

5 Monografies
tècniques

Geoquímica ambiental a Catalunya

Recull d'articles

Barcelona, 2016



 **ICGC**
Institut
Cartogràfic i Geològic
de Catalunya

 Generalitat de Catalunya
Departament de Territori
i Sostenibilitat

Geoquímica ambiental a Catalunya

Geoquímica ambiental a Catalunya

REULL D'ARTICLES

BARCELONA
2016



Geoquímica ambiental a Catalunya : recull d'articles – (Monografies tècniques ; 5)
Referències bibliogràfiques
ISBN 9788439394716
I. Vilà Planella, Miquel, ed. II. Herms Canellas, Ignasi, ed. III. Cirés Fortuny, Jordi, ed. IV. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya V. Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat VI. Col·lecció: Monografies tècniques (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya) ; 5
1. Geoquímica ambiental – Catalunya
550.4:502/504(460.23)(082)

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

Jaume Miranda i Canals, Director General
Antoni Roca i Adrover, Subdirector de Geofísica i Sismologia
Joan Palau i Ramírez, Subdirector de Geologia i Geotècnia

Coordinació científica i tècnica

Miquel Vilà Planella | Àrea de Geologia i Recursos
Ignasi Herms Canellas | Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya
Jordi Cirés Fortuny

Preimpresió:

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

Impressió:

Fotoletra SA

Coberta: Vista de la plana fluvial del riu Llobregat a l'àmbit de Sant Andreu de la Barca. En aquesta zona periurbana s'observa que el paisatge està fortament antropitzat a conseqüència del desenvolupament de diferents activitats relacionades amb la indústria, les comunicacions, l'habitatge o l'agricultura. Des d'un punt de vista químic, aquestes activitats condicionen la qualitat del medi i la geoquímica ambiental és una eina que en ens pot ajudar a fer-lo sostenible.

Referència bibliogràfica del conjunt de l'obra:

Vilà, M., Herms, I., Cirés J. (Eds.) 2016. *Geoquímica ambiental a Catalunya. Recull d'articles*. Monografies tècniques de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, núm. 5, 296 pp.

Referència bibliogràfica d'un article:

Fernández-Turiel, J., Rejas, M., Rodríguez-González, A., Lobo, A., 2016. Geoquímica dels sediments de la xarxa de drenatge del riu Garona a la Val d'Aran. A: Vilà, M., Herms, I., Cirés J., (Eds.) 2016. *Geoquímica ambiental a Catalunya. Recull d'articles*. Monografies tècniques de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, núm. 5, art. 5, 296 pp.

Avis d'exempció de responsabilitat:

El contingut dels articles, així com les afirmacions i les conclusions que se'n deriven són responsabilitat dels autors. En cap cas reflecteix la posició oficial de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.



Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, 2016

Els articles 1, 8, 9, 10 i 18 inclouen figures i taules reimpresses de revistes científiques que estan sotmeses a les condicions de *Copyright*.

1a edició: desembre 2016

D.L.: B. 23 104-2016
ISBN: 978-84-393-9471-6

Índex

Pròleg 11

Jaume Miranda

Introducció 13

Miquel Vilà, Ignasi Herms, Jordi Cirés

1. **L'efecte de l'augment de les concentracions de CO₂ en la mobilitat de metalls traça** 17
Jordi Bruno, Lara Duro, Mireia Grivé, Joan de Pablo, Ignasi Casas
2. **Distribució d'elements traça en sòls superficials de Catalunya: valors de fons i referència i relació amb la geologia regional** 25
Xavier Martínez-Lladó, Miquel Vilà, Vicens Martí, Miquel Rovira, Joan de Pablo
3. **Alguns indicadors de la qualitat dels sòls de Catalunya** 45
Emilio Ascaso, Marc Vicens, Patricia López, Ignasi Herms
4. **Contingut, distribució i biodisponibilitat d'elements traça als sòls de Catalunya: alguns exemples** 61
Núria Roca, Jaume Bech
5. **Geoquímica dels sediments de la xarxa de drenatge del riu Garona a la Val d'Aran** 73
José Luis Fernández-Turiel, Marta Rejas, Alejandro Rodríguez-González, Agustín Lobo
6. **Composició isotòpica de l'oxigen (¹⁸O/¹⁶O) en els feldspats i el quars dels granitoides hercinians: Guillerics-Montseny i Pirineus Orientals** 83
Carles Fàbrega, David Parcerisa, David Gòmez-Gras, Anna Travé, Christine Franke, Andrey Gurenko
7. **Fluor a les aigües superficials del massís del Montseny-Guillerics** 97
Xavier Font, Andrés Navarro, Jordi Cirés, Manuel Viladevall
8. **Geoquímica de l'arsènic al sistema geotèrmic de Caldes de Malavella** 109
Àngels Piqué, Fidel Grandia, Àngels Canals
9. **Identificació de fluxos subterranis regionals en la recàrrega d'aqüífers en depressions tectòniques mitjançant l'ús de dades geoquímiques: el cas de la Selva (Girona)** 125
Anna Menció, Albert Folch, Josep Mas-Pla
10. **Variabilitat geoquímica del substrat de la conca del riu Congost** 143
Miquel Vilà, Xavier Martínez-Lladó
11. **Caracterització de les anomalies geoquímiques dels sòls i les aigües subterrànies de la zona central de la conca del riu Besòs** 161
Andrés Navarro, Xavier Font

- 12. Hidroquímica i contaminació dels aqüífers urbans de l'àrea de Barcelona** 173
Enric Vázquez-Suñé, Rotman Criollo, Isabel Tubau, Anna Jurado, Isabel Anson, Albert Soler,
Jesús Carrera, María José Chesa, Sílvia Burdons, Ramón Arandes, Mireia Iglesias
- 13. Anàlisi isotòpica de compostos específics per a controlar l'atenuació induïda en aigües subterrànies contaminades per fonts puntuals** 187
Carme Audí-Miró, Clara Torrentó, Mònica Rosell, Neus Otero, Jordi Palau,
Massimo Marchesi, Albert Soler
- 14. La geoquímica multiisotòpica com a eina de control de l'origen i l'atenuació natural o induïda de la contaminació per nitrats a les aigües subterrànies** 197
Roger Puig, Neus Otero, Clara Torrentó, Georgina Vidal-Gavilán, Raúl Carrey,
Paula Rodríguez-Escales, Anna Menció, Albert Folch, Joan Bach, Josep Mas-Pla, Albert Soler
- 15. Geoquímica orgànica ambiental de sistemes aquàtics a Catalunya** 207
Josep Basas-Jaumandreu, Francesc Xavier de las Heras
- 16. Geoquímica de sòls i aigües en l'àmbit dels projectes de dipòsits controlats** 217
Fidel Ribera
- 17. Caracterització geoquímica i assajos de fitoremediació dels sediments de la desembocadura del Llobregat** 225
Amparo Cortés, Daniel Fernández
- 18. Plantes acumuladores de metalls i metal·loides als sòls de mines de Catalunya: alguns estudis** 235
Núria Roca, Jaume Bech
- 19. Geoquímica ambiental de la zona minera d'Anglès (Osor-Bonmatí): caracterització de sòls, residus i aigües contaminades** 247
Andrés Navarro, Xavier Font, Manuel Viladevall
- 20. Caracterització geoquímica dels llots de flotació i dels lixiviatos de les Mines de Cierco, Alta Ribagorça: implicacions ambientals** 257
Jordi Pinyol, Albert Soler
- 21. L'ús de la geoquímica en la restauració de l'impacte ambiental de la mineria de potasses: el cas del runam de Vilafruns** 277
Jordi Palau, Neus Otero, Fidel Ribera, Helena Dorca, Roger Puig, Roberto Espinola, Albert Soler
- 22. L'evolució dels residus radioactius en un emmagatzematge geològic profund: què podem aprendre de l'estudi dels anàlegs naturals?** 287
Ignasi Casas, Lara Duro, Jordi Bruno, Joan de Pablo

