

Estudi petrològic i geoquímic del vulcanisme recent de la Garrotxa

Gisbert Pinto, G.

Resum: La zona volcànica de la Garrotxa forma, juntament amb les zones volcàniques de la Selva i l'Empordà, la província volcànica alcalina d'intraplaca del NE de Catalunya. En el cas de la zona olotina, tot i ser coneguda des de fa més de dos segles, el coneixement que se'n té és encara deficient, especialment en els camps de la geoquímica i la petrologia. El present estudi aporta gran quantitat de dades de geoquímica de roca total, petrologia i química mineral de 37 noves mostres, principalment làviques, pertanyents en gran part a la zona menys estudiada anteriorment. S'han revisat les dades geoquímiques publicades i s'han descartat les que no eren de bona qualitat i/o no se'n podia conèixer l'origen. S'han uniformitzat les proporcions Fe_2O_3/FeO segons Middlemost (1989), i la nomenclatura de les mostres seguint el criteri de la IUGS, fet que ha servit per evidenciar que la terminologia emprada en els mapes de l'ICC és sovint incorrecta. Per a l'anàlisi de les dades, aquestes han estat agrupades per: zona i unitat d'origen de les mostres, i edats (relatives i absolutes). L'anàlisi conjunta de totes les dades geoquímiques, petrològiques i de química mineral, ha revelat heterogeneïtat en els materials del vulcanisme quaternari, procedents de fusió parcial amb un grau molt baix d'una font mantèl·lica, així com l'existència de processos de diferenciació per cristal·lització fraccionada en cambra magmàtica de manera generalitzada a tota la regió. Aquestes cambres tindrien una part superior més diferenciada, com evidència el fet que en algunes zones els primers materials emesos són els més diferenciats.

Paraules clau: vulcanisme bàsic quaternari, cristal·lització fraccionada, petrologia, química de roca total, química mineral

1. INTRODUCCIÓ

A la zona volcànica de la Garrotxa es poden observar més de 40 cons, i es coneix l'existència d'un mínim d'entre 30 i 40 colades de lava principals relacionades amb els cons eruptius i el vulcanisme fissural. Si es comparen aquests valors amb el nombre de dades geoquímiques i petrològiques de què es disposa a la bibliografia es veu clarament que el coneixement que es té actualment de la geoquímica i petrologia d'aquest vulcanisme és manifestament insuficient. A tall d'exemple, a la regió alemanya d'Eiffel (situada en un context geodinàmic d'intraplaca similar, i amb un rang d'edat comparable) el coneixement sobre les característiques petrològiques de les laves i piroclasts era molt més detallat fa ja més de 20 anys. El seu estudi va demostrar que la suposada monotonia composicional d'aquesta mena de sèries basàltiques alcalines d'intraplaca no és real en moltes ocasions i que, per tant, cal realitzar un estudi molt més sistemàtic dels diferents cons i colades.

Tenir una base de dades geoquímiques representativa és de gran importància a l'hora de poder interpretar correctament aspectes genètics i d'evolució del magmatisme, que proporcionen informació sobre el context geodinàmic de la regió, àrea font del magma, processos ocorreguts durant l'ascens d'aquest fins a la superfície (com ara el possible emmagatzematge en cambres magmàtiques intermèdies) i mecanismes eruptius dels centres emissors en superfície. A més, un bon coneixement geoquímic i petrològic dels diferents materials

volcànics permet abordar amb seguretat posteriors estudis importants requerits a la zona, com ara les datacions radiomètriques.

Per tal de suplir en part aquesta falta de dades existent, en aquest estudi es proporciona tot un nou joc de dades referents a la petrologia, química mineral i geoquímica d'elements majors i traces de roca total d'algunes de les principals unitats de la regió volcànica olotina. La seva interpretació, conjuntament amb la de les dades bibliogràfiques, permetrà caracteritzar zones i unitats, a més d'interpretar els processos evolutius que han afectat els sistemes magmàtics.

