (Figura 28, punt 2A), on el substrat rocós és el granit biotític de composició monzogranítica i les cornianes de l'aureola de metamorfisme de contacte. En canvi, a les capçaleres de les rieres Vilallonga, Vernegar i Susvalls, on el substrat rocós és el leucogranit moscovític, tots els valors són negatius (punt 2B Figura 28). Així doncs, la variabilitat de la segona component principal sembla estar controlada per la diversitat litològica de les roques ígnies de la zona. A més, així sembla recolzar-ho la composició química de roques ígnies similars a les de la zona d'estudi (Taula 8, Enrique,

1990; Ferrés i Enrique, 1996). S'observa clarament que els leucogranits presenten en general una menor concentració de Sr, Th i Ba respecte les granodiorites i els monzogranits biotítics.

Taula 8. Composició química de roques ígnies del Batòlit de les Serralades Costaneres Catalanes. Dades de ¹Enrique(1990) i ²Ferrés i Enrique (1996).

(ppm)	Monzogranits Montengre Nord ¹		Granodiorites ¹		Leucogranits de la Costa Brava ¹		Leucogranit alcalí de Tossa ²
	A5	All	S'Agaró	Tossa	20-3	20-5	Cadiretes
Sr	84	102	170	125	36	25	24
Th	16	17	10	17	17	17	24
Ba	764	564	557	579	318	95	99

Sobre la **tercera component principal**, l'associació característica és Li – Co – Mn – As. Els valors importants d'aquesta component s'ubiquen a les zones de capçalera, on el substrat és granític i està intruït per nombrosos dics de composició variada, com per exemple el tram alt de la riera Vilallonga i Duesrieres (Figura 28, punt 3A). En canvi, aquesta associació no és rellevant a la part baixa de la zona d'estudi, on predominen els materials terciaris que rebleixen la Depressió de La Selva.

Així doncs, la variabilitat que representa aquesta component podria estar vinculada a l'eixam de dics i als granits biotítics, tant pels seus minerals formadors com per possibles mineralitzacions associades. D'una banda, els granit, els pòrfirs diorítics i els lampròfirs de la zona estan constituïts, entre d'altres, per cristalls de biotita, amfibol i piroxè, respectivament. Aquests minerals màfics són fàcilment meteoritzables, de manera que poden alliberen al medi alguns els seus elements traça (Mn, Li o Co) encara que sigui en petites quantitats (Taula 9, Levinson, 1980). D'altra banda, si la concentració d'arsènic és important, podria indicar mineralitzacions lligades als dics de pegmatita, com per exemple Arsenopirita.

Taula 9. Elements presents en petites quantitats als minerals formadors de roques més comuns de roques ígnies, i el grau d'estabilitat d'aquests. (Modificat de Levinson, 1980b). En vermell, els elements de la component principal 3.

Mineral	X %	0.X %	0.0X %	0.00X% o inferior	Estabilitat
Amfibol	-	Ti, F, K, Mn , Cl, Rb	Zn, Cr, V, Sr, Ni	Ba, Cu, P, Co , Ga, Pb, Li , B	Fàcilment meteoritzables
Piroxè	-	Ti, Na, Mn , K	Cr, V, Ni, Cl, Sr	P, Cu, Co , Zn, Li , Rb, Ba	
Biotita	Ti, F	Ca, Na, Ba, Mn , Rb	Cl, Zn, V, Cr, Li , Ni	Cu, Sn, Sr, Co , P, Pb, Ga	

Finalment, **la quart component principal** presenta una associació U – Hg. Els valors més importants es troben també a la capçalera de la riera Vilallonga i Duesrieres, molt lligats a les mostres amb valors alts de la component 3 (Figura 28, punt 4A). Per tant, seria probable que la variabilitat que representa aquesta component fos deguda a mineralitzacions d'urani lligades als dics d'aprites i pegmatites que intrueixen els leucogranits. En canvi, altres valors alts d'aquesta component es localitzen a la zona urbana de Cassà i Llagostera, de manera que probablement estiguin més vinculats a la contaminació antròpica per mercuri (punt 4B)

Tenint en compte el valor de les quatre components descrites a cada mostra (*scores*), s'han definit 6 classes interpretatives. Cada classe agrupa les mostres amb característiques semblants d'acord amb la seva posició en els diagrames d'*scores* de la Figura 29 i Figura 30. A més, cada classe ha resultat estar restringida a certes àrees del mapa amb característiques geològiques o d'ús del sòl diferenciades (Figura 31). En primer lloc, destaquen **els grups I i II** (colors rosa i vermell, respectivament, de la Figura 29 i Figura 31), lligats a diferències litològiques del substrat rocós. D'una banda, el grup I té els valors més baixos en les components principals 1 i 2, de manera que agrupa les mostres més empobrides en els elements associats a aquestes components. A més, les mostres amb aquestes característiques s'ubiquen a la zona de capçalera de les rieres on aflora el leucogranit moscovític; per tant, es considera que aquest grup representa el fons geoquímic lligat a la intrusió leucogranítica de la zona. D'altra banda, el grup II de mostres representa el fons geoquímic dels monzogranits i les granodiorites. Presenta valors baixos de la primera component, però valors més alts de la segona; per tant, són mostres més riques en Sr i Ba, tal com s'ha discutit anteriorment (Taula 8).

En segon lloc, destaquen tres agrupacions amb valors creixents de la component 1: **els grups III-a, III-b i IV** (colors blau cel, blau fosc i beix, respectivament, a la Figura 29 i Figura 31). Són mostres amb concentracions altes de metalls pesats, atribuïble a diferents graus de contaminació per l'activitat industrial, agrícola i urbana a la part baixa de l'àrea d'estudi. Les dues mostres del grup IV, amb el major grau de contaminació, es localitzen al polígon industrial de Cassà de La Selva, a prop de fàbriques metal·lúrgiques i d'acabats metàl·lics. En canvi, les mostres del grup III-a s'ubiquen totes aigües avall dels nuclis urbans i properes a les explotacions agrícoles; així, es creu que representen la dispersió dels contaminants provinents dels nuclis urbans i industrials i l'efecte dels productes agroquímics.

A part, el grup de mostres III-b s'individualitza del grup III-a (Figura 29) pel fet de tenir valors molt més alts de la component 3; és a dir, es diferencia per tenir concentracions més elevades en lití o arsènic. S'atribueix a una font de contaminació diferent no identificada. A més, es troben agrupades geogràficament, a les rieres més properes al oest de Cassà de La Selva (Figura 31).

En darrer lloc, tenen especial interès les mostres del **grup V** (color verd a la Figura 29, Figura 30 i Figura 31). Es caracteritzen per tenir valors alts de les components 3 i 4, de manera que són mostres anòmalament riques en elements com l'arsènic, manganès, urani, lití o mercuri. A més, són mostres preses a la capçalera de les rieres, allunyades de l'activitat antròpica; així que podrien ser indicis de mineralitzacions lligades a l'eixam de dics que intrueixen les roques ígnies (filons hidrotermals de quars i de pegmatites). En concret, les mostres C-7 i C-10 són interessants perquè mostren un patró de dispersió al llarg de la riera E de Duesrieres, en una zona rica en dics (Figura 31).

Així doncs, les mostres d'aquest darrer grup mereixen especial atenció a l'hora d'analitzar les concentracions de cada element individual durant la interpretació de l'anàlisi univariant.

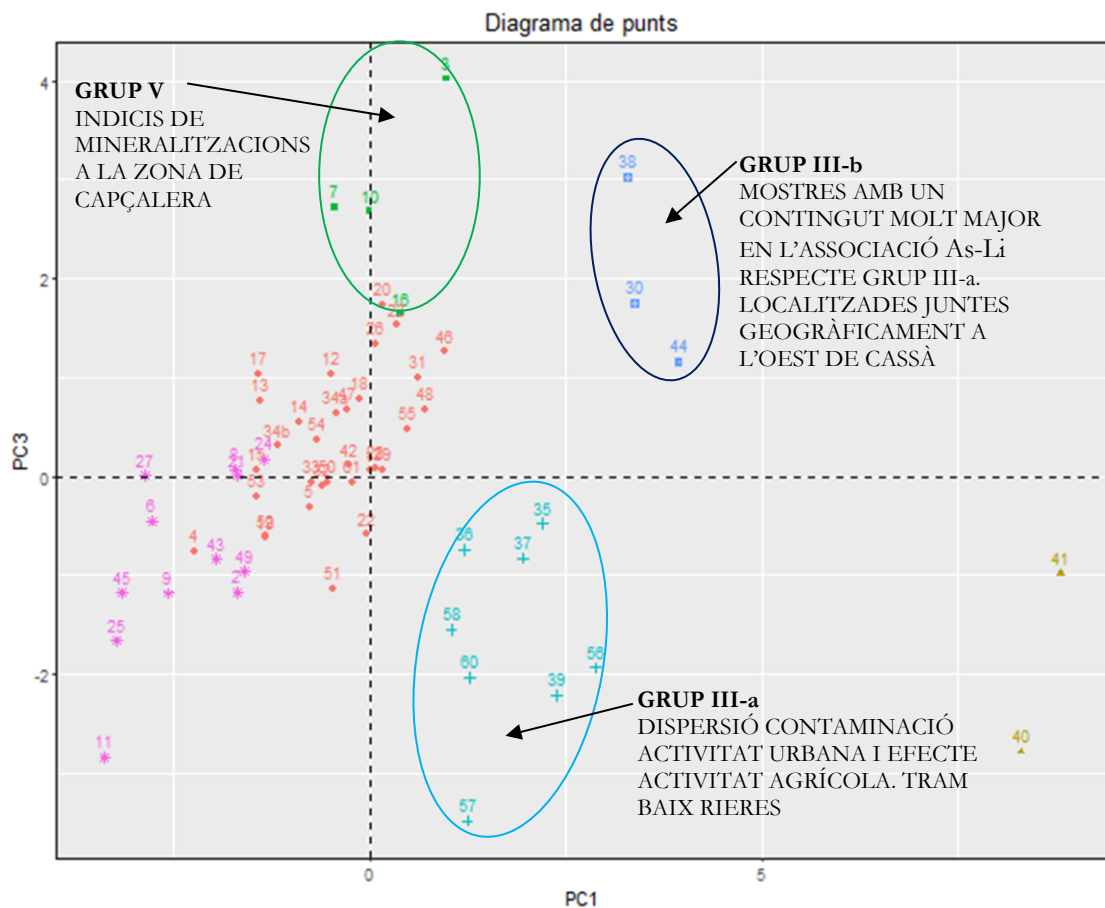
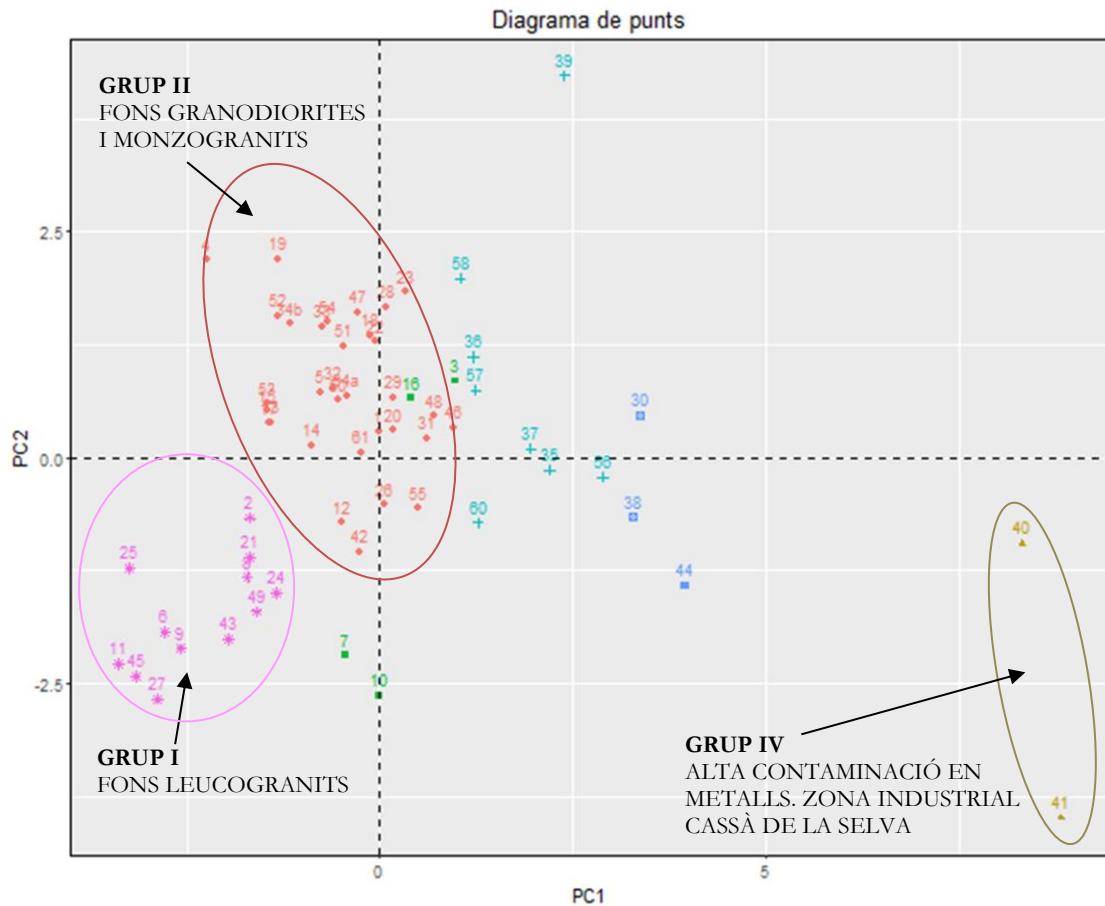


Figura 29. Diagrames de scores en els espais PC1-PC2 i PC1-PC3. En color es diferencien les mostres amb característiques semblants d'acord amb la seva proximitat en els diagrames. Les etiquetes corresponen a la identificació de la mostra

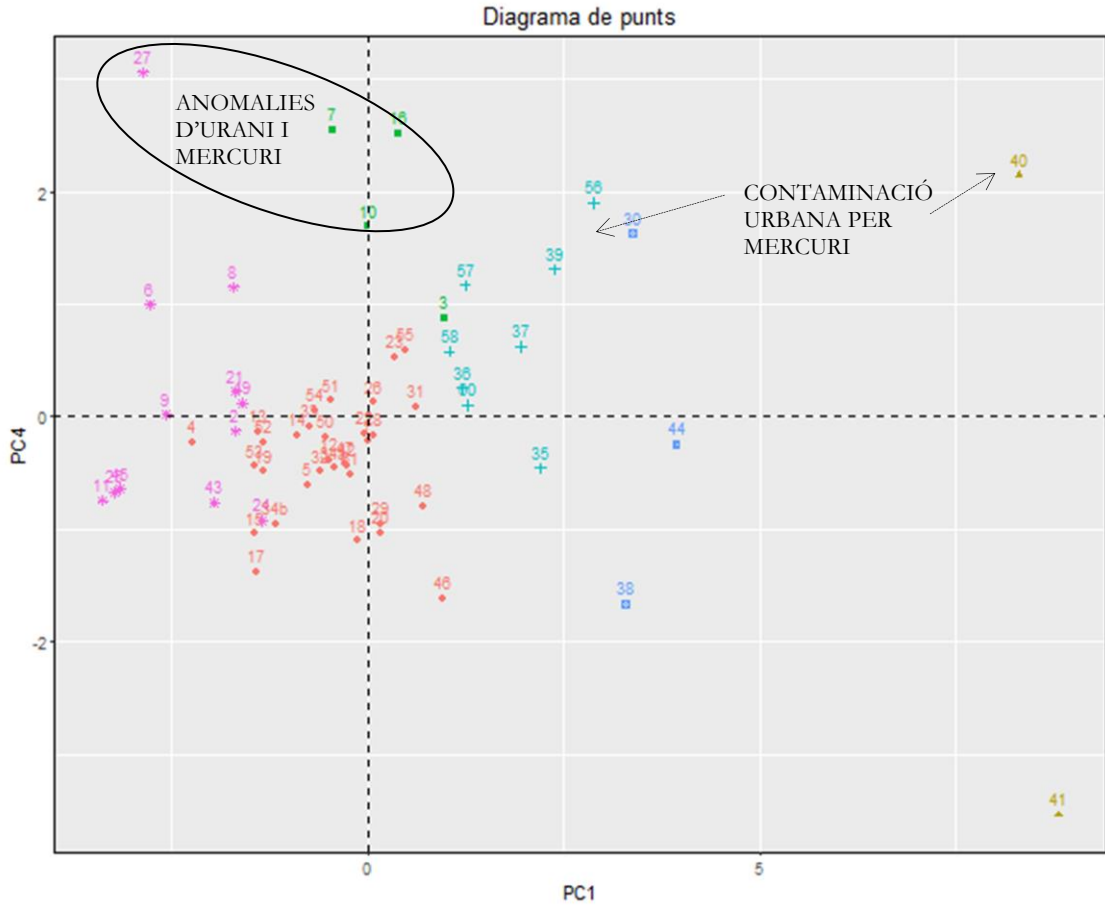


Figura 30. Diagrama de scores en l'espai PC1-PC4. En color es diferencien les mostres amb característiques semblants d'acord amb la seva proximitat en els diagrames. Les etiquetes corresponen a la identificació de la mostra