Autors

Isabel Anson	GHS, Institute of Environmental Assessment & Water Research (IDAEA-CSIC), c/ Jordi Girona 18, 08034 Barcelona
Ramón Arandes	Barcelona Cicle de l'Aigua SA (BCASA), c/ Acer 16, 08038 Barcelona
Emilio Ascaso	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Àrea de Geologia i Recursos, Parc de Montjuïc, Barcelona 08038
Carme Audí-Miró	Grup de Mineralogia Aplicada i Geoquímica de Fluids. Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, Facultat de Ciències de la Terra, c/ Martí i Franques s/n, 08028 Barcelona
Joan Bach	Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA), Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, 08193 Cerdanyola del Vallès
Josep Basas-Jaumandreu	Departament d'Enginyeria Minera, Industrial i TIC, Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa, Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Bases de Manresa 61-73, 08242 Manresa
Jaume Bech	Departament de Biologia Vegetal, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona, Av. Diagonal 643, 08028 Barcelona
Jordi Bruno	Amphos 21 Consulting SL, Passeig de Garcia i Fària 49-51, 08019 Barcelona
Sílvia Burdons	Barcelona Cicle de l'Aigua SA (BCASA), c/ Acer 16, 08038 Barcelona
Àngels Canals	Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, Facultat de Ciències de la Terra, c/ Martí i Franques s/n, 08028 Barcelona
Jesús Carrera	GHS, Institute of Environmental Assessment & Water Research (IDAEA-CSIC), c/ Jordi Girona 18, 08034 Barcelona
Raúl Carrey	Grup de Mineralogia Aplicada i Geoquímica de Fluids. Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, Facultat de Ciències de la Terra, c/ Martí i Franques s/n, 08028 Barcelona
Ignasi Casas	Departament d'Enginyeria Química, Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona
María José Chesa	Barcelona Cicle de l'Aigua SA (BCASA), c/ Acer 16, 08038 Barcelona
Jordi Cirés	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Àrea de Geologia i Recursos, Parc de Montjuïc, 08038 Barcelona
Amparo Cortés	S.D. Edafologia, Facultat de Farmàcia i Ciències de l'Alimentació, Universitat de Barcelona, c/ Joan XXIII s/n, 08028 Barcelona
Rotman Criollo	GHS, Institute of Environmental Assessment & Water Research (IDAEA-CSIC), c/ Jordi Girona 18, 08034 Barcelona
Joan de Pablo	Departament d'Enginyeria Química, Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona
Francesc Xavier de las Heras	Departament d'Enginyeria Minera, Industrial i TIC, Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa, Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Bases de Manresa 61-73, 08242 Manresa
Helena Dorca	Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS), Provença 102, 08029 Barcelona
Lara Duro	Amphos 21 Consulting SL, Passeig de Garcia i Fària 49-51, 08019 Barcelona
Roberto Espinola	Agencia Catalana de l'Aigua (ACA), c/ Provença 204-208, 08036 Barcelona
Carles Fàbrega	Departament d'Enginyeria Minera, Industrial i TIC, Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa, Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Bases de Manresa 61-73, 08242 Manresa

Daniel Fernández	Geòleg independent, c/ Fèlix Amat 3 esc. c 3er-2a, 08030 Barcelona
José Luis Fernández-Turiel	Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera (ICTJA-CSIC), c/ Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona
Albert Folch	Grup d'Hidrologia Subterrània, Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya-Barcelona Tech, 08034 Barcelona
Xavier Font	Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, Facultat de Ciències de la Terra, c/ Martí i Franques s/n, 08028 Barcelona
Christine Franke	Mines ParisTech, Geosciences, 35 rue St. Honoré, 77305 Fontainebleau, França
David Gòmez-Gras	Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, Campus UAB, 08193 Bellaterra
Fidel Grandia	Amphos 21 Consulting SL, Passeig de Garcia i Fària 49-51, 08019 Barcelona
Mireia Grivé	Amphos 21 Consulting SL, Passeig de Garcia i Fària 49-51, 08019 Barcelona
Andy Gurenko	Centre de Recherches Péetrographiques et Géochimiques, UMR 7358, Université de Lorraine, 15 rue Notre-Dame des Pauvres, BP 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, França
Ignasi Herms	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Àrea de Geologia i Recursos, Parc de Montjuïc, 08038 Barcelona
Mireia Iglesias	Agència Catalana de l'Aigua (ACA), Provença 204-208, 08036 Barcelona
Anna Jurado	GHS, Institute of Environmental Assessment & Water Research (IDAEA-CSIC), c/ Jordi Girona 18, 08034 Barcelona
Agustín Lobo	Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera (ICTJA-CSIC), c/ Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona
Patricia López	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Àrea de Geologia i Recursos, Parc de Montjuïc, 08038 Barcelona
Massimo Marchesi	Politecnico di Milano, Department of Civil and Environmental Engineering, Piazza Leonardo da Vinci, 20133 Milano, Itàlia
Vicenç Martí	Departament d'Enginyeria Química, Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona
Xavier Martínez-Lladó	Àrea de Tecnologia Ambiental, Fundació CTM Centre Tecnològic, Plaça de la Ciència 2, 08243 Manresa
Josep Mas-Pla	Grup de Recerca en Geologia Aplicada i Ambiental (GAiA), Centre de Geologia i Cartografia Ambiental (Geocamb), Departament de Ciències Ambientals, Universitat de Girona, 17071 Girona.
Anna Menció	Grup de Recerca en Geologia Aplicada i Ambiental (GAiA), Centre de Geologia i Cartografia Ambiental (Geocamb), Departament de Ciències Ambientals, Universitat de Girona, 17071 Girona
Andrés Navarro	Departament de Mecànica de Fluids (ETSEIAT), Universitat Politècnica de Catalunya, c/ Colón 7-11, 08222 Terrassa
Neus Otero	Grup de Mineralogia Aplicada i Geoquímica de Fluids. Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, Facultat de Ciències de la Terra, c/ Martí i Franques s/n, 08028 Barcelona
Jordi Palau	Grup de Mineralogia Aplicada i Geoquímica de Fluids. Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, Facultat de Ciències de la Terra, c/ Martí i Franques s/n, 08028 Barcelona
David Parcerisa	Departament d'Enginyeria Minera, Industrial i TIC, Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa, Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Bases de Manresa 61-73, 08242 Manresa
Jordi Pinyol	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Unitat de Prevenció de Riscos Geològics, Parc de Montjuïc, 08038 Barcelona
Àngels Piqué	Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, Facultat de Ciències de la Terra, c/ Martí i Franques s/n, 08028 Barcelona

Roger Puig	Grup de Mineralogia Aplicada i Geoquímica de Fluids. Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, Facultat de Ciències de la Terra, c/ Martí i Franques s/n, 08028 Barcelona
Marta Rejas	Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera (ICTJA-CSIC), c/ Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona
Fidel Ribera	Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS), Provença 102, 6ª planta, 08029 Barcelona
Núria Roca	Departament de Biologia Vegetal, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona, Av. Diagonal 643, 08028 Barcelona
Paula Rodríguez-Escales	Grup d'Hidrologia Subterrània (GHS), Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya-Barcelona Tech, c/ Jordi Girona 1-3, Mòdul D-2, 08034 Barcelona
Alejandro Rodríguez-González	Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (i-UNAT), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), 35017 Las Palmas de Gran Canaria
Mònica Rosell	Grup de Mineralogia Aplicada i Geoquímica de Fluids. Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, Facultat de Ciències de la Terra, c/ Martí i Franques s/n, 08028 Barcelona
Miquel Rovira	Àrea de Tecnologia Ambiental, Fundació CTM Centre Tecnològic, Plaça de la Ciència 2, 08243 Manresa
Albert Soler	Grup de Mineralogia Aplicada i Geoquímica de Fluids. Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, Facultat de Ciències de la Terra, c/ Martí i Franques s/n, 08028 Barcelona
Clara Torrentó	Université de Neuchâtel. CHYN-Centre d'Hydrogéologie. Rue Emile-Argand 11, CH-2000 Neuchâtel, Suisse
Anna Travé	Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, Facultat de Ciències de la Terra, c/ Martí i Franques s/n, 08028 Barcelona
Isabel Tubau	GHS, Institute of Environmental Assessment & Water Research (IDAEA-CSIC), c/ Jordi Girona 18, 08034 Barcelona
Enric Vázquez-Suné	GHS, Institute of Environmental Assessment & Water Research (IDAEA-CSIC), c/ Jordi Girona 18, 08034 Barcelona
Marc Vicens	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Àrea de Geologia i Recursos, Parc de Montjuïc, 08038 Barcelona
Georgina Vidal-Gavilán	D'Enginy Biorem SL, Madrazo 68 bxs., 08006 Barcelona
Miquel Vilà	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Àrea de Geotècnia i Recursos, Parc de Montjuïc, 08038 Barcelona
Manuel Viladevall	Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, Facultat de Ciències de la Terra, c/ Martí i Franques s/n, 08028 Barcelona

Composició isotòpica de l'oxigen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) en els feldspats i el quars dels granitoides hercinians: Guilleries-Montseny i Pirineus Orientals

Carles Fàbrega¹, David Parcerisa^{1*}, David Gòmez-Gras², Anna Travé³, Christine Franke⁴, Andrey Gurenko⁵

Resum

En aquest estudi es presenta la composició isotòpica de l'oxigen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) de la plagiòclasi, el feldspat potàssic i el quars de quatre granitoides hercinians de les àrees de Guilleries-Montseny i dels Pirineus Orientals. Les determinacions s'han realitzat utilitzant dues tècniques: (1) micromostreig i anàlisi per fluorinació làser- CO_2 i (2) anàlisi *in situ* mitjançant microsonda iònica.