2. MARC GENERAL

2.1 Context geodinàmic i estructural

El vulcanisme de la zona de la Garrotxa està relacionat amb la resta de vulcanisme neogen-quaternari del NE de Catalunya, que correspon a una manifestació magmàtica conseqüència de la tectònica extensional tipus rift que afecta el Mediterrani occidental des de finals de l'Oligocè (Anadón, 1979). Aquesta no és un fenomen aïllat, sinó que s'emmarca dins el mateix context geodinàmic que va generar els rifts i les principals províncies volcàniques extensives associades de l'Europa central-occidental, i també altres camps volcànics alcalins recents al SE espanyol (Araña et al., 1983; López Ruiz i Rodríguez Badiola, 1985; Martí et al., 1992), tots ells d'un rang d'edat similar.

2.2 El vulcanisme de NE d'Espanya

La zona volcànica de la Garrotxa, junt amb les zones de l'Empordà i la Selva, formen la província volcànica alcalina d'intraplaca del NE d'Espanya (Figura 1). Aquesta província es caracteritza principalment per la presència de roques alcalines bàsiques, d'afinitat tan potàssica com sòdica, sent basalts i basanites, amb l'única excepció coneguda de les traquites de Vilacolum i Arenys d'Empordà (Tournon, 1968; Araña et al., 1983; López Ruiz i Rodríguez Badiola, 1985; Gimeno, 1995; Díaz et al., 1996). La mineralogia de la roca és en general simple; en la majoria dels casos presenta cristalls d'olivina, clinopiroxens i plagiòclasi dins d'una matriu vítria, normalment rica en òxids de ferro. En algunes localitats les roques basàltiques alcalines contenen xenòlits de diversos tipus: xenòlits del mantell (Gelabert, 1906; Tournon, 1968; Llovet i Galán, 2003; Galán, 2004; Bianchini et al., 2007), xenòlits magmàtics de l'escorça (Llobera, 1983; Neumann et al., 1999), i també xenòlits sedimentaris accidentals incorporats durant l'obertura dels cràters.

En aquesta província volcànica l'activitat va començar de manera puntual a la zona de Cadaqués fa uns 15 Ma (C. Lewis, comunicació personal a D. Gimeno, 1999). Des d'aleshores i fins a l'actualitat l'activitat volcànica ha aparegut de manera esporàdica però relativament contínua en el temps. L'activitat es va situar primer a l'Empordà fa entre 15 i 6 Ma (15 a 9 Ma a l'Alt Empordà, 6 Ma al Baix Empordà). A continuació l'activitat va migrar cap a La Selva (5 a 7 Ma), i al sistema de la falla de la Tordera fa uns 2 Ma, seguint tots aquests episodis una tendència de moviment cap al S (Donville, 1976). Finalment l'activitat va desplaçar-se a la zona de la Garrotxa i el Gironès, on va tenir lloc entre fa 300.000 i 10.000 anys, amb episodis eruptius cada 15.000 a 20.000 anys aproximadament (Guérin et al, 1985; AAVV, 1992; Lewis comunicació personal a D. Gimeno, 1999), essent les manifestacions més recents datades les de la zona de Santa Pau, i més concretament el focus eruptiu de la Pomareda, adossat al volcà Croscat.

Així, a la zona de la Garrotxa és on es localitzen els episodis més recents, i on es situen els centres eruptius més ben conservats. L'activitat volcànica es va caracteritzar per la formació de petits cons estrombolians, ocasionalment freatomagmàtics o d'ambdós orígens alternant en el temps, construïts per erupcions monogenètiques de curta durada (pocs dies o setmanes) (Martí i Mallarach, 1987; Gisbert, 2006; Gisbert et al., en revisió). Com a resultat d'aquesta activitat es van generar més de 40 cons que poden ser identificats actualment. Aquests cons s'agrupen principalment en dos conjunts: un al N, que correspon a la zona del riu Fluvià, i l'altra al S, que coincideix amb la riera d'Amer, tributària del riu Ter. El principal nucli volcànic pertany al sector N, on es reconeixen