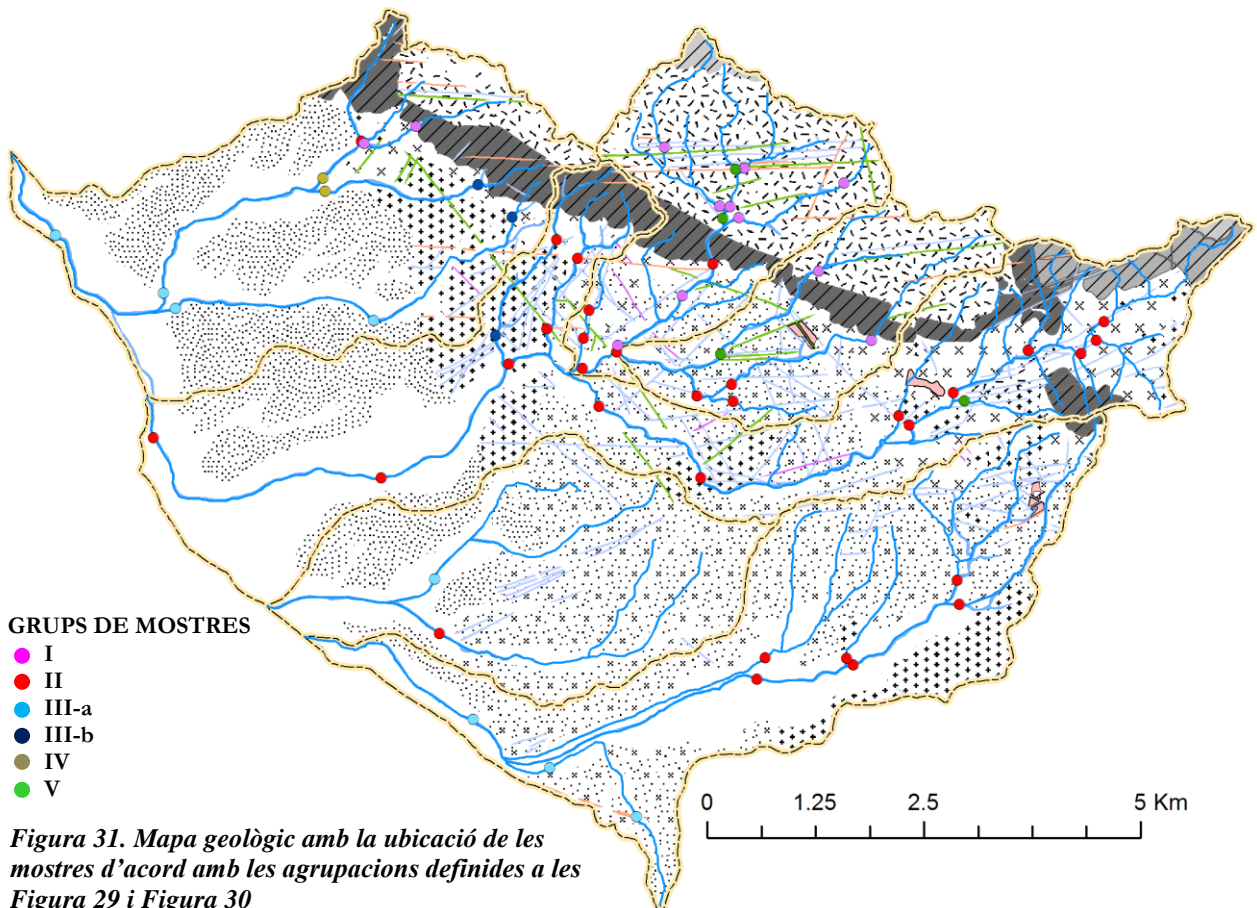


Figura 31. Mapa geològic amb la ubicació de les mostres d'acord amb les agrupacions definides a les Figura 29 i Figura 30

Considerat doncs els aspectes establerts amb la interpretació anterior de l'anàlisi multivariant, l'anàlisi univariant dels elements que conformen les components principals estudiades aportarà informació sobre les anomalies geoquímiques, la seva distribució geogràfica i la seva possible interpretació. Per més informació, consultar Annex 1.3 pels detalls d'altres elements i la sessió d'ArcMap© de l'Annex 4 per visualitzar els altres mapes d'anomalies).

Ferro

Els continguts en ferro als sediments varien entre 1.11-4.54 %, amb un valor de fons de 2.93% (Figura 32). Respecte la distribució en l'espai, es distingeixen quatre àrees diferents: la capçalera de la riera Vilallonga, la capçalera de la Verneda, les rodalies de Cassà de La Selva i la part baixa de les rieres (punts A, B C i D respectivament)

- La capçalera de la riera Vilallonga registra les concentracions més baixes, atribuïble a la manca de minerals màfics del leucogranit encaixant. En canvi, a la zona alta de la riera Verneda, les mostres tenen un contingut molt més elevat, per sobre el fons i superant el llindar d'anomalia. Probablement pugui atribuir-se al diferent substrat geològic, granits amb biotita i l'aureola metamòrfica amb cornianes.
- Al voltant del terme de Cassà i de l'àrea industrial, s'hi concentren les anomalies en ferro.
- La zona baixa de les rieres presenta valors per sota del fons. El ferro és un element relativament poc mòbil tant en condicions àcides com bàsiques (Taula 10, Fletcher, 1983a). Probablement per això quedi fixat aigües amunt en forma d'òxids de ferro.

Plom

Els continguts en plom oscil·len entre 17-105 ppm, amb un valor de fons de 29ppm (Figura 32). Les anomalies de plom es concentren a les zones urbanes i industrials de Cassà de La Selva i Llagostera. Per tant, es pot atribuir el seu origen en la contaminació per l'activitat antròpica. A la resta de l'àrea, predominen els valors de fons, excepte en dos punts (punts E i F). La anomalia del punt E se situa al tram mig de la riera Verneda, ben encaixada i rodejada per una plana al·luvial. El valor dobla la concentració de les mostres aigües amunt i avall. Caldria un estudi més concret per atribuir-ne el motiu. L'anomalia del punt F presenta valors semblants als de mostres contaminades en zones urbanes, però es troba propera a la zona de capçalera de la riera Banyaloca i lluny de qualsevol focus de contaminació antròpica.

Coure

El contingut en coure de les mostres es troba entre els 9 i 118 ppm, amb un fons geoquímic establert a 18ppm (Figura 32). La majoria del valors anòmals es localitzen a prop del nucli de Cassà i Llagostera, de manera que se'ls hi atribueix un origen per contaminació antròpica.

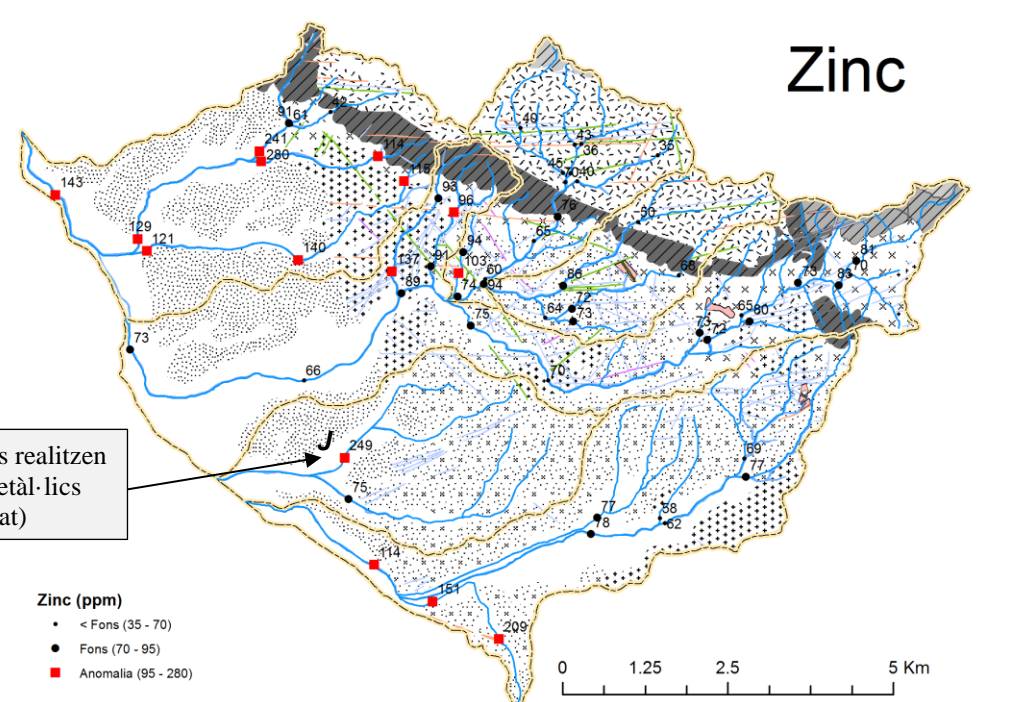
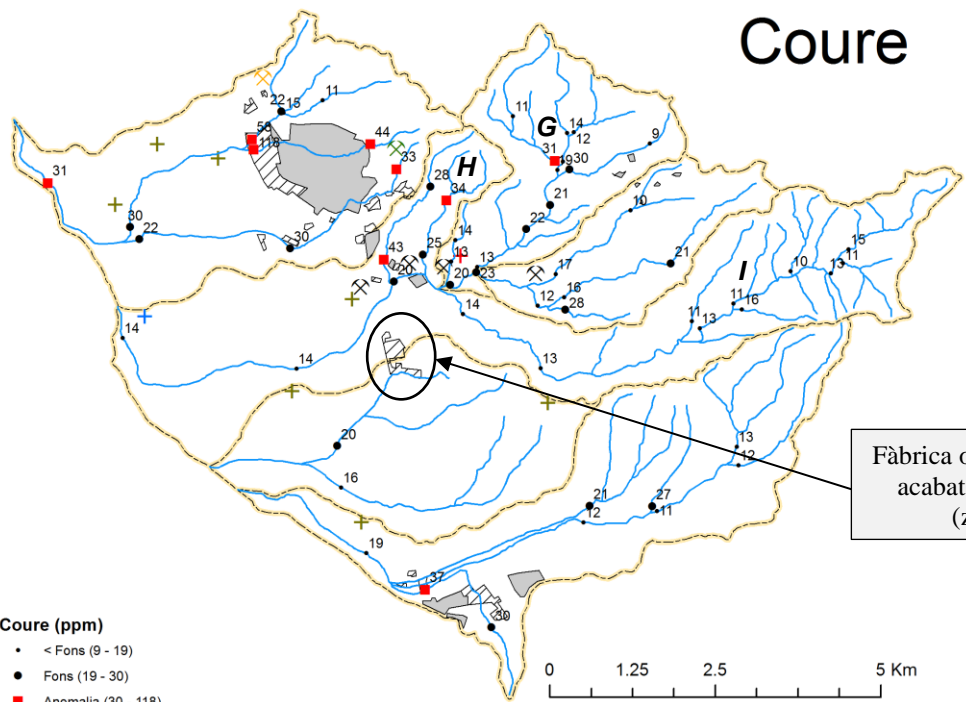
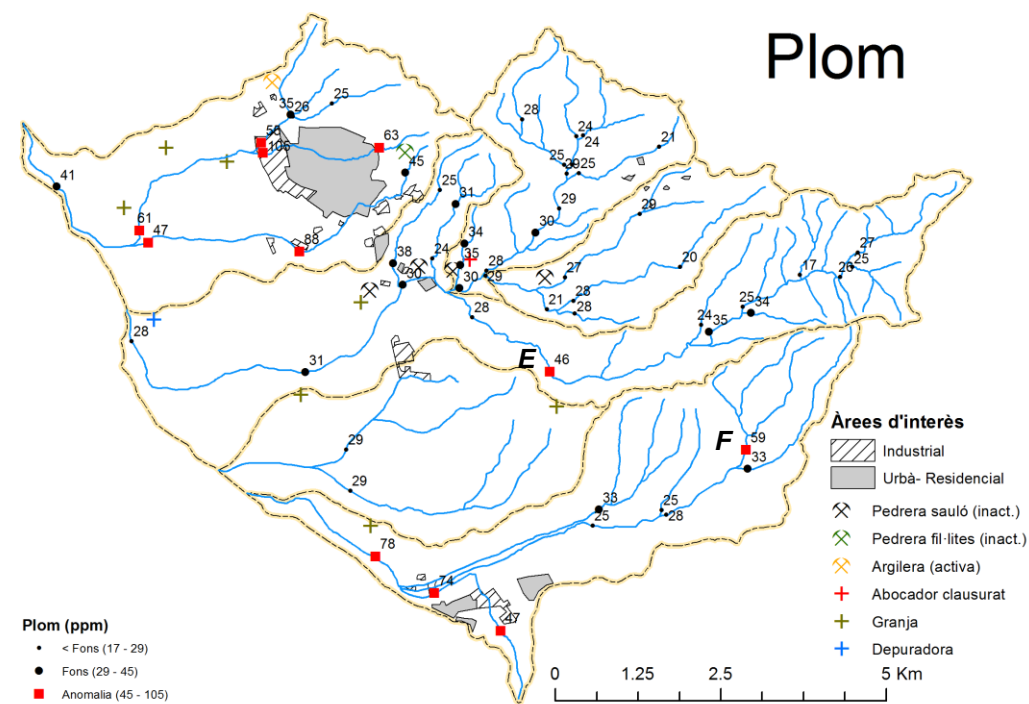
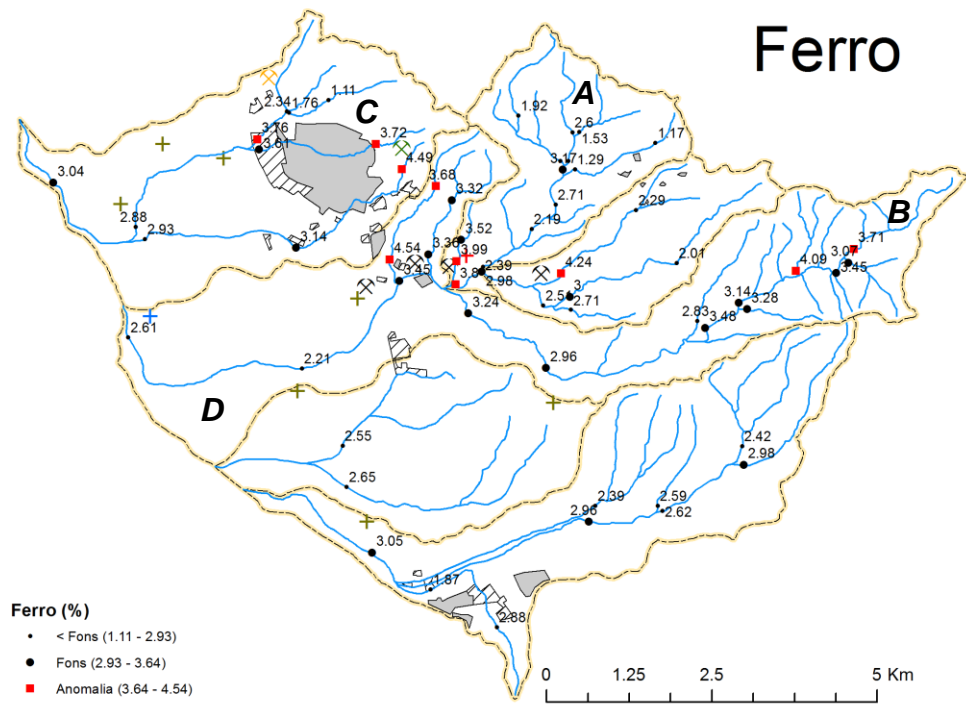
Tanmateix, cal destacar dues anomalies, a la capçalera de la riera Vilallonga (punt G) i del Torrent de Cornell (punt H). D'una banda, l'anomalia a la riera Vilallonga presenta una cua de dispersió aigües avall, amb valors de fons molt més elevats que a la riera Verneda (punt I). A més, es troba a prop del grup de mostres considerades com indicis de mineralització d'acord amb els resultats de l'Anàlisi de Components Principals (grup V Figura 31). D'altra banda, l'anomalia del torrent del Cornell es troba aigües avall de l'aureola de metamorfisme de contacte i també registra valors anòmals de Zn i alts en As. Per tant, totes dues anomalies podrien indicar la presència d'alguna mineralització de sulfurs amb Cu i Zn aigües amunt, per exemple lligada als filons hidrotermals de quars o a la aureola metamòrfica.