Les dades publicades dels valors isotòpics dels granitoides de Catalunya són escasses, evidenciant un buit en el coneixement de l'origen i dels mecanismes d'emplaçament del magma, així com de les interaccions entre aquests granitoides i els aqüífers que contenen. Els resultats d'aquest estudi permeten situar els granitoides tardohercinians dins el rang dels High $\delta^{18}\text{O}$ Magmas.

Paraules clau:

Granitoides tardohercinians, isòtops d'oxigen, microsonda iònica, fluorinació làser- CO_2

Abstract: Oxygen isotopic composition ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) of feldspar and quartz in the hercynian granitoids: Guilleries-Montseny and Eastern Pyrenees

The results of the oxygen isotopic composition ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) of plagioclase, potassium feldspar and quartz of four hercynian granitoids of the Guilleries-Montseny and Eastern Pyrenees are presented. Determinations were carried out applying two techniques: (1) microsampling and analysis by CO_2 -laser fluorination and (2) *in situ* analysis by ion microprobe.

The published isotopic values of catalan granitoids are scarce showing a lack on the knowledge concerning the origin and the emplacement mechanisms of the magmas and the interactions between these granitoids and the hosted aquifers as well. The results of this study situate the hercynian granitoids within the range of the High $\delta^{18}\text{O}$ Magmas.

Keywords:

Hercynian granitoids, oxygen isotopes, ion microprobe, CO_2 -laser fluorination

Introducció

Els granitoides del sòcol hercinià de Catalunya ocupen importants extensions a les Serralades Costaneres Catalanes i als Pirineus Orientals. Les dades disponibles de la composició isotòpica en oxigen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) dels seus minerals primaris es ceneixen a les anàlisis de Solé *et al.* (2002) en feldspats potàssics dels granitoides del Massís del Montnegre i Guilleries i, en el cas dels Pirineus, només hi ha dades de la zona de Queragut (França) (Fourcade i Javoy, 1991) corresponents a l'anàlisi isotòpica

¹ Departament d'Enginyeria Minera, Industrial i TIC, Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa, Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Bases de Manresa 61-73, 08242 Manresa

² Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, Campus UAB, 08193 Cerdanyola del Vallès

³ Departament de Mineralogia, Petrologia i Geologia Aplicada, Universitat de Barcelona, Facultat de Ciències de la Terra, c/ Martí i Franques s/n, 08028 Barcelona

⁴ Mines ParisTech, Geosciences, 35 rue St. Honoré, 77305 Fontainebleau, França

⁵ Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, UMR 7358, Université de Lorraine, 15 rue Notre-Dame des Pauvres, BP 20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, França

*dparcerisa@epsem.upc.edu

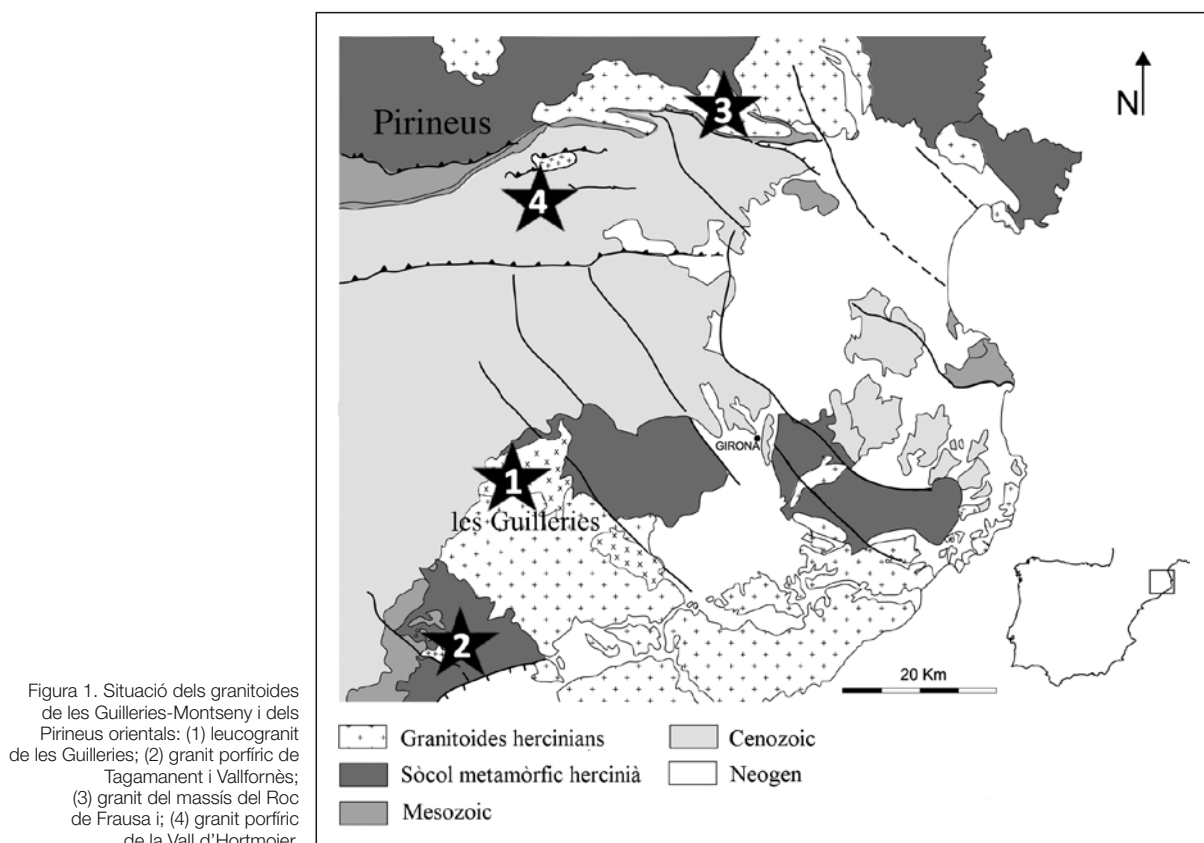
en la roca total. La causa d'aquesta escassetat d'estudis recau en la dificultat de realitzar anàlisis en cristalls que, sovint, presenten dimensions de mil·limètriques a submil·limètriques i que, freqüentment, han estat afectats per alteracions secundàries. Per obtenir un coneixement més profund sobre la petrogenèsi dels granitoides (p.ex. l'origen del magma o dels processos de cristallització) és important incrementar el volum de dades isotòpiques disponibles.

D'altra banda, els granitoides de les Guilleries-Montseny i dels Pirineus Orientals ocupen el substrat geològic d'una superfície considerable de les conques de drenatge i allotgen recursos hídrics significatius. El coneixement isotòpic dels granitoides pot ajudar en la comprensió de les característiques isotòpiques de les aigües superficials i subterrànies que hi interactuen. Amb aquestes idees es presenta un treball de determinació de la composició isotòpica ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) de la plagiòclasi, el feldspat potàssic i el quars dels granitoides de les Guilleries-Montseny i dels Pirineus Orientals.

Situació geogràfica i context geològic

Aquest estudi es focalitza en el leucogranit de les Guilleries que aflora al nord de l'àrea de Guilleries-Montseny, en el granit porfíric de Tagamanent i Vallfornès, que aflora al sud d'aquesta mateixa àrea, en el granit del Massís del Roc de Frausa, situat als Pirineus orientals, a l'est de la Jonquera i en el granit porfíric de la Vall d'Hortmoier, ubicat a l'Alta Garrotxa (Figura 1).