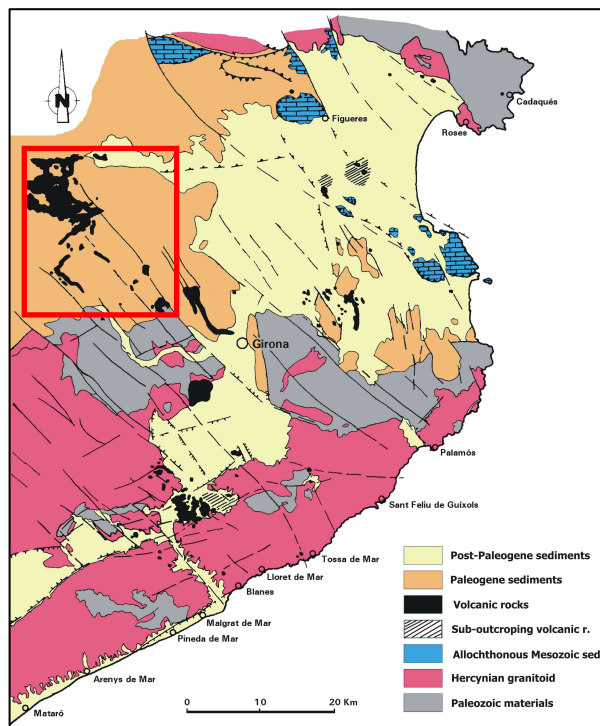


FIGURA 1 *Vulcanisme del NE de la Península Ibèrica. El requadre vermell delimita la zona d'estudi del present treball.*

prop de 30 edificis volcànics, mentre que al sector S només destaquen uns 12, encara que alguns són dels de majors dimensions. Al sector N el vulcanisme es situa sobre la sèrie eocènica, fonamentalment detrítica, mentre que al S apareix sobre els granitoides i roques metamòrfiques del sòcol varisc.

El requadre de la Figura 1 indica l'àrea d'estudi d'aquest treball.

3. HISTÒRIA DE LA RECERCA VULCANOLÒGICA A LA GARROTXA I ANTECEDENTS

Des dels primers treballs de Bolós (1796, publicat al 1820 i 1841), la Zona Volcànica de la Garrotxa ja va ser reconeguda com a un camp volcànic recent format per desenes de cons estrombolians i colades de lava associades. Més tard, Lyell va conèixer Bolós a Olot el 1830 (Solé Sabaris, 1982), i junts van visitar la regió, amb el resultat que Lyell va incloure en els seus *Principles of Geology* (Lyell, 1833) dades detallades sobre els cons volcànics i les colades de lava, i les seves relacions amb el substrat. Des d'aquell moment, Olot i la Garrotxa van ser zones tractades sovint per les principals publicacions científiques i societats geològiques europees.

Coincidint amb els inicis dels estudis petrològics a Espanya a començaments del segle XX, es van dur a terme una sèrie de treballs en aquestes roques volcàniques (Gelabert, 1904; Calderón et al., 1906). La majoria d'aquests treballs incloïen descripcions geomorfològiques dels cons, així com

dades de pedreres, etc. Washington (1907) va ser el primer a analitzar químicament un conjunt de mostres de colades de lava i bombes de la Garrotxa; també es poden trobar en aquest treball les primeres descripcions acurades i interpretacions de la gènesi d'alguns dels cons de la Garrotxa. Un estudi més sistemàtic del vulcanisme (petrografia, descripció d'afloraments, mapes, relació dels cons amb la tectònica) està relacionat amb l'activitat de San Miguel de la Cámara (1918, 1936) i col·laboradors, i amb la sortida de camp C-4 que es va desenvolupar durant el XIV International Geological Congress celebrat a Madrid el 1926. Aquests van proporcionar la primera cartografia volcànica moderna de la regió (San Miguel de la Cámara, Marcet Riba i Chevalier a San Miguel de la Cámara i Marcet Riba, 1926). Per tant, la major part de les dades referides a morfologia dels cons, relacions i cronologia relativa de colades de lava i cons, etc., que van ser recollides posteriorment per Mallarach i Riera (1981) van ser produïdes durant aquest període.