Zinc

El contingut en zinc de les mostres oscil·la entre les 35 i 280 ppm, amb un fons geoquímic fixat a 70 ppm (Figura 32). Igual que en els darrers metalls descrits, la majoria de les anomalies es localitzen a prop del nucli industrial de Cassà i estarien lligades a la contaminació de la indústria metal·lúrgica. Entre d'altres, destaca l'anomalia de 249 ppm a la riera Cagarella (punt J). Pel contrast amb els valors de rieres properes, es podria deure a l'efecte contaminant de la fàbrica d'acabats metàl·lics localitzada aigües amunt.

Mobilitat relativa	pH del medi	
	Àcid	Alcalí
Molt mòbil	Cl S, Ca, Mg, Na	Cl
Mòbil	Ag, As, Cd, Co Cu, Ni, Zn	Mo, Se, U, V
Poca mobilitat	Si, P, K Fe, Mn Mo, Se, U, V	Si, P, K S, Ca, Mg, Na
Immòbil	Al, Ti, Sn, W, Nb Ta, Cr, Zn, Th	Al, Ti, Sn, W, Nb Ta, Cr, Zr, Th Ag, As, Cd, Co Cu, Ni, Zn Fe, Mn

Taula 10. Mobilitat relativa dels elements segons les condicions del medi (Fletcher, 1983a)



Fàbrica on es realitzen acabats metàl·lics (zincat)

Figura 32. Mapes d'anomalies de Fe, Pb, Cu i Zn. En els tres primers hi figuren elements d'interès del mapa, mentre que en el quart els punts s'han projectat sobre el mapa geològic. Veure mapa per entendre la llegenda.

Níquel i Crom

El contingut de níquel a les mostres es troba entre 8 i 111 ppm, amb un fons geoquímic representat per 18 ppm; mentre que el contingut en Crom oscil·la entre 23 i 308 ppm, amb un fons representat per 54 ppm (Figura 33). Es discuteix conjuntament aquest dos elements perquè presenten una correlació positiva molt forta, i per tant els mapes d'anomalies són molt semblants. Totes les anomalies marcades es troben al voltant de la zona industrial de Cassà i, com ja s'ha comentat a la discussió de la component principal 1, s'atribuiria a la contaminació de les fàbriques del sector metal·lúrgic.

Manganès

El manganès presenta un ampli rang de valors, entre 186 i 1460 ppm i un fons geoquímic de 478ppm (Figura 33). Les anomalies d'aquest element estan més distribuïdes per la zona d'estudi, però se'n poden destacar dos aspectes:

- La dispersió de les anomalies de manganès sembla seguir una trajecte ben definit des de la riera del Vernegar (punt K), passant per la confluència amb la riera Verneda (punt L) i seguint fins a la desembocadura a la riera Gotarra (punt M). L'àrea font al punt K sembla estar lligada a l'abundància de dics de lampròfirs i a la presència d'un cos d'episienita. Per tant, tindria un caràcter mineralògic.
- A la zona de capçalera de Vilallonga i Duesrieres (punt N) hi ha dues anomalies de 1370 i 723 ppm rodejades de valors de fons o inferior. Clarament, defineixen un traçat seguint aigües amunt la riera est de Duesrieres. A més, són mostres on també s'hi ha detectat anomalia en Cu, i en d'altres elements que es comentaran més endavant. També corresponen a les mostres que en l'anàlisi de components principals s'han agrupat en el conjunt verd de mostres, indicadores de mineralització (Figura 31). Per tant, és un àrea que mereix especial atenció.

Cobalt

El contingut de cobalt a les mostres es troba entre 1-22 ppm, amb un valor de fons establert en 11ppm (Figura 33). La majoria mostres presenten un valor proper al valor central de la distribució (poca desviació), així que el llindar d'anomalia es força proper al fons. Per tant, es creu que les anomalies properes al llindar fixat no serien significatives

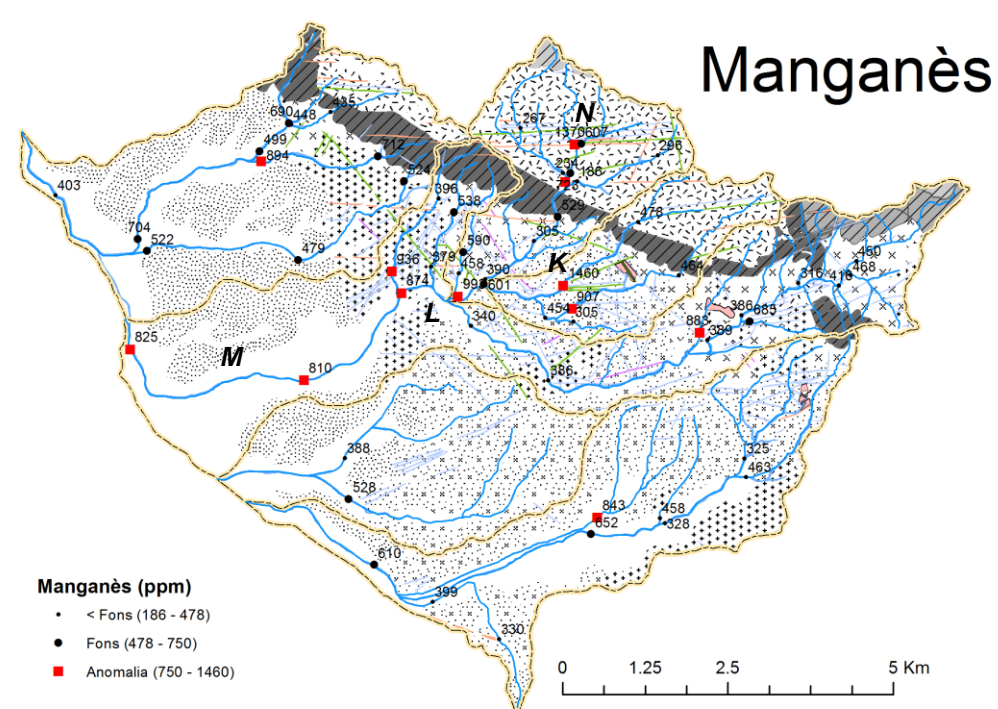
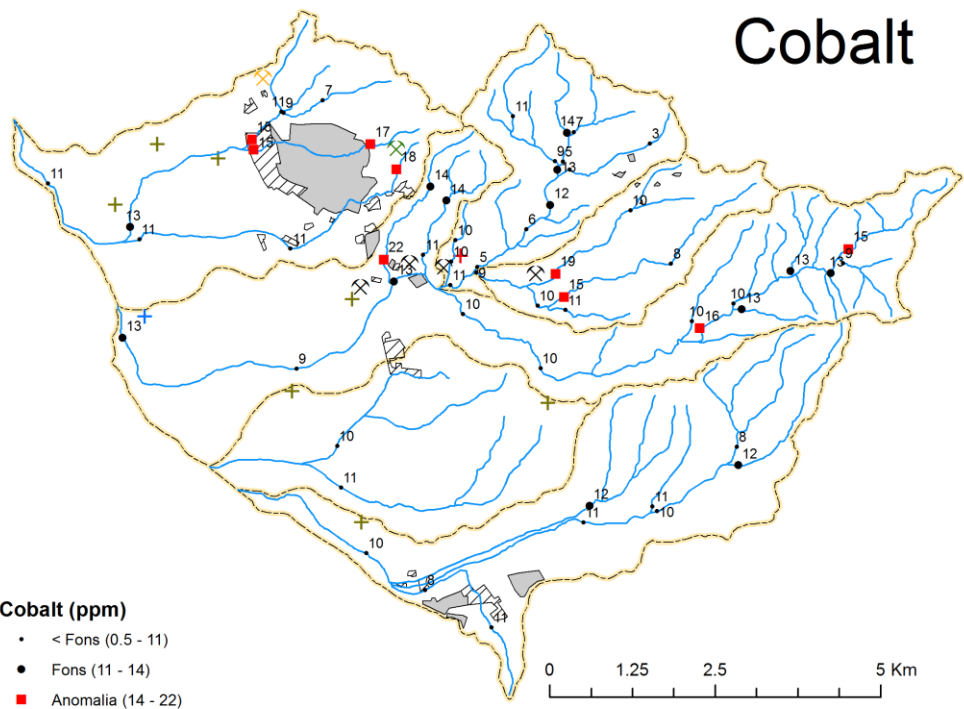
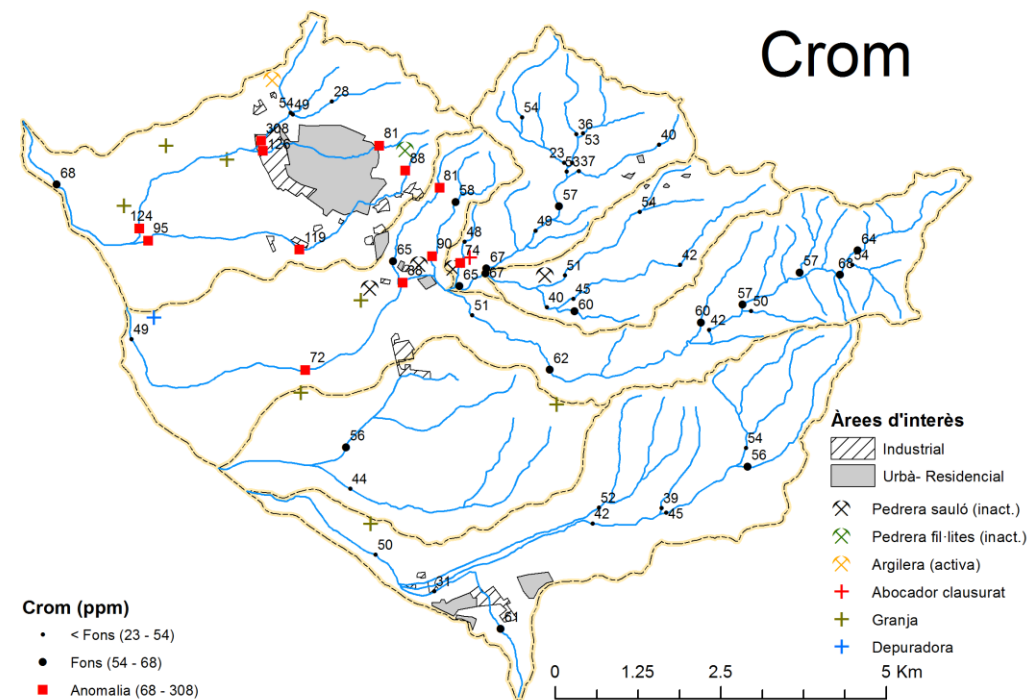
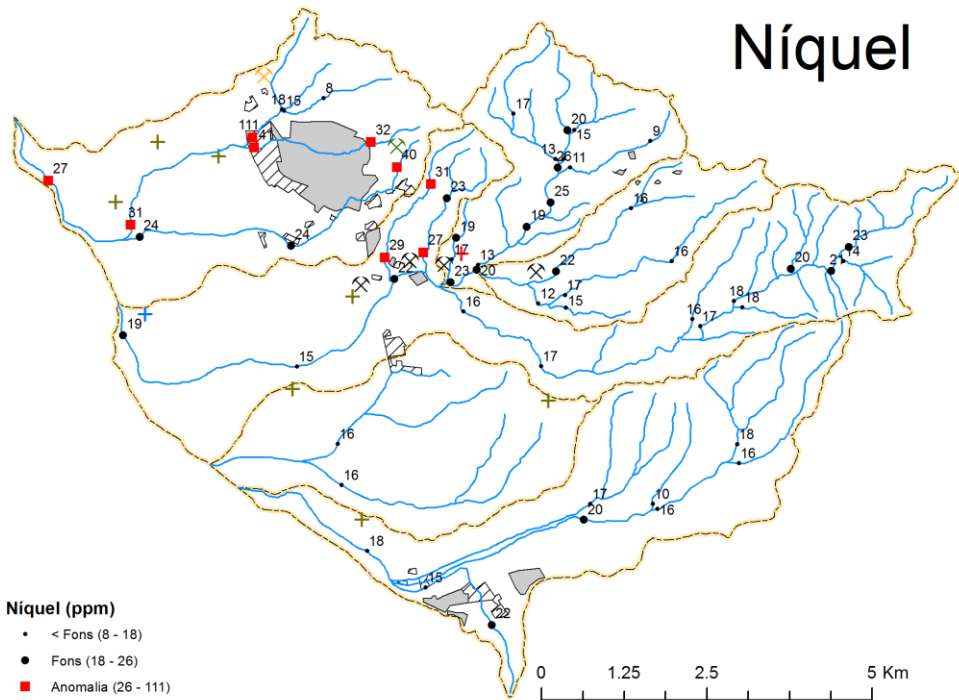


Figura 33. Mapes d'anomalies de Ni, Cr i Mn. En els tres primers hi figuren elements d'interès del mapa, mentre que en el quart els punts s'han projectat sobre el mapa geològic. Veure mapa per entendre la llegenda.

Arsènic

L'arsènic a les mostres es troba entre 2.9-20.5 ppm, amb un fons representatiu a 7.4 ppm (Figura 34). Sobre la seva distribució cal destacar tres aspectes. En primer lloc, els valors anòmals més elevats es concentren novament a la zona urbana i industrial de Cassà de La Selva, sobretot en les rieres que transcorren per l'interior del terme, i per tant se li atribueix un origen per contaminació antròpica.

En segon lloc, en general els valors superiors a la mitjana del fons geoquímic es troben en zones de cultiu o properes a finques agrícoles (punt O); en canvi, els valors inferiors al fons es localitzen principalment a les zones de capçalera de les rieres (punt P). Un possible motiu podria ser l'ús de pesticides, l'efecte dels quals contribuiria com una font addicional d'arsènic.