El leucogranit de les Guilleries ocupa una extensió superficial de ~75 km² dins del Massís de les Guilleries (Figura 1). A la part oest del massís, aflora entre la presa del Pantà de Sau i la meitat oest del Pantà de Susqueda en direcció oest-est i està exposat des de la base dels cingles de Tavertet fins al poble de Bojons en direcció nord-sud. El riu Ter travessa la part central del granit en direcció oest-est i la Riera Major el creua en direcció sud-nord al llarg i en paral·lel a la seva vora occidental. A la part sud-oriental de les Guilleries, el leucogranit aflora al nord-oest de Santa Coloma de Farners.



El granit porfíric de Tagamanent i Vallfornès aflora en una extensió de ~6 km² al vessant sud del Massís del Montseny (Figura 1), entre el Turó de Tagamanent (1058 m) i el Pantà de Vallfornès. El granit porfíric està travessat per diversos barrancs en direcció nord-sud que conflueixen i formen la Riera de Vallfornès a l'est i la Riera de Vallcàrquera a l'oest.

El granit del Massís del Roc de Frausa aflora al llarg de ~220 km² al vessant sud dels Pirineus Orientals (Figura 1). El granit està exposat entre la Jonquera i Sant Llorenç de Cerdans en direcció est-oest i entre el Roc de Frausa (1453 m) i el Pantà de Darnius-Boadella en direcció nord-sud. El riu Arnera creua pràcticament tota l'extensió del granit en direcció oest-est.

El granit porfíric de la Vall d'Hortmoier aflora al nord de la Garrotxa, en una franja de ~3 km² en direcció est-oest a l'interior de la Vall d'Hortmoier (Figura 1). La Riera de Beget travessa el granit en direcció oest-est.

Els granitoides de l'àrea de Guillerics-Montseny i dels Pirineus Orientals formen part del sòcol cristal·lí hercinià de les Serralades Costaneres Catalanes i dels Pirineus. Tots ells s'interpreten com a complexos plutònics tardohercínians emplaçats en nivells crustals superiors (Roberts *et al.* 2000; Vilà *et al.* 2005; Aguilar *et al.* 2014). Martínez *et al.* (2008) han proposat una edat d'emplaçament entre $305,3 \pm 1,9$ i $299,0 \pm 2,3$ Ma pel leucogranit de les Guillerics mitjançant datació U-Pb en zircons analitzats mitjançant SHRIMP-RG. Aplicant el mateix mètode de datació Aguilar *et al.* (2014) han determinat dues pulsions d'emplaçament a $314,2 \pm 1,5$ i $311,0 \pm 0,9$ Ma en els granits del Massís del Roc de Frausa (Pirineus Orientals).

Característiques petrològiques

Leucogranit de les Guillerics

El leucogranit de les Guillerics presenta textura fanerítica granular (Figura 2 a), essent els constituents principals quars, feldspat potàssic, plagiòclasi i biotita (Taula 1). Com a minerals accessoris apareixen inclusions de zircó i epidota a l'interior dels feldspats i apatita entre les làmines de la biotita. El quars forma cristalls subèdrics de 3 a 5 mm. La plagiòclasi forma cristalls euèdrics de 1 a 2 mm, amb zonació i maclat polisintètic freqüents. El feldspat potàssic presenta cristalls de 2 a 3 mm que sovint mostren macla de Carlsbad i micropertites. La biotita es troba en menor quantitat que el quars i els feldspats i forma cristalls euèdrics de 2 a 3 mm. Els minerals accessoris més usuals són les inclusions de zircó i epidota dins dels feldspats i d'apatita en la biotita.

Granit porfíric de Tagamanent i Vallfornès

El granit porfíric de Tagamanent i Vallfornès mostra una textura porfírica amb matriu fanerítica equigranular (Figura 2 b). Els fenocristalls de feldspat potàssic (1-3 cm) formen aproximadament un 10-15% del volum total del granit i no s'hi observa una orientació preferent. Normalment mostren macla de Carlsbad i inclusions submil·limètriques de cristalls prismàtics de plagiòclasi. Els minerals principals de la matriu són plagiòclasi, feldspat potàssic, quars i biotita (Taula 1). La plagiòclasi presenta cristalls euèdrics d'1 a 2 mm, normalment zonats i amb maclat polisintètic. El feldspat potàssic de la matriu forma petits cristalls anèdrics de menys d'1 mm juntament amb quantitats menors de quars. La biotita forma petits cristalls euèdrics d'1 a 2 mm. Com a minerals accessoris s'hi troben inclusions de zircó i epidota dins dels feldspats i apatita situada entre les làmines de la biotita.

Granit del Massís del Roc de Frausa

El granit del massís del Roc de Frausa presenta una textura fanerítica granular (Figura 2 c). Els minerals principals són feldspat potàssic, quars, plagiòclasi i biotita (Taula 1). La plagiòclasi presenta cristalls euèdrics d'1 a 3 mm, majoritàriament zonats i amb maclat polisintètic. El feldspat potàssic presenta

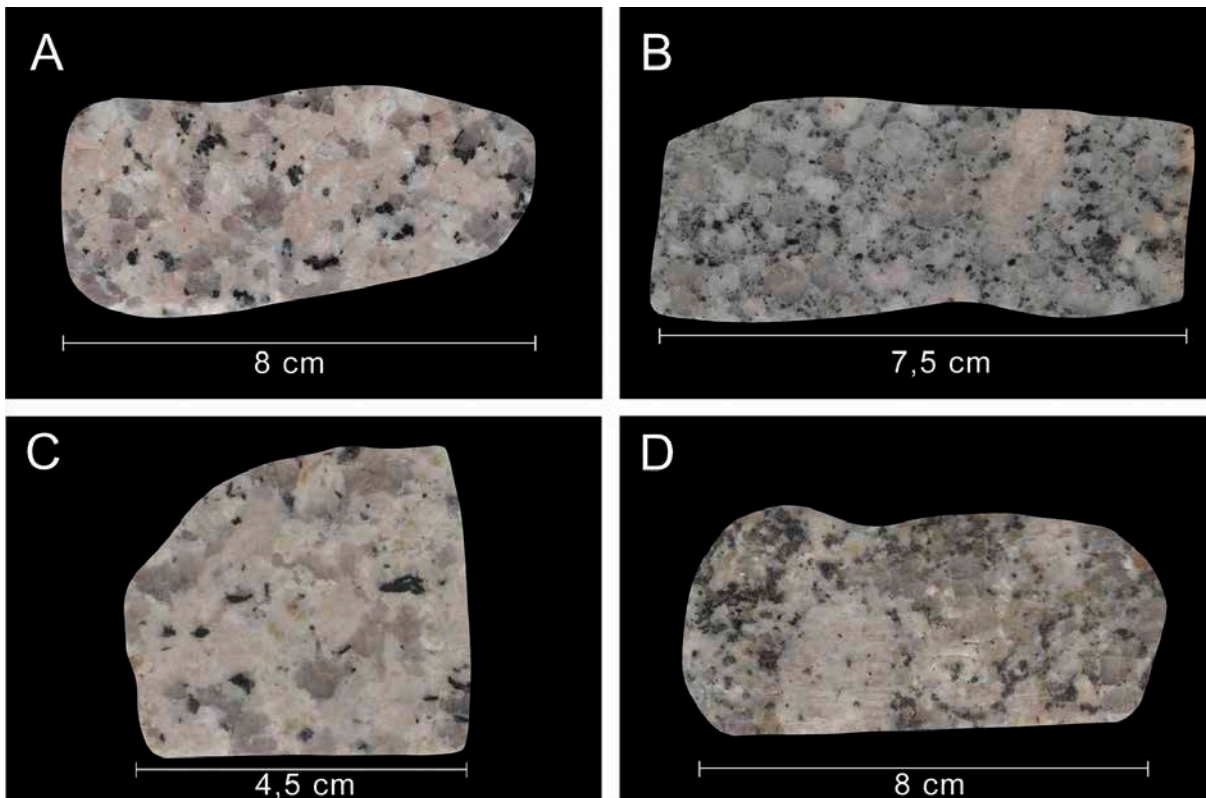


Figura 2. Aspecte a *visu* de les mostres dels granitoides: a) leucogranit de les Guilleries; b) granit porfíric de Tagamanent i Vallfornès; c) granit del massís del Roc de Frausa i d) granit porfíric de la Vall d'Hortmoier.

cristalls subèdrics de 2 a 4 mm normalment amb micropertites i criptopertites. El quars forma cristalls de 2 a 5 mm i és majoritàriament anhèdric. La biotita mostra cristalls euhèdrics d'1 a 2 mm. Els minerals accessoris més abundants són inclusions de zircó i epidota en els feldspats i d'apatita allotjada entre les làmines de la biotita.