Tots aquests estudis van ser interromputs durant la Guerra Civil i la posterior situació d'aïllament internacional d'Espanya durant els 20 anys següents. Durant els anys 50 i 60 l'exploració de lapilli a cel obert, que havia estat una activitat artesanal tradicional que havia generat petites excavacions disseminades per molts cons, va esdevenir objecte d'intensa activitat industrial, concentrada sobretot al volcà Croscat i àrees del voltant (poble de Santa Pau). Aquesta activitat va tenir dos efectes, per una banda va generar per primera vegada afloraments excel·lents de l'estructura interna de diversos volcans; per l'altra va generar un important moviment mediambiental que va portar a la constitució alguns anys més tard del Parc de la Zona Volcànica de la Garrotxa (PZVG) l'any 1982, fet que va significar la fi de les extraccions a cel obert i la conservació dels cons fins l'actualitat. En aquest marc s'entenen el treball preliminar de Mallarach i Riera (1981) i Martí i Mallarach (1987), que van proporcionar les primeres dades dels mecanismes eruptius d'aquesta zona volcànica, remarcant la presència d'activitat freatomagmàtica en un gran nombre de cons. Des d'aquest moment no es van produir noves dades significatives sobre mecanismes eruptius, excepte les compilades a la Història Natural dels Països Catalans (AAVV, 1992), i més recentment en una guia de divulgació per visitants editada pel PZVG (Martí et al., 2000), fins a l'any 2006, en què es va dur a terme un estudi exhaustiu sobre els mecanismes eruptius del volcà Puig de la Garrinada (Gisbert, 2006; Gisbert et al., en revisió).

Pel que fa a la petrologia i geoquímica de les roques volcàniques de la Garrotxa, malgrat que, com s'ha vist, el vulcanisme de la Garrotxa fa més de 2 segles que es coneix (i internacionalment des de fa més de 180 anys), els estudis que s'han fet en aquests camps són escassos i poc sistemàtics pel que fa a l'anàlisi geoquímica de les diferents laves i mantells de

piroclastos (i fins i tot a vegades són repetitius pel que fa a les unitats estudiades i no coincidents en els resultats; això en part es pot explicar pel fet de que han estat analitzades en moments diferents i per diferents laboratoris i instruments).

Tournon va encetar el 1968 la sèrie d'estudis *moderns* que fins a l'actualitat s'han anat fent sobre la petrologia i geoquímica de la zona d'Olot. Tournon (1968, 1969) realitza un estudi general sobre el vulcanisme neogen i quaternari català, que detecta la presència de basanites amb leucita i basanites amb analcima, sobre les que fa un petit estudi petrològic, s'analitza la composició de roca total de 3 mostres i s'estudia química mineral d'un clinopiroxè. El següent estudi realitzat és el de Coy-Yll et al. (1974), que realitza 23 anàlisis químiques de roca total (s'analitzen elements majors i Ni i Rb) i també recull anàlisi petrogràfica i una mica de química mineral. Araña et al. (1983) van realitzar la geoquímica de majors i traces de 5 mostres, a més d'estudis petrològics i de química mineral, junt amb anàlisi isotòpica puntual de Rb i Sr. La geoquímica d'elements traces d'aquest estudi és ampliada per Martí et al. (1992), que torna a analitzar les mateixes mostres. López Ruiz i Rodríguez Badiola (1985), en un estudi molt complet, van realitzar petrografia, geoquímica de roca total i química mineral d'un total de 16 mostres de la zona volcànica de la Garrotxa. Com en el cas anterior, aquest estudi també fou ampliat: Cebrià et al. (2000) refan la geoquímica d'elements traces de les mostres de López Ruiz i Rodríguez Badiola (1985), analitzant nous elements, i a més fan varies anàlisis isotòpiques (Sr/Nd/Pb). L'any 1985 es van publicar dos treballs més, el de Guerin et al. (1985), on es mostren els resultats de l'anàlisi de roca total de 6 mostres i unes quantes datacions per termoluminiscència de plagiòclasi dels materials volcànics, i el de Williams-Thorpe i Thorpe (1985), que en un estudi arqueomètric (sobre pedres de molí romanes) analitzen geoquímicament 11 mostres de laves. Finalment, s'han fet estudis més centrats en altres aspectes del vulcanisme de la Garrotxa, com ara els de Llobera (1983), Neumann et al. (1999) i Bianchini et al. (2007), centrats en l'estudi dels xenòlits. Aquests treballs mostren gran quantitat de dades procedents de l'estudi d'aquests elements, i els dos últims també una anàlisi de roca total cadascun dels materials volcànics que contenen els xenòlits.

4. METODOLOGIA

El present treball ha consistit en l'estudi petrològic i geoquímic d'un conjunt de mostres procedents de la Zona volcànica de la Garrotxa. Per tal de realitzar aquest estudi la metodologia seguida ha estat la que s'explica a continuació.