I en tercer lloc, ressalten tres anomalies molt importants a les zones de capçalera de la riera Vilallonga i Verneda (punts Q i R), aïllades en una zona dominada per valors inferiors al fons.

Urani

Les concentracions d'urani a les mostres es troben dins el rang 3.1- 44.5 ppm, amb un valor de fons representatiu de 7.6 ppm (Figura 34). Per aquest element, gairebé tots els valors anòmals es concentren a la capçalera de la riera Vilallonga i Duesrieres, on s'ha anat comentat l'existència d'altres anomalies que, conjuntament, podrien ser indicatives de mineralitzacions (punt S). Aquest valors anòmals es troben al voltant de 12, 15, 20 o 44 ppm. Una hipòtesi és que aquestes anomalies siguin atribuïbles a la alteració de minerals accessoris d'urani als cossos plutònics o lligats a les mineralitzacions filonianes (quars hidrotermal o pegmatites)

A part, també destaca una anomalia important a un dels tributaris de la riera Verneda, 25ppm, mentre que el valor més proper és de 5ppm (punt T).

Molibdè i Or

La majoria de les concentracions d'aquests elements s'han trobat per sota del llindar analític de detecció, i per tant no s'han pogut tractar estadísticament. Tanmateix, existeixen alguns valors particularment alts que destaquen per localitzar-se, novament, a la capçalera de les rieres Vilallonga i Duesrieres. Se'n pot observar un traçat clar de dispersió aigües avall (Figura 34). Tant en el cas de la anomalia de molibdè, la qual podria ser un indicatiu de mineralitzacions de Molibdenita, com la de l'or podrien estar associada als filons hidrotermals de quars.

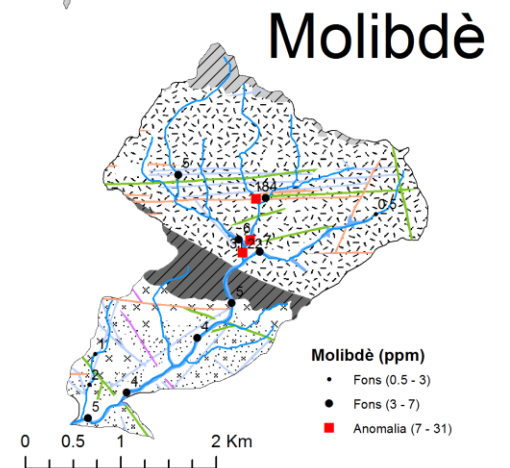
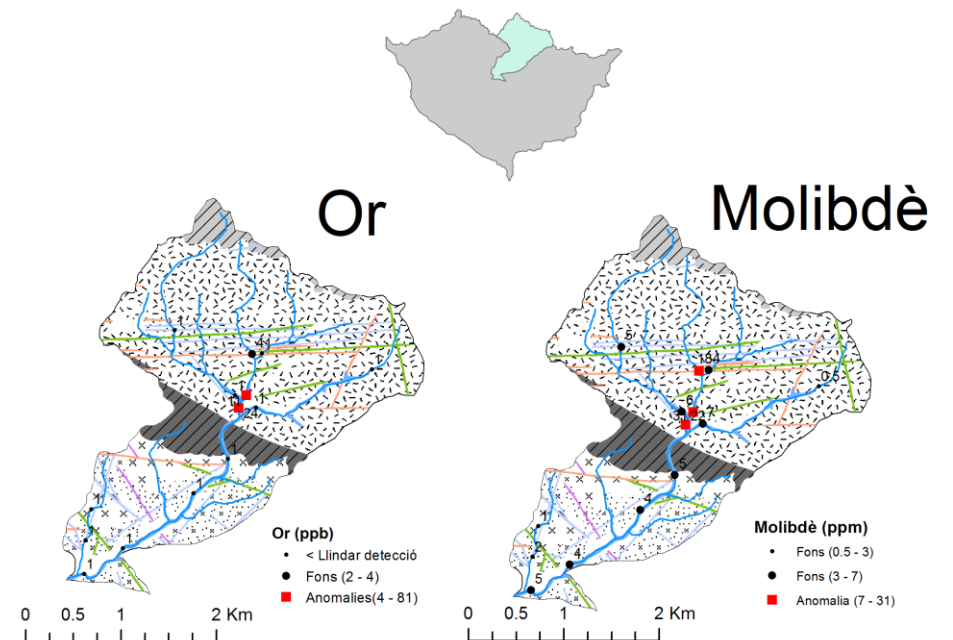
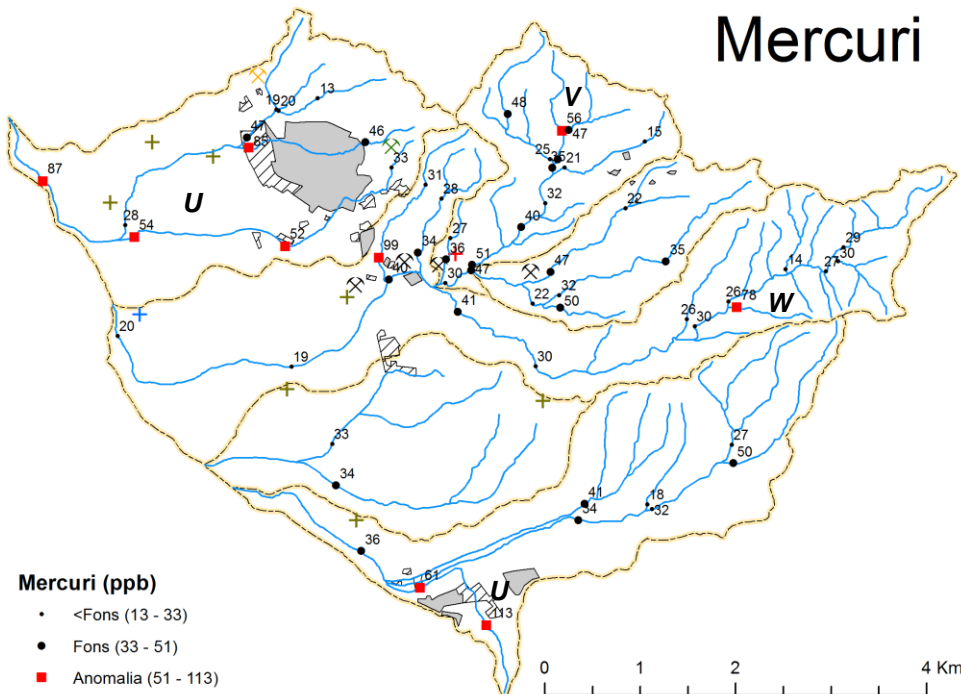
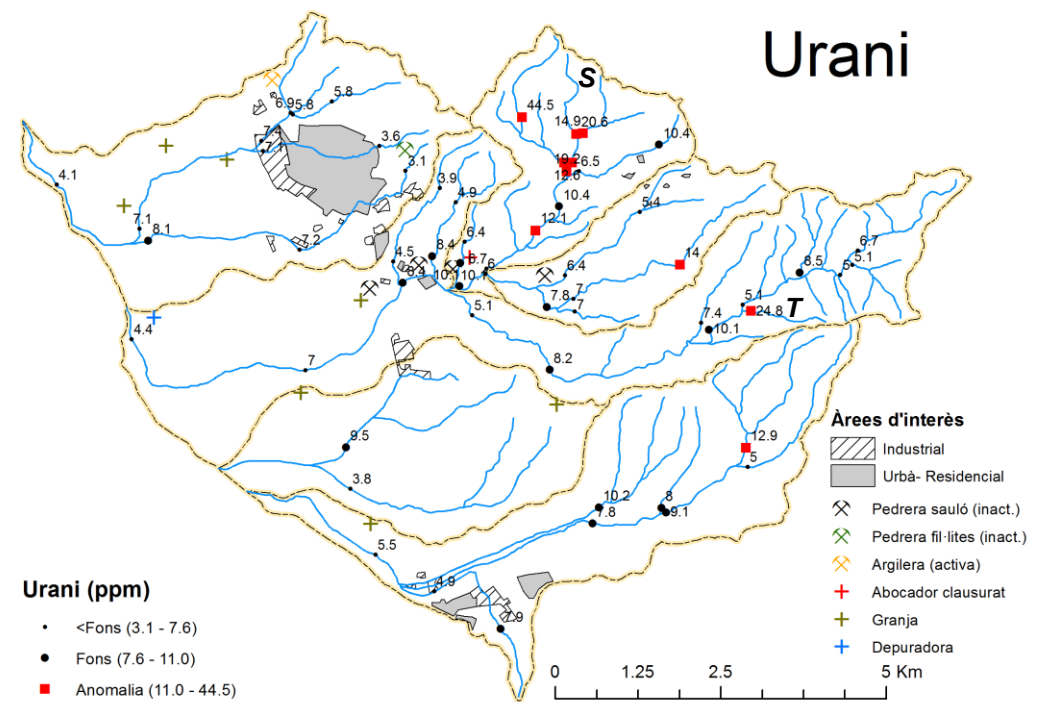
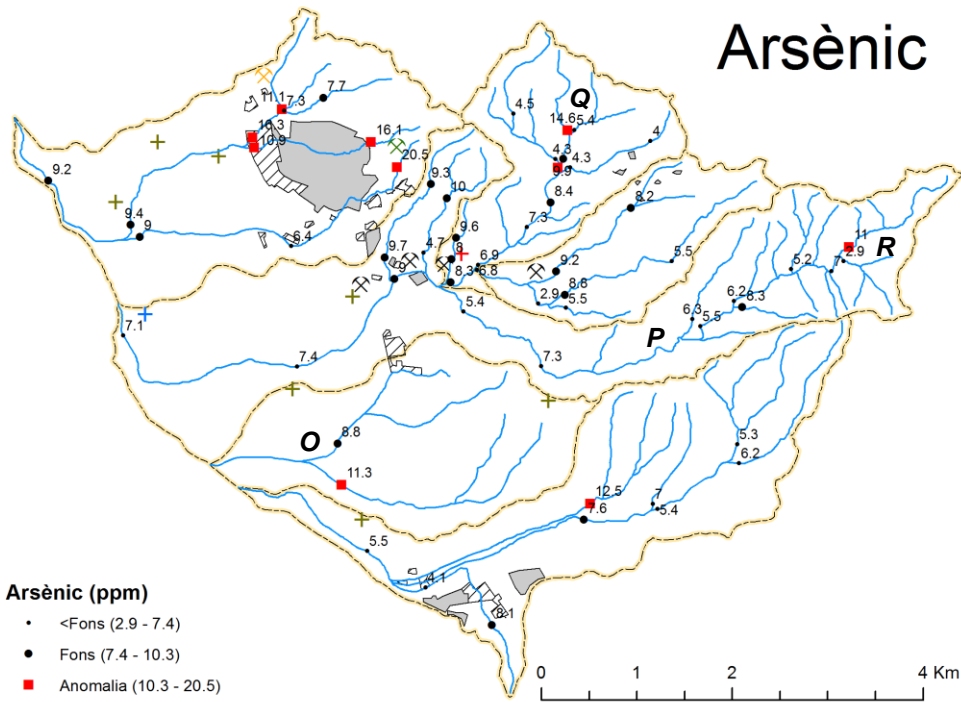


Figura 34. Mapes d'anomalies de As, U, Hg. Els mapes d'Or i Molibdè estan centrats a la conca de la riera Vilallonga, ja que els valors destacables es troben en aquesta zona coincidint amb d'altres anomalies

Mercuri

Les concentracions de mercuri presents a les mostres es troben entre 13 i 113 ppb, amb un fons geoquímic representat per 33 ppb (Figura 34). Respecte la distribució de les anomalies, destaquen tres aspectes. En primer lloc, la majoria dels valors anòmals es troben als trams urbans de les rieres i aigües avall (punt U); així doncs, molt probablement siguin conseqüència de la contaminació per activitat humana.

En segon lloc, la capçalera de la riera Vilallonga i Duesrieres destaca per tenir una anomalia i uns valors de fons propers al llindar d'anomalia (punt V). Donat que coincideix amb les mateixes mostres que han resultat anòmales en altres elements com As, U, Au, Mo, Cu o Mn, podria resultar ser considerat com un indicatiu més de possibles mineralitzacions a la zona.

I en darrer lloc, la mostra a la riera Verneda que també presentava anomalia en U té un contingut en mercuri que gairebé quadruplica els valors de fons de les mostres properes (punt W). Per tant, la zona aigües amunt mereixeria una prospecció més detallada.

Bari

Les concentracions en bari es troben en el rang de 200-770 ppm, però 5 de les mostres tenien valors inferiors al límit de detecció. Tal i com s'ha comentat a l'anàlisi univariant, el bari presenta una distribució bimodal, que probablement es degui a diferents fons geoquímics per les dues classes de roques plutòniques a la zona. Tenint en compte aquesta situació, es creu adequat considerar el llindar d'anomalia calculat com l'inici de la segona població, amb un fons més elevat per diferències litològiques. (Figura 35).

Respecte a la distribució dels valors, s'observa com els valors de la població amb fons més baix es localitzen a la capçalera de les rieres on aflora el leucogranit (punt X). En canvi, allà on el substrat és el granit biotític o la granodiorita, les concentracions són en general més altes (punt Y). A més, cal destacar que els valors més alts es localitzen en punts afectats per contaminació antròpica. Per tant, les dades no donen informació significativa que permeti desvelar indicis de mineralitzacions de baritina, les més freqüents a la zona segons el context metal·logenètic (IGME, 1974).