Granit porfíric de la Vall d'Hortmoier

El granit porfíric de la Vall d'Hortmoier presenta una textura porfírica amb una matriu fanerítica equigranular (Figura 2 d). Els fenocristalls de feldspat potàssic (1-3 cm) formen aproximadament el 10-15% del volum total del granit i no mostren una orientació preferent. Usualment presenten macla de Carlsbad i inclusions submil·limètriques de cristalls prismàtics de plagiòclasi. Els minerals principals de la matriu són plagiòclasi, feldspat potàssic, quars i biotita (Taula 1). La plagiòclasi forma cristalls euèdrics zonats d'1-2 mm amb maclat polisintètic. El feldspat potàssic presenta cristalls subèdrics de mida inferior a la plagiòclasi (≤ 1 mm) amb abundants micro i criptopertites. El quars mostra cristalls subhèdrics d'1-2 mm. La biotita forma cristalls euèdrics (1-2 mm) rics en inclusions d'apatita. Els minerals accessoris presents són inclusions de zircó i d'epidota en els feldspats i d'apatita entre les làmines de biotita.

Metodologia

Mostreig

El leucogranit de les Guilleries es va mostrejar a la presa de l'embassament de Sau i a la Riera de Santa Coloma de Farners. Les mostres del granit porfíric de Tagamanent i Vallfornès es van obtenir al Turó

TAULA 1. Composició de la plagiòclasi, el feldspat potàssic i la biotita dels granitoides analitzats

%	Leucogranit Guillerries			Granit porfíric Tagamanent			Granit Roc de Frausa			Granit porfíric Hortmoier		
	Plag.	FK	Biotita	Plag.	FK	Biotita	Plag.	FK	Biotita	Plag.	FK	Biotita
Ab	84,20	9,47	--	71,76	9,85	--	67,38	17,77	--	72,99	8,30	--
An	12,59	0,16	--	26,24	0,11	--	30,48	s.l.d.	--	19,00	0,22	--
Or	3,16	90,29	--	1,92	89,65	--	2,14	82,23	--	7,68	91,27	--
Al ₂ O ₃	21,53	18,19	14,53	23,98	17,70	17,38	24,52	18,30	13,56	21,90	17,23	14,06
SiO ₂	65,17	65,01	34,25	60,41	63,90	30,88	61,43	66,19	35,31	64,62	67,11	33,37
CaO	2,77	0,03	0,05	5,57	0,02	7,14	6,28	s.l.d.	0,03	3,75	s.l.d.	0,03
TiO ₂	0,01	0,01	2,45	0,01	0,01	2,09	0,01	0,01	3,98	0,01	0,02	3,19
Na ₂ O	10,23	1,06	0,09	8,46	1,08	0,13	8,14	2,09	0,28	7,31	0,93	0,18
MgO	0,01	s.l.d.	3,51	s.l.d.	s.l.d.	7,14	0,01	s.l.d.	9,20	0,03	0,07	8,15
MnO	n.a.	n.a.	1,11	n.a.	n.a.	0,63	0,01	0,01	0,35	n.a.	n.a.	0,48
FeO	0,10	0,06	31,40	0,05	0,04	27,31	0,15	0,05	23,32	0,13	0,04	24,76
BaO	0,03	0,05	0,14	0,04	0,21	0,34	0,04	0,03	n.a.	0,02	0,10	0,25
K ₂ O	0,59	15,27	8,41	0,34	15,09	5,77	0,37	13,91	9,19	1,07	14,24	8,00
SrO	n.a.	n.a.	s.l.d.	n.a.	n.a.	s.l.d.	s.l.d.	s.l.d.	n.a.	s.l.d.	s.l.d.	s.l.d.
Rb ₂ O	n.a.	n.a.	s.l.d.	n.a.	n.a.	s.l.d.	0,01	0,01	n.a.	s.l.d.	s.l.d.	s.l.d.
Cr ₂ O ₃	n.a.	n.a.	0,02	n.a.	n.a.	s.l.d.	n.a.	n.a.	s.l.d.	n.a.	n.a.	0,04
H ₂ O _(c)	--	--	3,70	--	--	3,64	--	--	3,84	--	--	3,68
Total	100,43	99,68	99,66	98,87	98,07	96,03	100,96	100,61	99,06	98,84	99,77	96,19

Plag: plagiòclasi; FK: Feldspat potàssic; H₂O_(c): aigua calculada; s.l.d.: sota límit de detecció; n.a.: no analitzat.

de Tagamanent i al pantà de Vallfornès. La recol·lecció de les mostres del massís del Roc de Frausa es va realitzar als entorns de la presa del Pantà de Darnius-Boadella. Finalment, les mostres del granit porfíric de la Vall d'Hortmoier es van prendre a la llera de la Riera de Beget dintre de la Vall d'Hortmoier.

Les mostres es van serrar en llesques d'1 cm de gruix a l'Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa (Universitat Politècnica de Catalunya - UPC) per assegurar que la part interior de les mostres era de roca fresca ben preservada. Les mostres més representatives es van preparar sobre làmina prima amb polit metal·logràfic al Laboratori de Preparació de Làmines Primes de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).

Anàlisi petrològica

Per determinar les característiques mineralògiques i texturals dels granitoides, així com les possibles alteracions secundàries que els haguessin pogut afectar, les mostres es van observar amb el microscopi petrogràfic i de catodoluminescència a la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona (UB) i amb el microscopi electrònic de rastreig (SEM) equipat amb analitzador EDX a l'Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa (UPC).

A continuació, es va determinar la composició química dels minerals principals mitjançant una microsonda electrònica del model Cameca-SX-Five als Centres Científics i Tecnològics de la UB.

Anàlisi isotòpica de l'oxigen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$)

La determinació de la composició isotòpica de l'oxigen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) en la plagiòclasi, el feldspat potàssic i el quars es va portar a terme utilitzant dues tècniques diferents: (1) micromostreig i anàlisi per fluorinació làser- CO_2 i (2) anàlisi *in situ* mitjançant microsonda iònica.

(1) La tècnica de fluorinació làser- CO_2 es va utilitzar per analitzar els fenocristalls de feldspat potàssic dels granits porfírics de Tagamanent i de la Vall d'Hortmoier. Les mostres dels fenocristalls es van obtenir utilitzant un disc de diamant de 30 mm de diàmetre i 1,5 mm de gruix muntat en un taladre de velocitat regulable i l'ajuda d'una lupa binocular. Els fragments extrets (2-4 mg de pes) van ser observats al microscopi electrònic de rastreig i analitzats mitjançant EDX per a verificar-ne l'homogeneïtat composicional. La determinació de la composició isotòpica de l'oxigen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) es va realitzar al *Servicio General de Análisis de Isótopos Estables (Nucleus)* de la *Universidad de Salamanca*.

(2) La composició isotòpica de l'oxigen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) dels granitoides de Guillerries-Montseny i del Roc de Frausa es va determinar mitjançant anàlisi *in situ* utilitzant una microsonda iònica del model CAMECA 1280HR al *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques* de Nancy (França). Per a la preparació de les mostres es van tallar 2 fragments cúbics de $\sim 4 \times 4 \times 4$ mm de cada granitoide i es van incloure en resina tipus *Epoxy* en provetes de 25 mm de diàmetre per 5 mm de gruix envoltats de fragments dels geostàndards de plagiòclasi, feldspat potàssic i quars utilitzats per a corregir el fraccionament instrumental de les mesures isotòpiques. La superfície de totes les provetes es va acabar amb polit metal·logràfic al *Laboratori de Preparació de Làmines Primes* de la UAB.

Les provetes van ser escanejades amb microscopi de catodoluminescència (Figura 3 a) a la *Facultat de Geologia* de la UB. La luminescència de la plagiòclasi primària mostra zonació freqüent en forma de diferents tons de verd a groc en funció de la relació Na-Ca. També es detecten alteracions secundàries (p.ex. albitització, sericitització) en zones on els cristalls perden la luminescència primària. El feldspat potàssic primari presenta luminescència blava homogènia. En zones on el feldspat potàssic presenta processos de recristal·lització (p.ex. microclinització) la luminescència blava primària presenta un aspecte descolorit i tèrbol.

Les anàlisis isotòpiques de l'oxigen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) de la plagiòclasi, el feldspat potàssic i el quars es van realitzar al *Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques* de Nancy (França) del 22 al 25 de Juliol de 2014.