4.1 Recol·lecció de les mostres

Les noves dades aportades provenen de l'estudi de 37 mostres, majoritàriament provinents de

colades làviques, recollides al llarg de diverses campanyes de camp fetes a la zona d'estudi per part dels integrats del Grup Consolidat PEGEFA, i dipositades a la litoteca de la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona. Cadascuna d'aquestes mostres va ser preparada per al seu estudi en microscopi petrogràfic i microsonda electrònica, i per a la realització d'anàlisis geoquímiques.

A la Figura A.1 de l'Annex es mostren els punts de mostreig de les roques analitzades en aquest estudi, així com la situació aproximada de l'origen de les mostres estudiades a la bibliografia. Les noves mostres són:

- PAU-01: dic aflorant entre materials piroclàstics
- PAU-02 a PAU-05: Colades de Santa Pau
- PAU-06 a PAU-08: *neck* de Santa Pau
- PAU-09: colada del volcà Rocanegra
- PAU-10 i PAU-12: lava massiva del volcà de Pla Sa Ribera
- PAU-11: bomba del volcà de Pla Sa Ribera
- PAU-13: lava massiva del Volcà de Simó
- PAU-14 i PAU-15: punt de mostreig on existeixen dues colades, una inferior més leucocràtica, i una superior més màfica. PAU-14 prové de la superior, i PAU-15 de la inferior.
- PAU-16: colada de Santa Pau
- PAU-17: colada del Rocanegra
- PAU-18 i PAU-19: punt de mostreig amb dues colades, ambdues mostres provenen de la superior, assignada al Rocanegra
- PAU-60: de les tres colades aflorants a la zona de Molí Fondo, mostra de la colada inferior.
- PAU-61: piroclast del volcà de la Garrinada
- PAU-62: bomba del Croschat
- PAU-63: mostra d'un dom de la Fageda d'en Jordà
- PAU-64: colada de Batet recollida a la carretera Olot-Santa Pau
- PAU-65 i PAU-66: piroclastos del Croschat sobre el volcà de Puig Martinyà (atribució al Croschat de Di Traglia, 2006)
- PAU-67: lava del volcà de Puig Martinyà
- PAU-68: bomba de Puig Astrol
- PAU-70: bomba del Croschat
- PAU-74: colada superior de Castellfollit de la Roca
- PAU-75: mostra del cingle Castellfollit en zona de disjunció planar per sota de la disjunció columnar de la colada superior. Possible sostre de la colada del mig
- PAU-76: de les tres colades de Molí Fondo, la del mig, per sobre de la de mostreig de PAU-60, i per sota de la colada atribuïda a la Garrinada.
- PAU-91: colada de Cal Sordet
- PAU-92: colada superior del Pla d'Olot
- PAU-93: bomba del Croschat
- PAU-94: colada de Santa Pau

4.2 Preparació de làmines primes

Algunes de les mostres ja havien estat objecte d'estudi petrogràfic anteriorment, de manera que es disposava de làmines primes d'aquestes. De la resta se n'han fet làmines primes noves al Servei de làmina

prima de la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona. De cada mostra s'han fet, per cada porció de mostra a estudiar, dues làmines: una de 30 µm coberta per a l'estudi amb microscopi petrogràfic, i una altra més gruixuda descoberta i amb polit metal·logràfic per a l'estudi de la química mineral amb la microsonda electrònica.

4.3 Geoquímica

Com a part important d'aquest estudi, l'adquisició de dades geoquímiques de les mostres ha rebut especial atenció. L'anàlisi geoquímica s'ha basat en la determinació dels elements majors i traces, mitjançant Fluorescència de Raigs X (FRX) (per a majors i alguns traces), Espectrometria de masses de plasma acoblat inductivament (ICP-MS) (traces) i Espectroscòpia d'emissió òptica de plasma acoblat inductivament (ICP-OES) (traces). L'elecció de cadascun dels mètodes és condicionada pels llindars de detecció i/o els efectes d'interferència de matriu per cada element analitzat, en cada cas.