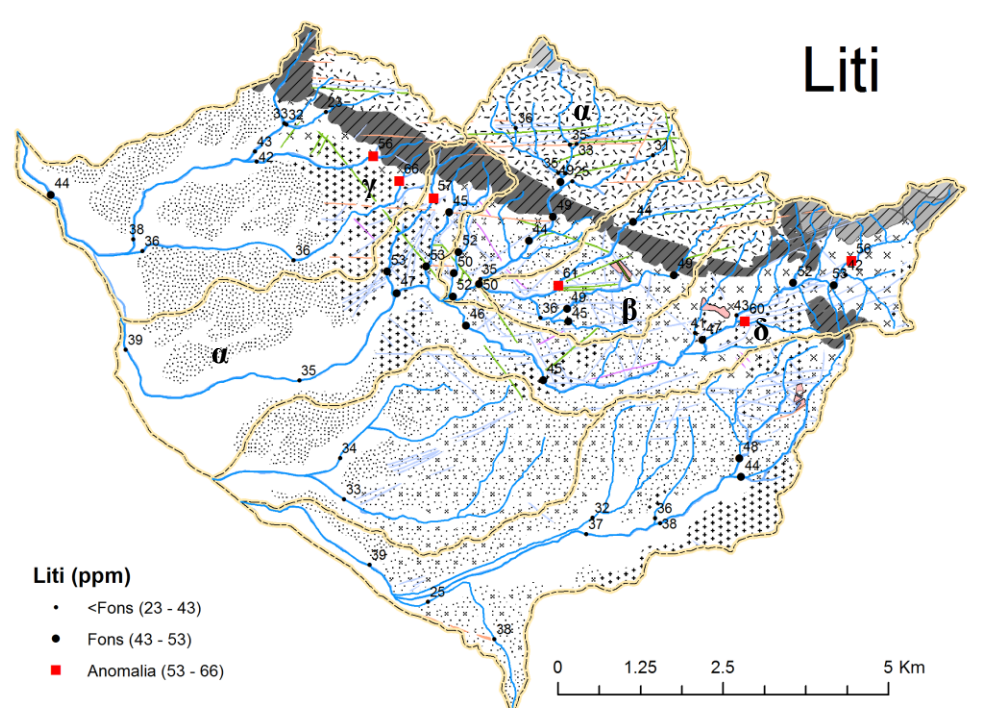
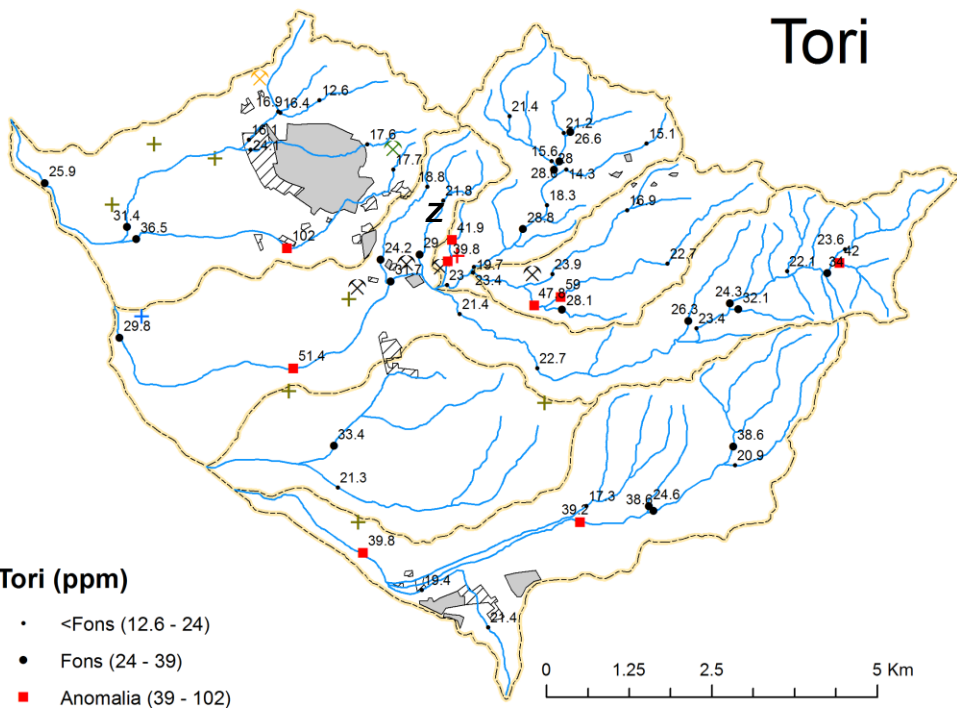
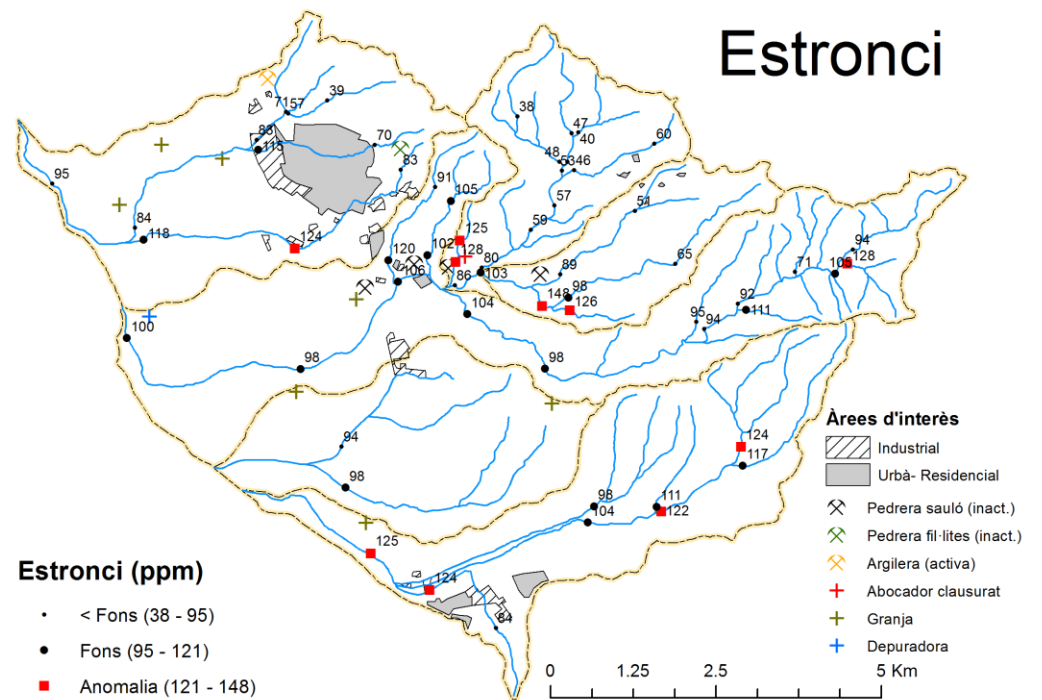
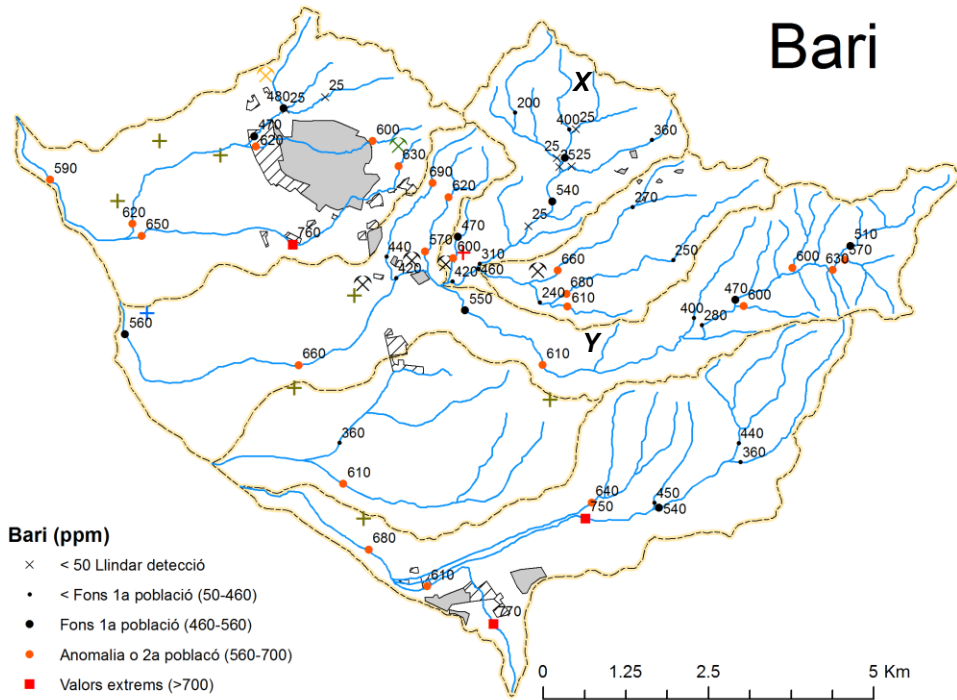


Figura 35. Mapes d'anomalies de Ba, Sr, Th i Li. En els tres primers hi figuren elements d'interès del mapa, mentre que en el quart els punts s'han projectat sobre el mapa geològic. Veure mapa per entendre la llegenda

Estronci

Les concentracions en estronci es troben dins el rang 38-148 ppm, amb un fons representatiu de 95 ppm (Figura 35). És un element amb molt bona correlació amb el bari, i també mostra la mateixa variabilitat geogràfica lligada als dos grups de roques plutòniques que afloren a la zona. La diferència és que en l'estronci els valors de tots dos fons geoquímics no són tant extrems, de manera que no s'individualitzen dues poblacions de dades.

Tori

El tori es presenta en concentracions entre 12.6 i 102 ppm, amb un fons representat per 24 ppm (Figura 35). Té una bona correlació amb l'estronci; tanmateix, crida l'atenció que no sigui així amb l'urani. Referent a la distribució d'anomalies, coincideix amb la de l'estronci. Destaquen les anomalies al Torrent del Romeguerar (punt Z), que doblen les concentracions de fons de les mostres properes.

Liti

Els valors de liti oscil·len entre els 23 i 66 ppm, amb un fons geoquímic representat per 43 ppm (Figura 35). Destaquen els següents aspectes:

- A la part baixa de la zona d'estudi i a la capçalera de la riera Vilallonga (punt α), on afloren els leucogranit, els valors són inferiors al fons. En canvi, a les mostres preses on aflora el granit biotític, la granodiorita o l'aureola metamòrfica els valors de fons són més elevats (punt β). Això reforça la hipòtesi que la variació està lligada al tipus de roca ígnia (Taula 9)
- Les tres anomalies situades en rieres properes a Cassà (punt γ) coincideixen amb les mostres atribuïdes a algun tipus de contaminació antròpica durant l'anàlisi de components principals (grup III-b Figura 29).
- L'anomalia del punt δ també presenta valors alts en urani i mercuri, i es troba en una zona de capçalera. Per tant, podria ser indicadora de mineralitzacions.

Finalment i resumint, l'anàlisi de les dades geoquímiques ha permès diferenciar dues àrees d'interès per les anomalies que presenten: **les rodalies de Cassà de La Selva i la capçalera de la riera Vilallonga.**

En primer lloc, s'ha demostrat l'existència de continguts anòmalament alts en metalls pesants i altres elements (As, Hg, Ni, Cr, Co, Zn, Cu, Pb i Fe) als sediments de les rieres que transcorren tant pel nucli i rodalies de Cassà de La Selva com per l'àrea agrícola-ramadera de la zona de plana. A més, s'ha argumentat la possible relació d'aquestes anomalies amb l'activitat industrial del sector metal·lúrgic i l'ús de productes agroquímics (fertilitzants i pesticides).

El següent pas lògic seria comprovar si aquest valors, anòmalament alts respecte al fons geoquímic, suposen un risc per la salut dels éssers vius. L'estudi en detall d'aquest aspecte s'escapa dels objectius d'aquest treball, i podria ser una línia per la qual continuar la caracterització de la zona. Tanmateix, una ràpida comparació amb valors de referència en contaminació ambiental establerts per l'agència mediambiental holandesa (Rijkswaterstaat, 2014) permet verificar que les concentracions en els elements esmentats es troben força per sota del llindar considerat sever.

En darrer lloc, es destaca la capçalera de la riera Vilallonga i Duesrieres com un possible sector amb mineralitzacions, possiblement associades al dens eixam de dics que intrueix el leucogranit moscovític. Els resultats de l'anàlisi multivariant ja desvelen un patró diferenciat de la resta en la composició química de les mostres (grup V Figura 29 i Figura 30), la qual cosa ha permès focalitzar-hi l'atenció durant l'anàlisi univariant i facilitar la detecció de les anomalies en As, Mn, Hg, U, Mo, Au i Cu. Així doncs, aquest sector podria ser l'objecte d'una prospecció més detallada per tal d'establir quina classe de mineralitzacions són les causants d'aquests valors anòmalament alts.

A més a més, el mètode de prospecció amb sediments de xarxes de drenatge ha permès detectar diferències en el fons geoquímic entre aquelles àrees dominades per granodiorites o granit biotítics i la zona on aflora el leucogranit moscovític de Cassà de La Selva (Figura 9 i grups de mostres I i II a la Figura 31).

Capítol 8 Conclusions

La zona d'estudi engloba totes les rieres i torrents que drenen la meitat sud del vessant occidental de Les Gavarres i desguassen a la riera Gotarra, un dels cursos tributaris més importants del marge dret del Riu Onyar. Per tant, es considera una unitat d'estudi coherent i individualitzada per caracteritzar la geoquímica d'aquest marge del massís. Aquesta àrea s'ha dividit en 6 subconques hidrogràfiques, cada una de les quals representa l'àrea de captació dels cursos d'aigua més importants, segons la cartografia 1:50 000. Són les conques de les rieres **Verneda, Susvalls, Banyaloca, Cagarella, Vilallonga i Vernegar**, en ordre decreixent quant a superfície. L'àrea total és de 76 km².

En referència a les característiques de la xarxa hidrogràfica, on es realitza la prospecció geoquímica, i l'anàlisi morfomètric de les seves conques hidrogràfiques, se'n poden extreure les següents conclusions:

- D'acord amb la jerarquitització dels cursos segons el criteri de Horton, la conca de la Verneda és la de major ordre, 4. Les altres són d'ordre 3.
- Les característiques dels cursos d'aigua presenten diferències importants segons el sector de relleu considerat. D'una banda, al sector de muntanya, els cursos són en general més estrets i incidits en forma de 'V', de menor longitud, amb una major densitat de drenatge i morfologia dendrítica o pinnada; d'altra banda, al sector de transició i de plana, els cursos flueixen en paral·lel, sense tributaris, la seva secció pren forma arrodonida de 'U', són més amples i tenen llit d'inundació.
- Aquesta diferència en la morfologia dels cursos segons el sector de relleu considerat està relacionada amb les característiques del substrat geològic: diferent grau de competència, alteració o permeabilitat del leucogranit, granitoides, cornianes o arcoses i conglomerats.
- En general, el traçat dels cursos està influenciat per les principals famílies de fractures a la zona, doncs s'observen girs bruscs en el traçat d'acord amb les seves direccions. A més, però, al sector de plana s'hi han detectat morfologies poc naturals, que segurament responen a l'adaptació antròpica dels traçats per gestionar el risc d'inundació.
- D'acord amb els paràmetres morfomètrics estimats per cada conca, se'n destaquen dos casos:
 - **La conca de la riera Vilallonga, per la seva torrencialitat.** Es caracteritza per una alta densitat de drenatge, cursos d'ordre 1 rectes i de curta longitud, una forma arrodonida i compacta i un pendent mitjà moderat. Aquest trets afavoreixen una

ràpida resposta de la conca davant d'una pluja: temps de concentració breu i pics de cabal en l'hidrograma d'avinguda. El volum d'aigua drenada dependrà més de la pluja, doncs la superfície de recepció és petita.

- **La conca de la riera Verneda, per la seva gran superfície.** Representa el 30% de l'àrea estudiada; per tant, la Verneda serà la que reculli la major part de l'aigua d'escorriment. La forma més elongada i poc compacta de la conca, juntament amb la gran longitud del curs principal, són factors que afavoreixen la laminació dels cabals durant una avinguda. No obstant, cal tenir en compte l'alta densitat de drenatge i fort pendent a la zona de capçalera. Es creu doncs que aquesta conca pot generar avingudes importants quant a volum d'aigua, però de caràcter menys torrencial que la Vilallonga.
- És important destacar que la riera Vilallonga és tributaria de la Verneda. Per tant, si es considera alhora la capacitat de drenatge de la Verneda i la torrencialitat de la Vilallonga, la zona de confluència d'aquests dos cursos pot destacar-se per la perillositat de les avingudes.
- En definitiva, tots aquests aspectes descriuen una xarxa de drenatge ben desenvolupada, funcional i amb àrees font ben diferenciades. **Per tant és apta per la prospecció geoquímica de sediments al·luvials.**

Pel que fa a la prospecció geoquímica de sediments en xarxes de drenatge, se'n poden extraure les següents conclusions:

- L'anàlisi de Components Principals pels 15 elements més significatius (Zn, Ni, Cu, Cr, Sb, Pb, As, Co, Hg, Ba, Li, Sr, Mn, Th i U) ha establert quatre associacions d'elements que expliquen el 71% de la variabilitat de les dades. D'acord amb aquestes, s'han diferenciat agrupacions de mostres amb característiques similars, la posició geogràfica de les quals ha permès atribuir el motiu de la variabilitat que cada component representa.
 - Les mostres recollides als trams urbans i industrials de les rieres, sobretot a Cassà de La Selva, i als trams del sector de plana mostren continguts alts en l'associació Zn-Ni-Cu-Cr-Sb-Pb. Aquesta associació s'ha atribuït a contaminació antròpica, pel possible efecte dels acabats metàl·lics realitzats a les fàbriques metal·lúrgiques ubicades al polígon de Cassà, i per l'ús de productes agroquímics sobre els cultius.
 - La associació d'elements Sr-Th-Ba permet distingir les zones amb un substrat rocós diferent (leucogranit moscovític o granit biotític i granodiorita). Té doncs un caràcter litològic.