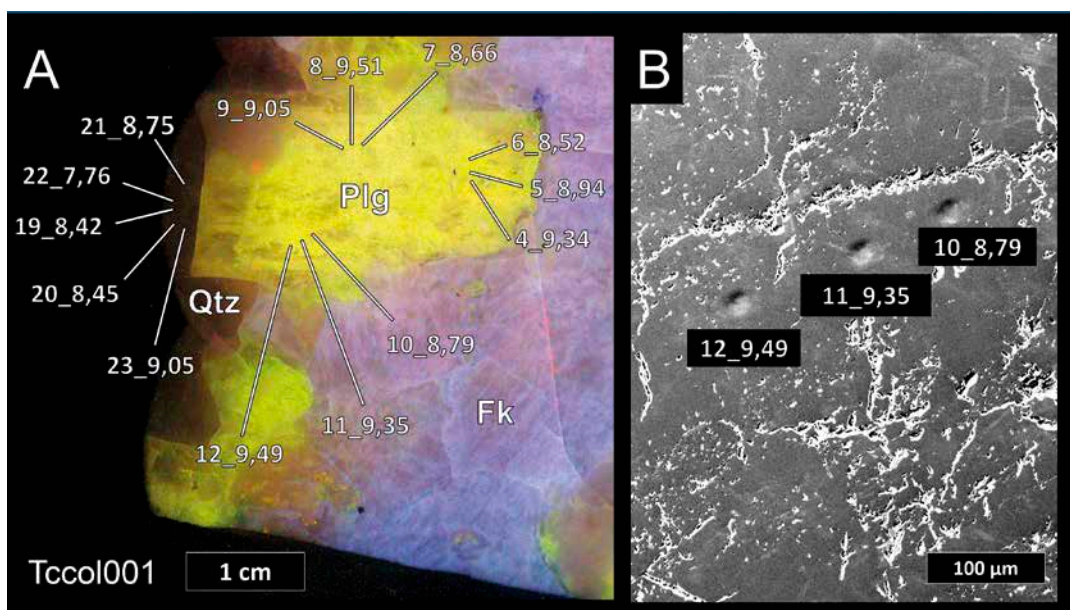


Figura 3. Imatges de microscòpia de catodoluminescència i SEM de la mostra TCCOL001: a) mesures de desviació isotòpica ($\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$) en plagiòclasi (punts 4 a 12) i quars (punts 19 a 23) sobreposats a la imatge de catodoluminescència; b) imatge de SEM dels cràters dels punts 10, 11 i 12. El material brillant són restes del recobriment amb or efectuat a les provetes per realitzar les anàlisis a la microsonda iònica. Plg: Plagiòclasi; FK: Feldspat potàssic; Qtz: Quars.

Posteriorment, cada punt analitzat a la microsonda iònica fou analitzat a la microsonda electrònica del model Cameca-SX-Five dels *Centres Científics i Tecnològics* de la UB per determinar la seva composició química. Paral·lelament, per assegurar que l'anàlisi isotòpica s'havia realitzat dins una àrea homogènia del mineral, es va observar la topografia i la composició interna dels cràters resultants de l'impacte del feix primari de la sonda iònica utilitzant el microscopi electrònic incorporat a la microsonda electrònica (Figura 3 b).

Correcció del fraccionament instrumental de la microsonda iònica

Durant el procés d'anàlisi a la microsonda iònica la relació isotòpica $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ del mineral es veu alterada per un fraccionament instrumental entre la relació mesurada i la "real" que és funció de la composició química del mineral i del reglatge de la microsonda iònica en el punt i el moment d'anàlisi (Shimizu, 1982), segons l'expressió:

$$\text{Fraccionament instrumental} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{i \text{ mesurat}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{i \text{ "real"}}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Per calcular i corregir aquest *Fraccionament instrumental* és necessari alternar, durant la sessió de microsonda iònica, l'anàlisi de les mostres amb l'anàlisi de geostàndards de composició química al més idèntica possible a la mostra analitzada i amb composició isotòpica "real" coneguda (determinada mitjançant altres mètodes, per exemple la fluorinació làser- CO_2). En el cas de les solucions sòlides com la sèrie de la plagiòclasi, és difícil disposar de geostàndards de plagiòclasi amb igual composició que les mostres analitzades, atès que hi són freqüents les variacions composicionals entre cristalls i zonacions composicionals dins d'un mateix cristall. Considerant aquestes circumstàncies, és apropiat d'utilitzar un mínim de dos (o més) geostàndards que cobreixin el rang composicional de la mostra de plagiòclasi a analitzar.

Per a la correcció del *Fraccionament instrumental* es van utilitzar geostàndards de plagiòclasi, feldspat potàssic i quars procedents de la col·lecció de geostàndards del *Museu de Geologia Valentí Masachs de l'Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa (UPC)* (Taula 2). Durant el transcurs de la sessió analítica a la microsonda iònica, els punts d'anàlisi sobre els geostàndards es van alternar amb els punts analitzats sobre les mostres dels granitoides segons la seqüència: {geostandard 1 – mineral granitoide 1 – geostandard 1 – geostandard 2 – mineral granitoide 2 – geostandard 2...}...i així successivament en totes les mostres.

La determinació del *Fraccionament instrumental* per a cada punt d'anàlisi a la microsonda iònica de les mostres dels granitoides es va realitzar utilitzant la *Metodologia de Superfícies de Resposta* (Box, 1954; Box i Draper, 2007). Aquesta tècnica estadística està dirigida a la generació d'un polinomi de primer o segon ordre que inclou termes simples, quadràtics i interaccions de totes aquelles variables que poden influir sobre la resposta, el *Fraccionament Instrumental* en aquest cas.

En primer lloc, per a cada punt d'anàlisi dels geostàndards es va calcular el seu *Fraccionament Instrumental* segons l'expressió de l'equació (1), aplicant com a valor "real" en cada geostandard els resultats de fluorinació-làser CO_2 mostrats a la Taula 2 ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{fluor}}$). Aleshores, considerant aquests resultats de *Fraccionament instrumental* com la resposta i les dades de composició química i de reglatge de la microsonda iònica dels punts d'anàlisi efectuats sobre els geostàndards com les *variables predictores sobre la resposta*, es van generar els polinomis de les *superfícies de resposta* de la plagiòclasi (SR_{Plag}), el feldspat potàssic (SR_{Kfelds}) i el quars (SR_{Quartz}). Per a construir les *superfícies de resposta* es va utilitzar el software estadístic *Minitab 17*. La seva significació estadística es va avaluar mitjançant el test d'anàlisi de la variança o ANOVA (*Analysis of Variance*).

A continuació, es van introduir en els polinomis de les *superfícies de resposta* (SR_{Plag} , SR_{Kfelds} , SR_{Quartz}) les dades composicionals i de reglatge de la microsonda iònica de cada punt analitzat (Ni) en la plagiòclasi (Ni_{Plag}), el feldspat potàssic (Ni_{Kfelds}) i el quars (Ni_{Quartz}) de les mostres dels granitoides

TAULA 2. Relació isotòpica $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ i composició dels geostàndards de plagiòclasi, feldspat potàssic i quars

Referència	Mineral	Ab (%)	An (%)	Or (%)	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{fluor}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)
4488 (GSTD 0001)	Albita	90,70	7,39	1,91	0,00202472	9,73
5080 (GSTD 0002)	Albita	92,47	7,09	0,44	0,00202998	12,37
5081 (GSTD 0003)	Oligòclasi	75,54	22,26	2,21	0,00202164	8,20
5082 (GSTD 0004)	Andesina	47,17	50,04	2,79	0,00202024	7,50
4522 (GSTD 0005)	Labradorita	43,34	54,06	2,60	0,00202024	7,50
5083 (GSTD 0006)	Labradorita	36,66	62,13	1,21	0,00201990	7,33
5085 (GSTD 0008)	Bytownita	31,09	68,27	0,64	0,00201894	6,85
5079 (GSTD 0009)	Anortita	3,31	96,56	0,04	0,00201934	7,05
4486 (GSTD 0010)	Feldspat K	10,35	--	89,65	0,00202385	9,30
5086 (GSTD 0011)	Feldspat K	6,79	--	93,21	0,00202370	9,23
3957 (GSTD 0012)	Quars	--	--	--	0,00202398	9,37

$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{fluor}}$: relació $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ determinada per fluorinació (fraccionament "real" del mineral)

$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} = (^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{fluor}} : ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{VSMOW}-1}) \times 1000$

$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{VSMOW}} = (2005,20 \pm 0,43) \times 10^{-6}$

i es va realitzar una **predicció** del *Fraccionament instrumental* (F_i) i del seu error estàndard associat (EE_i). Aleshores es va calcular la composició isotòpica "real" per a cada punt ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{i \text{ "real"}}$) segons l'expressió (Eq. 2):

$$(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{i \text{ "real"}} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{i \text{ mesurat}}}{F_i} \pm EE_i \quad \text{Eq. (2)}$$

Essent:

$(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{i \text{ mesurat}}$: Relació isotòpica $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ mesurada en cada punt analitzat a la microsonda iònica (i).