4.3.1 Preparació i molturació de la mostra

Com que es tracta de roques volcàniques afanítiques, les mostres estudiades són de mida bloc; es va dur a terme una primera trituració manual de la mostra amb ajuda d'una massa fins a aconseguir fragments representatius de la roca de menys d'un centímetre de diàmetre. Dels fragments obtinguts es van seleccionar els que no presentaven superfícies alterades, evitant també els xenòlits i xenocristalls més grans, ja que aquests poden distorsionar els resultats. A continuació es va procedir a molturar la mostra amb un molí d'anelles de carbur de wolframí.

4.3.2 Preparació de perles i pastilles per a FRX

Les perles es van preparar per a l'anàlisi dels elements majors seguint el protocol establert pels Serveis Científic-Tècnics (SCT) de la UB: a una pesada inicial de 0,3 g de mostra molturada i seca (estufa a 100°C) s'afegeix tetraborat de liti fins a aconseguir una dilució 1/20, que és fosa a aproximadament 1250°C en una perladora amb gresol i plat de Pt, usant iodur de liti com a factor tensioactiu. Les perles es preparen per triplicat; la primera té funció de neteja del material, i les altres dues són per a mesura i duplicat.

Les pastilles per a la determinació dels elements traça es van fer seguint el protocol dels SCT de la UB: 6 g de mostra molturada i seca (estufa a 100°C), tractats amb 2 ml d'Elvacite dissolt en acetona (solució al 20%) en un morter d'àngata, es posen en un càpsula d'Al sobre un llit d'àcid bòric. La càpsula amb la mostra és compactada a una pressió màxima de 200 kN durant 1 minut.

4.3.3 Preparació de la solució per a ICP.

La preparació de les solucions per a determinació d'elements traça mitjançant ICP es va fer seguint un protocol intern. Es pesen 0,1 g de mostra seca directament a la bomba d'atac, s'afegeix HNO_3 + HClO_4 + HF en proporcions en volum 2,5:2,5:5, es remou suaument el contingut de la bomba per a que la mostra quedi ben impregnada amb els àcids, i es deixen les bombes en una estufa a 90°C durant un mínim de 12 hores. S'obren les bombes, s'esbandeix la tapa amb aigua ultrapura vessant el producte de la neteja a la bomba, i s'evapora el contingut d'aquestes fins a sequedat incipient en un bany de sorra. S'afegeix 1 ml d' HNO_3 i es torna a evaporar fins a sequedat incipient; aquest pas es fa dues vegades. S'afegeix 1 ml d' HNO_3 i 2 ml d'aigua ultrapura, i es deixa en un bany de sorra durant 10-15 minuts (o fins que la perla d'evaporació anterior s'hagi dissolt completament). Es transfereix el contingut de la bomba a un matràs de 100 ml i s'afora. A partir de cada solució es preparen dues mostres, una per a ICP-MS, i una per ICP-OES.

4.3.4 Anàlisi

La determinació dels elements majors i d'alguns traces s'ha fet per FRX amb l'espectrofotòmetre de raigs X Philips PW 2400 dels SCT de la UB. La quantificació dels elements amb l'espectrofotòmetre es realitza mitjançant una recta de calibratge feta a partir de 56 mostres geològiques de referència internacional.

La determinació dels elements traces mitjançant ICP s'ha fet amb l'ICP-MS Perkin Elmer Elan 6000 i l'ICP-OES Perkin Elmer Optima 3200 RL dels SCT de la UB. El calibratge de l'instrument es realitza mitjançant un preparat (solució) comercial de composició certificada. Per comprovar la qualitat de les solucions preparades i de les anàlisis s'han passat dos blancs i un patró internacional (JA-3 Andesite, Geological Survey of Japan).

4.3.5 Calcinació

S'han fet calcinacions de les mostres per tal de calcular el contingut en volàtils estructurals. Les calcinacions s'han fet pesant 0,5 g de mostra molturada i seca en un gresol i calcinant a 900°C durant un mínim de 4 hores amb una mufla en ambient oxidant.

4.4 Estudi petrològic

L'estudi petrològic s'ha realitzat mitjançant l'observació de totes les mostres amb microscopi petrogràfic, i la posterior anàlisi de la química mineral de les mostres més representatives amb la Microsonda electrònica CAMECA SX-50 dels SCT de la UB.

4.5 Processat de les dades i interpretació

S'han processat les dades pròpies, i s'han analitzat les dades químiques bibliogràfiques per tal de seleccionar-ne les que poden ésser aprofitades. La

interpretació s'ha fet a partir de l'estudi de tot el conjunt de dades existents.