- Diverses mostres preses a la capçalera de la riera Vilallonga destaquen per tenir una forta associació entre els elements Li-Co-Mn-As i U-Hg. Donat que es troben lluny de la influència antròpica, s'atribueix a indicis de mineralització associats al dens eixam de dics de quars hidrotermal, i potser també als de pegmatites.
- A partir de l'anàlisi multivariant, és possible focalitzar l'atenció a dues zones concretes de l'àrea d'estudi, i així facilitar la detecció de valors anòmals en diferents elements respecte el fons geoquímic, establerts per l'anàlisi univariant:
 - La **zona de Cassà de La Selva i rodalies** destaca, efectivament, per nombroses anomalies en metalls pesants originades per l'activitat antròpica. Tanmateix, tot i ser altes respecte els fons geoquímics, no excedeixen els valors líndar considerats servers per la salut segons determinats estàndards mediambientals. L'estudi detallat sobre les causes i els efectes d'aquests anomalies per contaminació podria ser una línia a seguir en futurs treballs.
 - A la **capçalera de la riera Vilallonga i Duesrieres** s'hi concentren un bon nombre d'anomalies de As, Mn, Hg, U, Mo, Au i Cu, que defineixen prou bé un patró de dispersió aigües avall de la riera. Es creu que representen indicis clars de mineralitzacions, probablement associades a l'eixam de dics de pegmatites i quars hidrotermal. L'estudi en més detall d'aquesta zona podria ser una altra línia a seguir el treball, per tal d'establir millor l'origen de les anomalies i una localització més concreta.
- No s'ha trobat cap efecte contaminant generat pel petit abocador clausurat a la zona, ubicat en una de les pedreres de sauló abandonades (punt C Figura 4).
- Amb els resultats de la prospecció de sediments en xarxes de drenatge ha estat possible:
 - 1) establir diferències litològiques en el fons geoquímic segons el substrat geològic, i 2) detectar sectors clarament anòmals. Per això, es creu que el disseny de la campanya de prospecció i el tractament posterior ha estat adequat.
- Tanmateix, cal posar de manifest algunes debilitats:
 - No s'ha separat les mostres d'acord amb la litologia del substrat geològic d'on es recollien, la qual cosa hagués permès tenir conjunts de dades estadístiques més homogènies. El motiu és que no es disposava de prou mostres per tractar estadísticament per separat les diverses litologies.
 - La cadència de mostreig hagués pogut ser una mica més densa en els trams de riera sense tributaris de la zona de capçalera. Potser hagués permès localitzar amb més detall les zones amb anomalies geoquímiques que, tot i així, s'han detectat.

Referències

Articles i Llibres

- Ahrens, L.H (1954). The log-normal Distribution of the elements. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 6, 49-73.
- Albanese, S.; De Vivo, B.; Lima, A.; Cicchella, D. (2007). Geochemical background and baseline values of toxic elements in stream sediments of Campania region (Italy). *Journal of Geochemical Exploration*, 93, 21-34.
- Albanese, S.; Iavazzo, P.; Adamo, P.; Lima, A.; De Vivo, B. (2013). Assessment of the environmental conditions of the Sarno river basin (south Italy): a stream sediment approach. *Environmental Geochemical Health*, 35, 283-297.
- Alcalde, C. (1984). *Prospección táctica de los recursos minerales del área de Canoves-St. Pere de Vilamajor (Montseny, Barcelona)* (Tesi de Llicenciatura). Universitat de Barcelona. 145 p.
- Alcalde, C.; Carmona, J.M.; Font, X.; Viladevall, M. (1988). A detailed stream sediment geochemical survey in the Canoves - St. Pere de Vilamajor area (Montseny massif, NE Spain). *Acta Geol. Hisp.*, 23, 233-240.
- Anadón, P.; Colombo, F.; Esteban, M.; Marzo, M.; Robles, S.; Santanach, P.; Solé Sugrañés, L. (1979). Evolución tectonoestratigráfica de los Catalánides. *Acta Geológica Hispánica*, 14, 242-270.
- Barnolas, A.; García-Sansegundo, J. (1992). Caracterización estratigráfica y estructural del Paleozoico de Les Gavarres (Cadenas Costero Catalanas, NE de España). *Boletín Geológico y Minero*, 103, 94-107.
- Bermell, G. (1973). *Dispersiones secundarias en los aluviones de la cabecera del río Tordera y su aplicación en prospección geoquímica*. (Tesi de Llicenciatura). Univ. Barcelona. 111 p.
- Cabreara, Ll.; Guimerà, J. (1992) Les fosses i depressions neògenes: la depressió de La Selva. En R. Folch (Ed.), *Història natural dels Països Catalans* (Vol.2, p.316-318). Barcelona: Enciclopèdia Catalana.
- Clavero, P.; Martín Vide, J.; Raso, J.M. (1996). *Atlas climàtic de Catalunya*. Barcelona: Departament de Territori i Sostenibilitat, Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya i Departament de Medi Ambient de Barcelona.
- Decret 343/1983, sobre normes de protecció del medi ambient d'aplicació a les activitats extractives, DOGC 356 §2110 (1983)
- Enrique, P. (1990). The Hercynian intrusive rocks of the Catalanian Coastal Ranges (NE Spain). *Acta Geologica Hispanica*, 25 (1-2), 39-64.
- Fernández Turiel, J.L. (1983). *Prospección estratègica de la Cuenca hidrogràfica del río Garona (Vall d'Aran, Lleida)* (Tesi de Llicenciatura). Universitat de Barcelona. 244 p.
- Ferrer, A. (1983). *Prospección geoquímica estratègica del sector occidental del Macizo del Montseny (Barcelona)* (Tesi de Llicenciatura). Universitat de Barcelona. 143 p.
- Ferrer, A. (1990). Aspectos metalogenéticos ligados al volcanismo explosivo calcoalcalino del ordovícico en los macizos de Les Guilleres y Les Gavarres (Cordilleras Costeras Catalanas). *Cuaderno do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 15, 79-88.

- Ferrés, M; Enrique, P (1996). El complejo leucogranítico tari-hercínico de afinidad alcalina de Tossa de Mar (Cadenas Costeras Catalanas, NE de España). *Geogaceta*, 20 (3), 601-604.
- Fletcher, W.K (1983a). Chapter I: Introduction. En W.K Fletcher (ed) *Handbook of exploration geochemistry: analytical methods in geochemical prospecting* (Vol.1, p. 1-23). Amsterdam: Elsevier Scientific.
- Fletcher, W.K (1983b). Chapter III: Sample preparation. En W.K Fletcher (ed) *Handbook of exploration geochemistry: analytical methods in geochemical prospecting* (Vol.1, p. 47-55). Amsterdam: Elsevier Scientific.
- Font, X. (1983). *Estudio de las mineralizaciones del Macizo Montseny – Guillerries (Barcelona y Girona) y su aplicación en la prospección geoquímica de redes de drenaje*. (Tesi doctoral). Univ. Barcelona. 453 p. 2 volums.
- Font, X., Viladevall, M., Casas, A. y Vaquer, R., 1984. Geochemical exploration in the Montseny Mountains (NE Spain). *Acta Geol. Hispanica*, 19 (3), 193-197.
- Gimeno, D. (1983). *Prospección geoquímica y mineralògica del sector Norte del macizo de Les Guillerries (comarcas de Osona y La Selva, Girona). Fase estratègica* (Tesi de Llicenciatura. Universitat de Barcelona. 221 p.
- Gimeno-García, E.; Andreu, V.; Boluda, R. (1996). Heavy metals incidence in the application of inorgànic fertilizers and pesticides to rice farming soils. *Environmental Pollution*, 92, 19-25.
- Giuffré, L.; Ratto, S.; Marbán, L. (1997). Heavy metals input with phosphate fertilizers used in Argentina. *The Science of the Total Environment*, 204, 245-250.
- Goldschmidt, V.M (1926). *Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente*. Oslo: Skrifter Norske Videnskaps—Akad Oslo (I). Mat-Naturv. KL.
- Goldschmidt, V.M (1954). *Geochemistry*. Clarendon Press.
- Gravelius, H. (1914). *Flusskunde*. Goschen Verlagshan dlug Berlin. En I. Zavoianu (ed) *Morphometry of Drainage Basins*. Amsterdam: Elsevier.
- Guimerà, J. (1992a). Introducció al coneixement de l'evolució neògena catalana. En R. Folch (Ed.), *Història natural dels Països Catalans* (Vol.2, p. 281-289). Barcelona: Enciclopèdia Catalana.
- Guimerà, J. (1992b). Introducció al coneixement dels orògens alpins. En R. Folch (Ed.), *Història natural dels Països Catalans* (Vol.2, p.35). Barcelona: Enciclopèdia Catalana.
- Hale, M; Plant, J.A. (1994) *Handbook of exploration geochemistry: drainage Geochemistry*, Vol.6. Amsterdam: Elsevier.
- Hawkes, H.E; Webb, J.S (1962). *Geochemistry in mineral exploration*. New York: Harper & Row.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative geomorfology. *Bulletin of Geological Society of America*, 56, 275-370.
- Howarth, R.J; Sinding-Larsen, R. (1983). Multivariate analysis. En R.J Howarth (ed) *Handbook of exploration geochemistry* (Vol.2, 207-289). Amsterdam: Elsevier.
- Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje: anàlisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, 19, 41-68.

- Julivert, M.; Duran, H. (1992). El Paleozoico Inferior de las Cadenas Costeras Catalanas. En J.C Gutiérrez-Marcos, J. Saavedra, I.Rábano (eds.), *Conferencia Internacional sobre el Paleozoico Inferior de Ibero-América* (p.607-612).
- Lepeltier, C. (1969). A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. *Economic Geology*, 64, 538-550.
- Levinson, A. (1980a). Introduction: types of survey. En A. Levinson (ed). *Introduction to exploration geochemistry* (2a ed, 16-19). Wilmette: Applied Publishing.
- Levinson, A. (1980b). The Primary Environment. En A. Levinson (ed). *Introduction to exploration geochemistry* (2a ed, p.46). Wilmette: Applied Publishing.
- Llamas, J. (1993). *Hidrología general: Principios y aplicaciones*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- Llei 12/1981, de 24 de desembre, sobre normes addicionals de protecció dels espais d'especial interès natural afectats per activitats extractives, DOGC 189 (1981)
- Llei 20/1986, de 14 de maig, Bàsica de Residus Tòxics i Perillosos, BOE 120 § 17864 (1986).
- Marcet Riba, J.; Solé Sabarís, L. (1949). Memòria explicativa i mapa geològic d'Espanya 1:50000 (Girona). IGME, 334, 140p.
- Mas, J.; Trilla, J.; Pallí, Ll. (1985). Imposicions estructurals en el drenatge de la conca del riu Onyar (Girona). *SCIENTIA gerundensis*, 11, 103-118.
- Mata Perelló, J.M. (1990). *Els minerals de Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.
- Mora, R.; Mora, S.; Vahrson, W. (1992). *Macrozonificación de la amenaza de deslizamientos y resultados obtenidos en el área del valle central de Costa Rica.- Escala 1:286 000*. San José de Costa Rica: CEPREDENAC.
- Parslow, G.R (1974). Determination of Background and Threshold in exploration geochemistry. *Journal of Geochemical Exploration*, 3, 319-336.
- Plasencia Casadevall, A. (2002). El bosc de ribera: la vegetació dels rius i de les rieres de Llagostera. *Crònica*, 23, 15p.
- Roqué, C. i Pallí, Ll. (1994). Geologia del massís de Les Gavarres. En Institut d'Estudis del Baix Empordà (Ed.), *Estudis del Baix Empordà* (Vol.13, p. 5-98).
- Rose, A.W; Hawkes, H.E; Webb, J.S (1979a). Secondary Dispersion. En A. Rose (ed). *Geochemistry in mineral exploration* (2a ed, 115-143). London: Academic Press.
- Rose, A.W; Hawkes, H.E; Webb, J.S (1979b). Anomalies in Drainage sediments. En A. Rose (ed). *Geochemistry in mineral exploration* (2a ed, 115-143). London: Academic Press.
- Rose, A.W; Hawkes, H.E; Webb, J.S (1979c). Basic principles: the pattern of geochemical distribution. En A. Rose (ed). *Geochemistry in mineral exploration* (2a ed, 22-31). London: Academic Press.
- Santanach, P. (1992a). Introducció al coneixement del Mesozoic. En R. Foch (Ed.), *Història Natural dels Països Catalans* (Vol.1, p.243-252). Barcelona: Enciclopèdia Catalana.
- Santanach, P. (1992b). Introducció al coneixement del relleu dels Països Catalans. En R. Folch (Ed.), *Història Natural dels Països Catalans* (Vol.1, p.27-37). Barcelona: Enciclopèdia Catalana.
- Sebastián, A.; Reche, J. i Durán, H. (1990). Hercynian Metamorphism in the Catalanian Coastal Ranges. *Acta Geològica Hispànica*, 25, 31-38.

- Solé Flores, M.(1986). *Prospección geoquímica estratègica del Macizo de Les Gavarres (Girona)*. (Tesi de Llicenciatura). Universitat de Barcelona. 144 p.
- Solé Sabarís, L; Llopis Lladó, N (1939). Terminación septentrional de la Cordillera Costera Catalana. *Estudios geomorfológicos de la Península Hispánica*, 1 (6), 87p. Barcelona: Associació Internacional pel l'Estudi Geològic de la Mediterrània Occidental.
- Sopeña, A. (2004). Cordillera Ibérica y Costero Catalana. En J. A. Vera (Ed.), *Geología de España* (p.465-527). Madrid: SGE-IGME.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *EOS Trans. Agu.*, 38, 912-920.
- Viladevall, M.; Font, X.; Carmona, J.M.; Pérez, D.; Vaquer, R. (1996). Exploració geoquímica del massís del Montnegre. En Diputació de Barcelona (ed.) *I Trobada d'Estudiosos del Montnegre i el Corredor* (p. 21-27)
- Viladevall, M.; Font, X.; Orti, R.; Carmona, J.M. (1999) Exploració geoquímica de sediments al·luvials en xarxes de drenatge al Massís del Corredor. En Diputació de Barcelona (ed.) *I Trobada d'Estudiosos del Montnegre i el Corredor* (p. 13-20).