F_i : *Fraccionament instrumental predit mitjançant superfície de resposta* per cada punt analitzat (i).

$(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{i \text{ "real"}}$: Relació isotòpica $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ "real" de cada punt analitzat (i).

EE_i : Error estàndard de cada punt analitzat (i).

Resultats

A continuació es mostren els resultats de la composició isotòpica de l'oxigen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) de la plagiòclasi, el feldspat potàssic i el quars dels quatre granitoides analitzats un cop corregit el seu *Fraccionament instrumental* segons l'equació 2 (taules 3, 4 i 5). Els valors estan expressats com a desviació isotòpica ($\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$) en ‰ respecte VSMOW (*Viena Standard Mean Ocean Water*, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 2005,20 \pm 0,43$).

Leucogranit de les Guilleries

En la mostra TCCOL001 la mineralogia ígnia primària està ben preservada. Els valors de la desviació isotòpica de la plagiòclasi oscil·len entre 8,52 i 9,51 ‰, amb un promig de 9,07 ‰. En els feldspats potàssics, els valors de la desviació es situen entre 10,42 i 11,65 ‰ amb una mitjana de 11,11 ‰. La desviació isotòpica del quars varia entre 7,76 i 9,60 ‰, amb un valor promig de 8,90 ‰. En la mostra TCSAU020 es van analitzar les corones primàries de composició albítica de la plagiòclasi, presentant uns valors de desviació entre 11,14 i 12,24 ‰, amb una mitjana d'11,75 ‰. El feldspat potàssic mostra valors de desviació entre 11,76 i 13,81 ‰, amb un promig d'12,58 ‰. Els resultats de la desviació del quars estan entre 6,39 i 8,99 ‰, amb un 7,81 ‰ de mitjana. Les diferències entre els valors isotòpics del feldspat potàssic i del quars de les dues mostres podrien ser degudes al fet que la mostra TCSAU020 presenta processos d'alteració postmagmàtics, mentre que la mostra TCCOL001 preserva la mineralogia ígnia primària.

Granit porfíric de Tagamanent i Vallfornès

Els fenocristalls de feldspat potàssic del granit porfíric de Tagamanent i Vallfornès mostren una desviació isotòpica de 10,6 ‰ en les dues mostres analitzades (*TCVFN001-Fk1* i *TCVFN001-Fk2*). Aquests valors de desviació són del mateix ordre de magnitud que les desviacions obtingudes en el feldspat potàssic del leucogranit de les Guilleries.

Granit del massís del Roc de Frausa

La plagiòclasi de la mostra *TCBOA012* presenta una desviació isotòpica entre 7,18 i 9,45 ‰, amb un promig de 8,58 ‰. En el feldspat potàssic, la desviació isotòpica varia entre 11,50 i 12,39 ‰, amb una mitjana d'12,04 ‰. En la mostra *TCBOA002*, la plagiòclasi varia entre 9,89 i 11,94 ‰ amb una mitjana de 10,91 ‰. El quars presenta una desviació isotòpica entre 8,58 i 11,82 ‰, amb un promig de 9,61 ‰. La desviació isotòpica en la plagiòclasi presenta diferències significatives entre les dues mostres que es podrien deure a la diferència entre les seves relacions Na-Ca. La composició promig de la plagiòclasi en la mostra *TCBOA012* és Ab 67,37%, mentre que la mostra *TCBOA002* presenta una composició d'Ab 91,41%.

Granit porfíric de la Vall d'Hortmoier

Les mostres de fenocristalls de feldspat potàssic del granit de la Vall d'Hortmoier presenten una desviació isotòpica d'11,4 i 11,6 ‰ (mostres *TCHOR029fk1* i *TCHOR029fk2* respectivament). Aquests valors de desviació isotòpica són del mateix ordre de magnitud que els valor observats en el feldspat potàssic del granit del massís del Roc de Frausa.

Discussió i conclusions

L'anàlisi de la composició isotòpica de l'oxigen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) en dos granitoides de l'àrea de Guilleries-Montseny i dos granitoides dels Pirineus Orientals incrementa el coneixement sobre la geoquímica dels sistemes granítics del sòcol hercinià de Catalunya.

A partir de les observacions petrogràfiques s'estableix que les mostres on la mineralogia ígnia original està més ben preservada (*TCCOL001 a les Guilleries-Montseny* i *TCBOA012 als Pirineus Orientals*), la relació dels valors de desviació isotòpica de l'oxigen de la plagiòclasi i el feldspat potàssic concorden amb la relació proposada en les roques plutòniques per Bindeman (2008), segons la qual $\delta_{Albita} \approx \delta_{Feldspat\ potàssic} > \delta_{Anortita}$. La desviació isotòpica observada en la plagiòclasi, el feldspat potàssic i

TAULA 3. Valors isotòpics de les plagiòclasis en els granitoides analitzats

Mostra	Referència	Zona cristall	Ab (%)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)	EE (‰)
Leucogranit de les Guilleries					
TCCOL001					
Cristall 1	tccol001_F1olig@4	nucli	87,91	9,34	0,21
	tccol001_F1olig@5	nucli	88,26	8,94	0,21
	tccol001_F1olig@6	nucli	77,38	8,52	0,19
	tccol001_F1olig@7	nucli	76,76	8,66	0,18
	tccol001_F1olig@8	nucli	86,39	9,51	0,21
	tccol001_F1olig@9	nucli	81,55	9,05	0,21
	tccol001_F1olig@10	nucli	77,56	8,79	0,22
	tccol001_F1olig@11	nucli	76,47	9,35	0,22
	tccol001_F1olig@12	nucli	82,60	9,49	0,24
TCSAU020					
Cristall 1	tcsau020_F2ab@22	corona	98,69	11,70	0,31
	tcsau020_F2ab@23	corona	97,08	11,93	0,30
Cristall 2	tcsau020_F2ab@27	corona	96,02	11,14	0,32
	tcsau020_F2ab@29	corona	87,21	12,24	0,30
Granit del massís del Roc de Frausa					
TCBOA002					
Cristall 1	tcboa002_F1ab@04	nucli	88,94	11,50	0,41
	tcboa002_F1ab@05	nucli	88,63	11,23	0,43
	tcboa002_F1ab@06	nucli	95,00	10,76	0,44
	tcboa002_F1ab@07	nucli	88,85	9,89	0,41
	tcboa002_F1ab@08	nucli	98,63	10,76	0,44
	tcboa002_F1ab@09	nucli	93,94	11,37	0,43
Cristall 2	tcboa002_F1ab@32	nucli	87,86	10,78	0,36
	tcboa002_F1ab@33	nucli	87,44	10,18	0,38
	tcboa002_F1ab@34	nucli	85,61	10,98	0,38
	tcboa002_F1ab@35	nucli	93,66	10,75	0,42
	tcboa002_F1ab@36	nucli	86,57	10,60	0,42
	tcboa002_F1ab@37	nucli	97,93	11,94	0,44
	tcboa002_F1ab@38	nucli	95,30	11,10	0,45
TCBOA012					
Cristall 1	tcboa012_F1olig@4	nucli	67,57	8,73	0,09
	tcboa012_F1olig@05	nucli	65,22	7,18	0,09
	tcboa012_F1olig@06	nucli	65,36	9,45	0,09
	tcboa012_F1olig@07	nucli	66,36	9,32	0,09
	tcboa012_F1olig@08	nucli	64,53	9,09	0,09
	tcboa012_F1olig@09	nucli	68,44	8,91	0,09
	tcboa012_F1olig@10	nucli	67,98	8,49	0,12
	tcboa012_F1olig@11	nucli	66,50	8,25	0,20
Cristall 2	tcboa012_F1olig@12	nucli	70,30	8,19	0,38
	tcboa012_F1olig@13	nucli	71,30	8,22	0,44
	tcboa012_F1olig@14	nucli	66,19	8,51	0,45
	tcboa012_F1olig@15	nucli	68,77	8,65	0,44