5. PETROLOGIA

En aquest apartat es farà una descripció detallada de les característiques petrològiques generals de les mostres de la zona d'estudi, tant de les textures com dels components minerals.

5.1 Característiques generals

Les roques que formen les colades estudiades són afanítiques de coloració gris clar a gris fosc; a ull nu només es poden reconèixer alguns fenocristalls i xenòlits. Són vesiculars, tot i que el grau de vesiculació depèn fortament del punt de mostreig, amb vesiculació quasi inexistent a la base i augmentant cap al sostre de la colada. En làmina prima s'observa textura porfírica amb fenocristalls i microfenocristalls de clinopiroxè, olivina i plagiòclasi, i una matriu formada per opacs i, a vegades, fases que creixen amb morfologies al·lotriomorfes entre els microcristalls. Pel que fa a la cristal·linitat de la matriu i l'abundància de micròlits, aquestes depenen del grau de cristal·lització de la roca, que pot ser hipohialina a holocristal·lina, i que alhora depèn de la colada i del punt de mostreig dins d'aquesta. En la majoria dels casos la matriu és pilotàxica, tot i que també n'hi ha de hialopilitiques. Finalment, hi ha presència de xenocristalls i xenòlits, de dimensions i composicions variables. Tret de rares excepcions (p.ex. les colades del sector de riu Ser als voltants de Santa Pau), aquests últims són menys abundants i de menors dimensions que en els piroclastos, fruit de la pròpia dinàmica d'emissió i circulació de la lava.

5.2 Components essencials

5.2.1 Olivina

L'olivina es presenta majoritàriament com a fenocristalls, tot i que algunes mostres són riques en microfenocristalls d'aquest mineral. Presenta morfologies idiomòrfiques a hipidiomòrfiques, sovint amb creixements esquelètics o allargats, però en alguns casos també pot presentar indicis de corrosió que li confereixen aspecte arrodonit. Els cristalls són frescs (només alguna de les mostres presenta olivines amb una mica d'alteració a productes rogenes, iddingsita, a les vores), nets, i incolors al microscopi. Poden estar bastant fracturats (incloent fractures concoïdals i concèntriques), i se'n poden trobar de corroïts amb extinció ondulant, que corresponen molt probablement a xenocristalls.

5.2.2 Clinopiroxè

El clinopiroxè és el mineral que mostra més varietat pel que fa a composicions, morfologies i orígens. Es presenta com a fenocristalls i microcristalls, lliures o en aglomerats. Els més grans solen tenir un

nucli diferenciat de vores arrodonides sobrecregut pel clinopiroxè en equilibri amb el fos, que acaba donant morfologies idiomòrfiques, en alguns casos amb creixement final esquelètic fruit del creixement sobre un nucli irregular. Aquests nuclis poden ser de diverses tipologies: es troben nuclis de coloracions verdoses amb pleocroïsmes febles que poden ser parcialment reemplaçats per clinopiroxè de coloració marronosa (per difusió atòmica), nuclis marrons, nuclis que són de fet un cristall de mineral opac, i nuclis que han desaparegut i dels quals només en queda un fantasma format per un agregat criptocristal·lí d'opacs, feldspats i matriu. Tots els nuclis poden estar sans o presentar diferents graus de corrosió (en textura *sieve*). Els cristalls més petits no solen presentar nucli. Els microfenocristalls són predominantment idiomòrfics d'hàbit equidimensional o prismàtic curt.

El clinopiroxè en equilibri amb el fos, que forma els sobrecreixements sobre els nuclis, els fenocristalls sense nucli, i els microfenocristalls, està zonat i presenta coloracions que van de bru-groguenc al centre, a marró i marró-rosat a les vores. La zonació és més marcada a les vores, i en alguns casos pot ser oscil·latòria. El clinopiroxè també pot formar epitaxies sobre les vores exposades al fos dels xenòlits, sobrecreixent tan clinopiroxens com ortopiroxens, i agregats de microfenocristalls a les aurèoles de reacció al voltant de xenocristalls d'ortopiroxè.