Cartografia

- Centre de Recerca i Aplicacions Forestals (CREAF) (2009). Girona i Lloret de Mar [mapa en format IMG] *Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya en format ràster (4a ed.)*, fulls 334-1-2 i 366-1-1. Recuperat de <http://www.creaf.uab.cat/mcsc/rasters4.htm>
- Departament de Territori i Sostenibilitat (Territori) (2014). Activitats extractives actives i abandonades [vectorial]. Recuperat de http://territori.gencat.cat/ca/01_departament/12_cartografia_i_toponimia/bases_cartografiques/medi_ambient_i_sostenibilitat/cartografia_en_format_miramon_sig/bases_disponibles/focus/04/
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) (2001). La Bisbal de l'Empordà [Mapa GeoPdf i shapefile]. 1:25 000. *Mapa geològic de Catalunya 1:25 000 (1a ed.)*, full 334-2-1 (78-25). Barcelona: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) (2006). Cassà de La Selva [Mapa GeoPdf i shapefile]. 1:25 000. *Mapa geològic de Catalunya 1:25 000 (1a ed.)*, full 334-1-2 (77-26). Barcelona: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) (2007). Llagostera [Mapa GeoPdf i shapefile]. 1:25 000. *Mapa geològic de Catalunya 1:25 000 (1a ed.)*, full 366-1-1 (77-27). Barcelona: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) (2010a). Girona i Lloret de Mar [mapa servei WMS]. 1:50 000. *Mapa topogràfic de Catalunya 1:50 000*, fulls 334 i 366. Barcelona: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Recuperat de <http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Serveis/Geoinformacio-en-linia-Geoserveis/WMS-i-WMTS/WMS-de-cartografia-raster/WMS-de-mapes-i-ortofotos-vigents>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) (2010b). Cassà de La Selva (i voltants) [mapa] 1:5000. En *Base topogràfica de Catalunya 1:5000*, fulls de 305-101 a 309-105 (25 fulls). Recuperat de <http://www.icc.cat/vissir3/>

- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) (2014a). El Silurià, el Devonian i el Carbonífer preorogènic i sinorogènic. En ICGC (ed.) *Atles geològic de Catalunya* (p. 84-85). Barcelona: ICGC.
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) (2014b). *Mapa Estructural de Catalunya 1:250 000 (1a ed.)* [Mapa]. 1:250000. Barcelona: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME) (1974). Barcelona [Mapa]. 1:200 000. *Mapa Metalogenético de España 1:200 000 (1ª ed)*, full 35. Madrid: Servicio de Publicaciones - Ministerior de Industria.
- Pallí, Ll. (1983). *Mapa morfològic de la depressió de La Selva* [Mapa]. 1:62000. Barcelona: Dpt. De Geodinàmica Externa de la Universitat Autònoma de Barcelona; Girona: Dpt. De Geologia del Col·legi Universitari de Girona.

Pàgines Web i documents en línia

- Actlabs(s.d). *Geochemistry. Actlabs* [en línia]. Recuperat de <http://www.actlabs.com/>
- Agència Catalana de l'Aigua (ACA) (2016). *Cens d'abocaments autoritzats interactiu*[en línia]. Recuperat de <http://aca-web.gencat.cat/recursos/sig/public/VisorCensAbocament.html>
- Ajuntament de Cassà de La Selva (Cassà,2009). *Pla d'Ordenació Urbanística Municipal (POUM)* [en línia]. Recuperat de: <http://www.cassa.cat/web/index.php/ajuntament/poble-urbanisme/poble-urbanisme-poum>
- Environmental Protection Agency (EPA) (s.d). *Method 6010C: ICP-OES. Quality control (QC)* [en línia]. Recuperat de <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-6010c.pdf>
- Gavarres.cat (2016). *Coneguem Les Gavarres- Consorci de Les Gavarres* [en línia]. Recuperat de http://www.gavarres.cat/ca/coneguem_les_gavarres.html
- Nucleide.org (2016). *Radionuclides table. Fe-59* [en línia]. Recuperat en http://www.nucleide.org/DDEP_WG/Nuclides/Fe-59_tables.pdf
- Rijkswaterstaat (2014). *Into Dutch Soils* [en línia]. Recuperat en rwsenvironment.eu/publish/pages/97213/into_dutch_soils.pdf
- Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) (2016). *Climatologies Comarcals* [en línia]. Recuperat de <http://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2014/11/13083422/Selva.pdf>

ANNEX 1. DADES GEOQUÍMIQUES I ANÀLISIS ESTADÍSTICS REALITZATS

ANNEX 1.1 Dades analítiques originals

ID camp	Nº Lab.	(1)UTM X	UTM Y	Hg (ppb) (d) ⁽³⁾	Au (ppb) (a)	Ag ⁽²⁾ (c)	Cu (b)	Cd (b)	Mo (b)	Pb (b)	Ni (c)	Zn (c)	S (%) (b)	Al (%) (b)	As (a)	Ba (a)	Be (b)	Bi (b)	Br (a)	Ca (%) (b)	Co (a)	Cr (a)	Cs (a)	Eu (a)	Fe (%) (a)	Hf (a)	Hg (a)	Ir (ppb) (a)	K (%) (b)	Li (b)
C-1	17285	491858	4635831	47	10	<0.3	23	<0.3	1	29	20	94	0.04	7.64	7	460	4	<2	16	0.81	9	67	8	1	2.98	13	<1	<5	2.1	50
C-2	17286	491874	4635909	51	<2	<0.3	13	<0.3	4	28	13	60	0.04	7.34	7	310	4	<2	9.9	0.58	5	67	6	1	2.39	11	<1	<5	1.95	35
C-3	17287	493058	4635806	47	<2	<0.3	17	<0.3	2	27	22	86	0.03	8.27	9	660	6	<2	22	0.8	19	51	9	2	4.24	8	<1	<5	1.79	61
C-4	17288	492786	4635325	22	<2	0.7	12	<0.3	<1	21	12	64	0.02	8.36	3	240	7	<2	1.8	1.38	10	40	9	1	2.51	13	<1	<5	2.1	36
C-5	17289	491657	4635203	41	<2	<0.3	14	<0.3	2	28	16	75	0.05	7.12	5	550	4	<2	22	0.84	10	51	9	1	3.24	12	<1	<5	1.95	46
C-6	17290	493331	4637951	47	<2	<0.3	12	<0.3	4	24	15	36	0.03	5.99	5	<50	6	<2	11	0.35	7	53	8	1	1.53	9	<1	<5	2.16	33
C-7	17291	493230	4637940	56	4	<0.3	14	<0.3	18	24	20	43	0.04	7.07	15	400	6	<2	25	0.6	14	36	7	0	2.6	10	<1	<5	2.07	35
C-8	17292	493167	4637509	43	11	<0.3	10	<0.3	31	25	13	35	0.04	7.38	10	510	5	<2	18	0.47	5	39	6	1	2.19	14	<1	<5	2.16	37
C-9	17293	493048	4637513	25	<2	<0.3	31	<0.3	6	25	13	45	0.05	7.59	4	<50	5	<2	3.1	0.4	9	23	11	0	1.49	8	<1	<5	2.17	35
C-10	17294	493086	4637377	35	24	<0.3	19	<0.3	22	29	26	70	0.03	8.8	14	<50	6	<2	13	0.46	13	53	9	1	3.17	8	<1	<5	2.16	49
C-11	17295	493268	4637385	21	<2	<0.3	30	<0.3	7	25	11	40	0.03	6.93	4	<50	4	<2	2.9	0.32	<1	37	6	1	1.29	9	<1	<5	2.37	25
C-12	17296	492974	4636847	32	<2	<0.3	21	<0.3	5	29	25	76	0.03	8.07	8	540	5	<2	8.8	0.37	12	57	9	1	2.71	8	<1	<5	2.15	49
C-13	17297	495118	4635093	26	<2	<0.3	11	<0.3	1	24	16	73	0.02	7.03	6	400	4	<2	7.9	0.75	10	60	7	1	2.83	15	<1	<5	2.28	41
C-14	17298	495237	4634984	30	<2	<0.3	13	<0.3	<1	35	17	72	0.03	7.26	6	280	3	<2	21	0.76	16	42	7	2	3.48	13	<1	<5	2.13	47
C-15	17299	495748	4635361	26	<2	<0.3	11	<0.3	<1	25	18	65	0.02	6.89	6	470	3	<2	17	0.72	10	57	6	2	3.14	13	<1	<5	2.11	43
C-16	17300	495875	4635268	78	4	<0.3	16	<0.3	2	34	18	80	0.05	7.53	8	600	4	<2	24	1.07	13	50	9	3	3.28	12	<1	<5	1.86	60
C-17	17301	496611	4635848	14	<2	<0.3	10	<0.3	<1	17	20	73	<0.01	6.34	5	600	4	<2	6.4	0.55	13	57	13	1	4.09	12	<1	<5	1.99	52
C-18	17302	497222	4635814	27	<2	<0.3	13	<0.3	1	26	21	83	0.02	7.52	7	630	3	<2	18	0.78	13	68	6	2	3.45	17	<1	<5	1.85	53
C-19	17303	497403	4635967	30	<2	<0.3	11	<0.3	<1	25	14	70	0.02	7.32	3	570	3	<2	14	1.08	9	54	8	2	3.07	15	<1	<5	2.08	42
C-20	17304	497487	4636180	29	<2	<0.3	15	<0.3	1	27	23	81	0.01	7.4	11	510	4	<2	20	0.63	15	64	7	2	3.71	11	<1	<5	1.84	56
C-21	17305	494803	4635965	35	<2	<0.3	21	<0.3	2	20	16	68	0.05	7.36	6	250	5	<2	9.7	0.51	8	42	9	1	2.01	16	<1	<5	1.99	49
C-22	17306	493207	4635263	50	<2	11.5	28	<0.3	2	28	15	73	0.05	7.58	6	610	4	<2	9.7	1.02	11	60	9	2	2.71	15	<1	<5	2.22	45
C-23	17307	493189	4635455	32	<2	<0.3	16	<0.3	2	28	17	72	0.03	7.92	9	680	4	<2	24	0.79	15	45	9	2	3	19	<1	<5	2.55	49
C-24	17308	494190	4636769	22	<2	<0.3	10	<0.3	<1	29	16	50	0.01	7.78	8	270	5	<2	2	0.46	10	54	8	0	2.29	12	<1	<5	2.51	44
C-25	17309	494484	4637782	15	<2	<0.3	9	<0.3	<1	21	9	35	<0.01	6.5	4	360	4	<2	2.1	0.3	3	40	5	1	1.17	13	<1	<5	2.35	31
C-26	17310	491465	4635641	30	<2	<0.3	20	<0.3	5	30	23	74	0.02	7.93	8	420	4	<2	13	0.62	11	65	10	1	3.8	9	<1	<5	2	52
C-27	17311	492412	4638194	48	<2	<0.3	11	<0.3	5	28	17	40	0.03	6.21	5	200	5	<2	20	0.41	11	54	7	1	1.92	9	<1	<5	1.84	36
C-28	17312	491478	4635993	36	<2	<0.3	13	<0.3	2	35	17	103	0.03	8.25	8	600	4	<2	10	1.03	10	74	11	2	3.99	17	<1	<5	2.23	50
C-29	17313	491054	4636096	34	<2	<0.3	25	<0.3	2	24	27	91	0.03	7.94	5	570	4	<2	10	0.81	11	90	8	2	3.36	12	<1	<5	1.93	53
C-30	17314	490464	4636020	99	81	<0.3	43	<0.3	<1	38	29	137	0.08	7.72	10	440	4	<2	20	1.36	22	65	6	2	4.54	11	<1	<5	2.07	53
C-31	17315	490611	4635691	40	3	<0.3	20	<0.3	1	30	22	89	0.04	7.66	9	420	4	<2	23	0.94	13	88	8	2	3.45	12	<1	<5	1.9	47
C-32	17316	492829	4634378	30	<2	<0.3	13	<0.3	1	46	17	70	0.02	7	7	610	3	<2	21	0.75	10	62	8	1	2.96	13	<1	<5	1.88	45
C-33	17317	489138	4634375	19	3	<0.3	14	<0.3	<1	31	15	66	0.02	6.89	7	660	4	<2	5.8	0.81	9	72	6	1	2.21	18	<1	<5	2.05	35
C-34a	17318	486510	4634841	20	<2	<0.3	14	<0.3	1	28	19	73	0.02	7.53	7	560	3	<2	6.6	0.85	13	49	8	1	2.61	15	<1	<5	2.47	39
C-34b	17318	486510	4634841	14	<2	<0.3	17	<0.3	2	27	18	71	0.02	7.48	5	560	4	<2	3.4	0.74	14	58	6	2	2.62	16	<1	<5	2.52	37
C-35	17319	486624	4636513	28	10	0.4	30	<0.3	<1	61	31	129	0.02	7.31	9	620	4	<2	4.3	1.19	13	124	6	1	2.88	13	<1	<5	2.29	38
C-36	17320	486764	4636331	54	35	<0.3	22	<0.3	3	47	24	121	0.04	7.17	9	650	3	<2	6.6	1.64	11	95	6	1	2.93	15	<1	<5	1.94	36
C-37	17321	485378	4637177	87	38	<0.3	31	<0.3	<1	41	27	143	0.04	7.39	9	590	3	<2	8.3	0.94	11	68	6	1	3.04	16	<1	<5	1.99	44
C-38	17322	490650	4637387	33	<2	<0.3	33	<0.3	<1	45	40	115	0.02	7.87	21	630	4	<2	10	0.57	18	88	9	2	4.49	10	<1	<5	1.6	66
C-39	17323	489048	4636193	52	<2	<0.3	30	<0.3	2	88	24	140	0.2	7.24	6	760	3	<2	2.4	1.44	11	119	8	2	3.14	21	<1	<5	1.93	36
C-40	17324	488493	4637685	85	78	1.8	118	<0.3	3	105	41	280	0.15	6.82	11	620	3	<2	6.9	2.29	15	126	8	1	3.61	13	<1	<5	2.11	42
C-41	17325	488468	4637838	47	<2	<0.3	58	<0.3	6	55	111	241	0.23	6.91	16	470	3	<2	7.7	1.14	15	308	8	1	3.76	13	<1	<5	1.93	43
C-42	17326	488912	4638264	19	<2	<0.3	22	<0.3	1	35	18	91	0.03	6.85	11	480	3	<2	5.8	1.47	11	54	8	1	2.34	12	<1	<5	2.06	33
C-43	17327	488944	4638242	20	<2	<0.3	15	<0.3	<1	26	15	61	0.01	6.23	7	<50	3	<2	7.5	0.4	9	49	6	1	1.76	14	<1	<5	1.97	32
C-44	17328	490255	4637764	46	<2	<0.3	44	<0.3	1	63	32	114	0.02	6.13	16	600	3	<2	7.5	0.51	17	81	8	1	3.72	11	<1	<5	1.71	56
C-45	17329	489537	4638435	13	<2	<0.3	11	<0.3	<1	25	8	42	<0.01	6.18	8	<50	3	<2	5.2	0.28	7	28	6	1	1.11	12	<1	<5	2.08	23
C-46	17330	491168	4637127	31	21	<0.3	28	<0.3	1	25	31	93	0.03	7.51	9	690	4	<2	7.4	0.55	14	81	8	2	3.68	12	<1	<5	1.54	57
C-47	17331	491544	4636316	27	<2	<0.3	14	<0.3	1	34																				