$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$: desviació isotòpica respecte l'estàndard VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water)

EE: error estàndard

TAULA 4. Valors isotòpics del feldspat potàssic en els granitoides analitzats

Mostra	Referència	Or (%)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)	EE (‰)
Leucogranit de les Guillerries				
TCCOL001				
Cristall 1	tccol001_F2fk@35	90,59	10,60	0,19
	tccol001_F2fk@36	93,23	11,19	0,16
	tccol001_F2fk@37	89,38	11,65	0,23
	tccol001_F2fk@38	88,47	11,50	0,28
Cristall 2	tccol001_F2fk@39	88,65	10,42	0,28
	tccol001_F2fk@40	89,48	11,04	0,26
	tccol001_F2fk@41	88,63	11,18	0,27
	tccol001_F2fk@42	92,30	11,31	0,20
TCSAU020				
Cristall 1	tcsau020_F1fk@4	93,76	12,49	0,12
	tcsau020_F1fk@5	90,61	12,69	0,19
	tcsau020_F1fk@6	88,49	11,76	0,27
Cristall 2	tcsau020_F1fk@7	89,64	12,39	0,23
	tcsau020_F1fk@8	89,63	13,81	0,23
	tcsau020_F1fk@9	89,39	12,68	0,24
Cristall 3	tcsau020_F1fk@10	89,10	12,28	0,24
	tcsau020_F1fk@11	89,32	12,18	0,25
	tcsau020_F1fk@12	89,39	12,94	0,24
Granit porfíric de Tagamanent				
TCVFN001				
Cristall 1	tcvfn001_Fk1	—	10,6	—
Cristall 2	tcvfn001_Fk2	—	10,6	—
Granit del massís del Roc de Frausa				
TCBOA012				
Cristall 1	tboa012_F2fk@22	85,08	11,50	0,39
	tboa012_F2fk@23	89,37	11,54	0,21
	tboa012_F2fk@24	80,62	12,39	0,60
	tboa012_F2fk@25	87,93	11,83	0,25
Cristall 2	tboa012_F2fk@26	82,77	12,36	0,51
	tboa012_F2fk@27	90,06	12,29	0,20
	tboa012_F2fk@28	88,75	12,39	0,24
	tboa012_F2fk@29	74,10	12,29	0,93
Granit porfíric de la Vall d'Hortmoier				
TCHOR029				
Cristall 1	tchor029fk1	—	11,4	—
Cristall 2	tchor029fk2	—	11,6	—

$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$: desviació isotòpica respecte l'estàndard VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water).

EE: error estàndard

TAULA 5. Valors isotòpics del quarz en els granitoides analitzats

Mostra	Referència	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)	EE (‰)
Leucogranit de les Guilleries			
TCCOL001			
Cristall 1	tccol001_F1q@19	8,42	0,27
	tccol001_F1q@20	8,45	0,27
	tccol001_F1q@21	8,75	0,27
	tccol001_F1q@22	7,76	0,28
	tccol001_F1q@23	9,05	0,25
Cristall 2	tccol001_F1q@24	8,81	0,26
	tccol001_F1q@25	9,49	0,26
	tccol001_F1q@26	9,35	0,27
	tccol001_F1q@27	9,60	0,26
	tccol001_F1q@28	9,36	0,27
TCSAU020			
Cristall 1	tcsau020_F1q@36	7,65	0,43
	tcsau020_F1q@37	7,93	0,43
	tcsau020_F1q@38	7,66	0,45
Cristall 2	tcsau020_F1q@39	7,82	0,33
	tcsau020_F1q@40	7,47	0,30
	tcsau020_F1q@41	8,18	0,35
Cristall 3	tcsau020_F1q@42	8,99	0,26
	tcsau020_F1q@43	6,39	0,23
	tcsau020_F1q@44	8,25	0,27
Granit del massís del Roc de Frausa			
TCBOA002			
Cristall 1	tcboa002_F2q@80	8,78	0,43
	tcboa002_F2q@81	8,58	0,43
	tcboa002_F2q@82	11,82	0,42
	tcboa002_F2q@83	9,82	0,44
Cristall 2	tcboa002_F2q@84	9,32	0,51
	tcboa002_F2q@85	9,12	0,50
	tcboa002_F2q@86	9,87	0,49
	tcboa002_F2q@87	9,58	0,50
	tcboa002_F2q@88	9,60	0,50

$\delta^{18}\text{O}$: desviació isotòpica respecte l'estàndard VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water)

EE: error estàndard

el quars de totes les mostres situa els granitoides estudiats en el rang (usual) dels *High $\delta^{18}\text{O}$ Magmas* (Bindeman, 2008). Aquests valors són típics de magmes derivats de la fusió de l'escorça i concorda amb les dades obtingudes per Roberts et al. (2000) al massís de Queragut (Pirineus francesos).

Les desviacions isotòpiques del feldspat potàssic i el quars del leucogranit de les Guilleries estan en harmonia amb les desviacions isotòpiques obtingudes per Solé *et al.* (2002) de 9,5 ‰ en el feldspat potàssic i 10,5 ‰ en el quars i també amb les dades de roca total de Fourcade i Javoy (1991).

Agraïments

Aquest estudi ha estat possible gràcies al finançament del projecte CGL2015-66335-C2-1-R (*Ministerio de Economía y Competitividad*) i del Grup de Recerca consolidat de Geologia Sedimentària 2014/SGR/251 (Generalitat de Catalunya). El suport del Dr. A. Gurenko ha estat de gran vàlua per a la realització de les anàlisis a la microsonda iònica al *Centre de Recherches Péetrographiques et Géochimiques* de Nancy (França). També agraïm els valuosos coneixements i comentaris del Dr. C. Recio del *Servicio General de Análisis de Isótopos Estables (Nucleus)* de la *Universidad de Salamanca*.

Referències

- Aguilar, C., Liesa, M., Castineiras, P., Navidad, M., (2014): *Late Variscan metamorphic and magmatic evolution in the eastern Pyrenees revealed by U-Pb age zircon dating*. *Journal of the Geological Society*, 171: 181-192.
- Bindeman, I., (2008): *Oxygen Isotopes in Mantle and Crustal Magmas as Revealed by Single Crystal Analysis*. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 69: 445-478.
- Box, G.E.P., (1954): *The Exploration and Exploitation of Response Surfaces: Some General Considerations and Examples*. *Biometrics*, 10: 16.
- Box, G.E.P., Draper, N.R., (2007): *Response Surfaces, Mixtures, and Ridge Analyses*, Wiley-Interscience.
- Fourcade, S., Javoy, M., (1991): *Sr-Nd-O isotopic features of mafic microgranular enclaves and host granitoids from the Pyrenees, France: evidence for their hybrid nature and inference on their origin*, a: Didier, J., Barbarin, B. (Eds.), *Enclaves and Granite Petrology*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp. 345-365.
- Martínez, F.J., Reche, J., Iriondo, A., (2008): *U-Pb Shrimp-RG zircon ages of Variscan igneous rocks from the Guilleries massif (NE Iberia pre-Mesozoic basement)*. *Geological implications*. *Comptes Rendus Geoscience*, 340: 223-232.
- Roberts, M.P., Pin, C., Clemens, J.D., Paquette, J.L., (2000): *Petrogenesis of Mafic to Felsic Plutonic Rock Associations: the Calc-alkaline Querigut Complex, French Pyrenees*. *Journal of Petrology*, 41: 809-844.
- Shimizu, N., (1982): *Isotope fractionation in secondary ion mass spectrometry*. *Journal of Applied Physics*, 53: 1303.
- Solé, J., Cosca, M., Sharp, Z., Enrique, P., (2002): *$40\text{Ar}/39\text{Ar}$ geochronology and stable isotope geochemistry of Late-Hercynian intrusions from north-eastern Iberia with implications for argon loss in K-feldspar*. *International Journal of Earth Sciences*, 91: 865-881.
- Vilà, M., Pin, C., Enrique, P., Liesa, M., (2005): *Telescoping of three distinct magmatic suites in an orogenic setting: Generation of Hercynian igneous rocks of the Albera Massif (Eastern Pyrenees)*. *Lithos*, 83: 97-127.