ID camp	Nº Lab.	UTM X	UTM Y	Mg	Mn	Na	P	Rb	Sb	Sc	Se	Sr	Ta	Ti	Th	U	V	W	Y	La	Ce	Nd	Sm	Sn	Tb	Yb	Lu	Mass
				(%) (b)	(b)	(%) (a)	(%) (b)	(a)	(a)	(a)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(a)	(b)	(a)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
C-1	17285	491858	4635831	0.59	601	1.74	0.077	140	0.9	10.6	< 3	103	< 0.5	0.24	23.4	6	52	< 1	32	56.3	108	52	9.7	< 0.01	1.2	4.5	0.28	7.35
C-2	17286	491874	4635909	0.36	390	1.96	0.055	232	0.7	8.6	< 3	80	< 0.5	0.28	19.7	6.7	46	< 1	31	40.2	79	31	7.9	< 0.01	1.1	4.6	0.28	6.92
C-3	17287	493058	4635806	0.62	1460	1.71	0.085	270	0.5	13	< 3	89	< 0.5	0.38	23.9	6.4	76	< 1	44	62.4	129	64	11.9	< 0.01	1.1	5.7	0.32	6.79
C-4	17288	492786	4635325	0.59	454	2.68	0.113	206	0.4	8.7	< 3	148	< 0.5	0.33	47.8	7.8	51	< 1	37	108	202	122	15.4	< 0.01	< 0.5	5.2	0.32	8.4
C-5	17289	491657	4635203	0.61	340	1.39	0.06	136	0.9	10.6	< 3	104	< 0.5	0.37	21.4	5.1	62	< 1	28	58.4	110	57	9.2	< 0.01	2.1	3.8	0.2	6.64
C-6	17290	493331	4637951	0.25	607	2.55	0.025	217	0.5	7	< 3	40	< 0.5	0.24	26.6	14.9	36	< 1	44	37	91	48	15.5	< 0.01	3.3	6.7	0.51	8.11
C-7	17291	493230	4637940	0.28	1370	1.94	0.03	198	0.8	7.5	< 3	47	< 0.5	0.22	21.2	20.6	40	< 1	44	33.7	74	43	10.7	< 0.01	1.7	6.7	0.54	7.04
C-8	17292	493167	4637509	0.28	723	1.99	0.026	270	1.1	8.7	< 3	50	< 0.5	0.26	28.6	16.3	42	< 1	43	36.6	89	51	13.9	< 0.01	2.1	7.4	0.52	6.8
C-9	17293	493048	4637513	0.24	234	2.59	0.027	383	0.9	6.7	< 3	48	< 0.5	0.2	15.6	12.6	32	< 1	32	24.4	55	27	6.7	< 0.01	0.8	4.9	0.35	7.34
C-10	17294	493086	4637377	0.42	1380	1.88	0.044	499	1.1	12.2	< 3	53	< 0.5	0.22	28	19.2	55	< 1	49	33.4	77	36	11	< 0.01	1.2	6.4	0.46	6.47
C-11	17295	493268	4637385	0.22	186	2.37	0.025	211	0.8	6.5	< 3	46	< 0.5	0.22	14.3	6.5	33	< 1	29	24.8	54	21	6.3	< 0.01	0.9	4.4	0.31	8.37
C-12	17296	492974	4636847	0.42	529	1.75	0.037	296	0.6	10.3	< 3	57	< 0.5	0.22	18.3	10.4	52	< 1	30	33.3	65	38	7.4	< 0.01	1.8	4.4	0.3	7.03
C-13	17297	495118	4635093	0.49	883	1.72	0.049	148	0.4	9.1	< 3	95	< 0.5	0.33	26.3	7.4	49	< 1	37	61.4	126	67	11.9	< 0.01	1.2	5	0.31	8.97
C-14	17298	495237	4634984	0.54	389	1.34	0.055	104	0.8	11.1	< 3	94	< 0.5	0.34	23.4	10.1	54	< 1	31	62.6	110	39	10.6	< 0.01	2.2	4.4	0.25	7.7
C-15	17299	495748	4635361	0.51	386	1.51	0.048	153	0.5	10	< 3	92	< 0.5	0.22	24.3	5.1	44	< 1	29	56.8	107	63	9.5	< 0.01	1.3	3.8	0.24	8.61
C-16	17300	495875	4635268	0.57	685	1.5	0.06	109	0.8	10.9	< 3	111	< 0.5	0.35	32.1	24.8	60	< 1	56	101	166	125	17.8	< 0.01	3.5	6.2	0.4	7.03
C-17	17301	496611	4635848	0.6	316	1.43	0.061	252	0.5	13.1	< 3	71	< 0.5	0.46	22.1	8.5	73	< 1	21	51.9	96	34	8.4	< 0.01	< 0.5	3.7	0.22	8.1
C-18	17302	497222	4635814	0.68	416	1.41	0.06	144	0.8	11.2	< 3	105	< 0.5	0.39	34	5	68	< 1	32	77.3	150	91	11.7	< 0.01	1.6	4.2	0.24	7.91
C-19	17303	497403	4635967	0.6	468	1.69	0.079	172	0.7	10.3	< 3	128	< 0.5	0.32	42	5.1	54	< 1	39	89.6	162	108	13.4	< 0.01	< 0.5	4.1	0.27	8.74
C-20	17304	497487	4636180	0.62	450	1.25	0.047	226	0.7	11.8	< 3	94	< 0.5	0.2	23.6	6.7	40	< 1	29	58.5	118	55	9.4	< 0.01	1.1	3.8	0.21	8.95
C-21	17305	494803	4635965	0.4	464	1.76	0.025	222	0.9	9.9	< 3	65	< 0.5	0.3	22.7	14	50	< 1	39	40.2	94	73	11.9	< 0.01	1.4	6.6	0.44	7.02
C-22	17306	493207	4635263	0.6	305	1.89	0.054	142	1	10	< 3	126	< 0.5	0.29	28.1	7	44	< 1	40	78.8	142	82	12.9	< 0.01	1.1	4.5	0.31	7.6
C-23	17307	493189	4635455	0.52	907	1.84	0.073	147	1.1	9.9	< 3	98	< 0.5	0.39	59	7	61	32	47	118	240	109	25.1	< 0.01	2.1	7.1	0.5	8.13
C-24	17308	494190	4636769	0.33	478	2.25	0.019	323	1.2	8.2	< 3	51	6.4	0.17	16.9	5.4	35	< 1	31	28.6	66	20	7.6	< 0.01	1.7	4.8	0.32	8.15
C-25	17309	494484	4637782	0.23	296	2.4	0.012	241	1	6.4	< 3	60	< 0.5	0.12	15.1	10.4	15	< 1	30	27.6	65	17	6.3	< 0.01	1.6	5.7	0.36	8.06
C-26	17310	491465	4635641	0.54	993	1.84	0.061	225	1.1	10.2	< 3	86	< 0.5	0.36	23	10.1	68	< 1	37	47.1	89	37	8.8	< 0.01	1.5	4.4	0.31	7.53
C-27	17311	492412	4638194	0.28	267	2.09	0.027	200	0.5	7.8	< 3	38	< 0.5	0.21	21.4	44.5	38	< 1	31	28.7	68	24	7.7	< 0.01	1.5	6.7	0.55	7.67
C-28	17312	491478	4635993	0.64	458	1.88	0.076	201	0.8	13.4	< 3	128	< 0.5	0.47	39.8	10.1	72	< 1	38	89.4	173	87	14.1	< 0.01	< 0.5	5.4	0.3	7.41
C-29	17313	491054	4636096	0.64	379	1.49	0.075	136	0.9	12.2	< 3	102	< 0.5	0.35	29	8.4	66	< 1	35	67.3	126	92	10.7	< 0.01	2.1	4	0.28	8.15
C-30	17314	490464	4636020	0.89	936	1.3	0.112	175	1.1	13.5	< 3	120	< 0.5	0.32	24.2	4.5	73	< 1	35	60.8	121	72	10.1	< 0.01	< 0.5	3.5	0.2	7.17
C-31	17315	490611	4635691	0.6	874	1.6	0.068	182	1	10.9	< 3	106	< 0.5	0.31	31.7	8.4	59	< 1	32	72.3	143	93	12.3	< 0.01	< 0.5	4.7	0.28	7.6
C-32	17316	492829	4634378	0.53	386	1.51	0.051	184	0.6	10	< 3	98	< 0.5	0.2	22.7	8.2	40	< 1	26	53.7	101	38	8.7	< 0.01	0.8	3.7	0.21	8.47
C-33	17317	489138	4634375	0.46	810	1.84	0.059	155	0.8	8.8	< 3	98	< 0.5	0.15	51.4	7	28	10	45	97.9	197	103	20.3	< 0.01	< 0.5	6.2	0.56	9.57
C-34a	17318	486510	4634841	0.48	825	1.76	0.058	138	1	9.3	< 3	100	< 0.5	0.34	29.8	4.4	57	< 1	29	64.9	125	71	11.2	< 0.01	< 0.5	4.3	0.43	8.83
C-34b	17318	486510	4634841	0.45	521	1.85	0.053	180	0.3	8.7	< 3	104	< 0.5	0.22	33.9	4.6	37	< 1	32	74.4	146	93	12.5	< 0.01	< 0.5	5	0.47	9.66
C-35	17319	486624	4636513	0.43	704	1.58	0.073	184	1.2	9.8	< 3	84	< 0.5	0.23	31.4	7.1	47	10	33	60.5	129	80	16.2	< 0.01	2	5.5	0.45	9.8
C-36	17320	486764	4636331	0.45	522	1.55	0.099	200	0.8	9.3	< 3	118	< 0.5	0.35	36.5	8.1	58	< 1	28	74.9	140	75	12.5	< 0.01	< 0.5	3.8	0.34	9.19
C-37	17321	485378	4637177	0.5	403	1.28	0.085	132	1.2	10.9	< 3	95	< 0.5	0.28	25.9	4.1	59	< 1	29	56	107	59	10	< 0.01	< 0.5	4.3	0.41	8.05
C-38	17322	490650	4637387	0.75	524	0.77	0.052	176	0.9	14.9	< 3	83	< 0.5	0.12	17.7	3.1	44	< 1	27	51.4	96	53	9	< 0.01	< 0.5	3.6	0.29	7.87
C-39	17323	489048	4636193	0.43	479	1.65	0.152	180	0.6	9.7	< 3	124	< 0.5	0.37	102	7.2	54	< 1	45	192	363	174	30.6	< 0.01	< 0.5	6.3	0.58	9.56
C-40	17324	488493	4637685	0.54	894	1.37	0.112	153	2.2	10.4	< 3	115	< 0.5	0.32	24.1	7.1	63	< 1	29	55.4	111	60	12	< 0.01	2	4.3	0.39	8.48
C-41	17325	488468	4637838	0.49	499	1.24	0.145	151	2.4	11	< 3	83	< 0.5	0.37	16.1	7.4	80	< 1	29	41.4	87	52	8.7	< 0.01	2.4	4.7	0.45	7.39
C-42	17326	488912	4638264	0.35	690	1.63	0.046	219	1	8	< 3	71	< 0.5	0.24	16.9	6.9	44	< 1	28	35.4	82	35	8.3	< 0.01	1.2	5.1	0.5	8.41
C-43	17327	488944	4638242	0.28	448	1.72	0.036	188	1.1	7	< 3	57	< 0.5	0.26	16.4	5.8	38	< 1	28	34.9	73	63	8.3	< 0.01	2	4.9	0.52	9.62
C-44	17328	490255	4637764	0.53	712	1.09	0.05	158	2	12.5	< 3	70	< 0.5	0.46	17.6	3.6	90	< 1	24	44.1	94	45	9.1	< 0.01	0.9	4.5	0.41	9.06
C-45	17329	489537	4638435	0.15	435	2.29	0.026	260	0.9	4.7	< 3	39	< 0.5	0.19	12.6	5.8	24	< 1	26	22.4	48	19	5.8					

ANNEX 1.2 Estadística descriptiva univariant

	Unitat mesura	Num. mostres	Tendència central			Dispersió				Forma		Distrib. Estadist.
			Mitjana x	Mediana P ₅₀	Mitjana Geo. x*	Min	Max	IQR	Sd.	Asim.	Curt.	
Al	%	61	7.25	7.31	7.23	5.99	8.80	0.70	0.596	-0.07	3.01	Normal
K	%	61	2.08	2.08	2.07	1.54	2.55	0.22	0.210	0.08	3.31	Normal
Na	%	61	1.71	1.71	1.67	0.77	2.68	0.43	0.379	0.39	3.39	Normal
Fe	%	61	2.86	2.93	2.74	1.11	4.54	0.97	0.778	-0.15	2.85	Normal
Ca	%	61	0.83	0.79	0.75	0.28	2.29	0.47	0.389	1.21	5.07	Lognormal
Mg	%	61	0.48	0.49	0.45	0.15	0.89	0.19	0.141	0	3.17	Normal
Ti	%	61	0.28	0.28	0.27	0.12	0.47	0.13	0.084	0.14	2.36	Bimodal
P	%	61	0.061	0.055	0.054	0.012	0.152	0.029	0.030	1.03	4.01	Lognormal
S	%	61	0.04	0.03	0.03	<0.01	0.23	0.02	0.044	3.03	11.93	Lognormal
Mn	ppm	61	567.7	478	516	186	1460	301	272	1.48	5.21	Lognormal
Au	ppb	61	7.20	1	2.14	<2	81	3	15.87	3.45	15.18	?
As	ppm	61	8.02	7.4	7.42	2.9	20.5	3.8	3.349	1.33	5.41	Lognormal
Ba	ppm	54	525	560	503.38	<50	440	85	139	-0.52	2.56	Bimodal
Be	ppm	61	3.89	4	3.78	3	7	1	0.968	1.12	3.87	?
Br	ppm	61	11.05	9.7	8.91	1.8	25.1	9.3	6.665	0.57	2.21	Bimodal
Co	ppm	61	11.14	11	10.25	<1	22	3	3.619	0.05	4.41	Normal
Cr	ppm	61	63.11	54	57.45	23	308	19	38.09	4.6	29.37	Lognormal
Cs	ppm	61	7.49	8	7.32	5	13	2	1.649	0.73	3.67	Lognormal
Cu	ppm	61	21.64	17	18.66	9	118	14	15.95	3.93	23.24	Lognormal
Hf	ppm	61	13.25	13	12.87	8	21	4	3.171	0.33	2.62	Lognormal
Li	ppm	61	42.64	43	41.64	23	66	13	9.194	0.21	2.67	Lognormal
Hg	ppb	61	38.36	33	34.26	13	113	20	20.15	1.69	6.21	Lognormal
Mo	ppm	61	2.97	2	1.55	<1	31	2.5	5.157	3.93	19.2	?
Ni	ppm	61	20.93	18	19	8	111	7	13.41	5.15	34.68	Lognormal
Pb	ppm	61	35.10	29	32.38	17	105	10	17.04	2.23	7.92	Lognormal
Rb	ppm	61	187.44	180	177.59	85	499	77	68.81	1.99	8.99	Lognormal
Sb	ppm	61	0.95	0.9	0.87	0.3	2.4	0.4	0.420	1.52	5.70	Lognormal
Sc	ppm	61	9.97	9.9	9.75	4.7	14.9	2.2	2.053	-0.02	3.09	Normal
Sr	ppm	61	91.07	95	86.39	38	148	40	27.20	-0.34	2.23	Bimodal
Th	ppm	61	28.00	24.1	25.84	12.6	102	11.2	13.60	2.96	15.75	Lognormal
U	ppm	61	8.81	7.1	7.64	3.1	44.5	4.7	6.250	3.56	19.23	Lognormal
V	ppm	61	50.75	51	48.62	15	90	19	14.22	0.20	3.17	Normal
Y	ppm	61	33.25	31	32.59	21	56	8	6.956	1.03	3.74	Lognormal
Zn	ppm	61	89.79	75	80.31	35	280	29	49.62	2.12	7.71	Lognormal
RRE	ppm	61	260	233.3	240.43	102.8	768.2	132.4	111.8	1.77	8.39	Lognormal

Glosari:

- Min.: valor mínim de concentració
- Max.: valor màxim de concentració
- IQR: *Inter-quantile range*
- Sd.: desviació estàndard
- Asim.: coeficient d'asimetria
- Curt.: curtosis
- x*: mitjana geomètrica
- x: mitjana aritmètica
- RRE: *Rare Earth Elements*. Terres rares, com a suma de les concentracions de **La, Ce, Nd, Sm, Tb, Yb, Lu, Eu**

Els següents elements no han pogut tractar-se estadísticament perquè totes les mesures s'han trobat per sota del llindar de detecció analític.

Ag, Bi, Ir, Se, Ta, W, Sn, Cd

ANNEX 1.3. Anàlisi estadístic univariant

Degut a la seva extensió, aquest annex s'ha de consultar en el document electrònic adjunt a aquesta memòria amb el mateix títol que aquest apartat.

ANNEX 2. GRANULOMETRIA DE MOSTRES DE SEDIMENT

Degut a la seva extensió, aquest annex s'ha de consultar en el document electrònic adjunt a aquesta memòria amb el mateix títol que aquest apartat.

ANNEX 3. DESCRIPCIÓ I CARACTERÍSTIQUES DELS PUNTS DE MOSTREIG

Degut a la seva extensió, aquest annex s'ha de consultar en el document electrònic adjunt a aquesta memòria amb el mateix títol que aquest apartat.

ANNEX 4. CARTOGRAFIA I DADES GEORREFERENCIADAES DE LA ZONA