5.2.3 Plagiòclasi

Es presenta en forma de micròlits idiomòrfics a hipidiomòrfics frescs i nets, maclats segons la llei de l'albita, que poden variar molt en abundància i mida. En algunes mostres es pot observar algun fenocristall de plagiòclasi, idiomòrfic, amb abundants macles, i que pot presentar una mica de zonació.

La plagiòclasi també es pot trobar com a xenocristall. En aquests casos estan corroïdes adoptant morfologies al·lotriomòrfiques arrodonides, en alguns casos amb textura *sieve* (en colador), i poden tenir a la vora una franja de reacció formada per un agregat criptocristal·lí de feldspats i opacs, i un petit sobrecreixement de plagiòclasi que tendeix a adoptar morfologies idiomòrfiques però amb creixement esquelètic. Els xenocristalls solen estar també molt maclats.

5.2.4 Opacs

Els minerals opacs es troben fonamentalment a la matriu com a microcristalls idiomòrfics a hipidiomòrfics d'hàbit equidimensional. També es troben com a inclusions dins dels piroxens, o com a productes de reemplaçament en forma d'agregat criptocristal·lí de cristalls inestables (principalment piroxens i amfibols). Una altra forma, menys abundant, són els cristalls de dimensions més grans, de morfologia arrodonida, sovint corroïts, i amb unes

vores que poden ser llises o presentar com petites interdigitacions micromètriques amb el fos.

5.2.5 Altres cristalls de matriu (components accessoris)

En aquest treball no s'ha buscat la presència i distribució de cristalls accessoris a la matriu per tal de definir les mostres, i per tant el que aquí s'explica és fruit de l'estudi de les roques de la regió per part d'altres autors, especialment J. Tournon. Tournon (1969) indica la presència a la matriu d'algunes roques de feldspat alcalí, petites plaquetes de biotita, leucita, nefelina i analcima. Feldspat alcalí i biotita es poden trobar en els basalts com a petits cristalls intersticials al·lotriomorfs a la matriu. La presència de leucita es va confirmar mitjançant difracció de raigs X, i la seva distribució a la roca es va estudiar mitjançant tinció d'aquesta amb cobalt-nitrit de sodi, que li dona un color groc marcat. Pot arribar a representar el 10% en volum de la roca. La leucita es troba a la matriu com a fase intersticial repartida en zones de morfologia circular en secció, d'alguns mm de diàmetre. Fora de les zones amb leucita la matriu pot estar formada per nefelina i feldspat alcalí (escassos dins les zones amb leucita) entre d'altres. La leucita i nefelina es troben en roques basanítiques. L'alcima es presenta intersticial, repartida en clapes dins la roca, i engloba nombroses inclusions que semblen ser vítries (a la zona de la Garrotxa, Tournon només va trobar analcima en una mostra de lava basanítica). Tots aquests minerals poden estar presents o no a les roques.

5.2.6 Altres xenocristalls

A més de xenocristalls d'olivina, clinopiroxè i plagiòclasi és possible trobar també xenocristalls d'amfibol, ortopiroxè, titanita o quars.

Els amfibols apareixen com a cristalls fortament pleocroïtes amb tonalitats que van de quasi incolor a marró fosc, corroïts i reemplaçats parcialment per un agregat criptocristal·lí d'opacs, piroxens i feldspats. Sovint es troben fantasmes al·lotriomorfs d'hàbit elongat, formats per un agregat de minerals com el que reemplaça els amfibols, i que per tant poden ser interpretats com a antics cristalls d'aquest mineral, completament reemplaçats.

Els ortopiroxens són incoloros i es presenten com a cristalls molt corroïts amb una aurèola de reacció on cristal·litzen microcristalls d'olivina i clinopiroxè. Poden estar parcialment sobrecreguts per un clinopiroxè amb creixement de tendència idiomòrfica.

La titanita es troba com a cristalls corroïts amb una vora de reacció que genera un agregat criptocristal·lí amb minerals opacs.

El quars apareix com a petits xenocristalls corroïts amb una aurèola de reacció on cristal·litzen en corona microcristalls aciculars de feldspat amb ordenament aproximadament radial.

5.2.7 Xenòlits

Els xenòlits observats durant la realització d'aquest estudi són escassos i de petites dimensions, de

manera que no és possible fer-ne una descripció o classificació acurada. Els diferents xenòlits identificats poden ser classificats genèricament en xenòlits fèlsics o màfics. Entre els fèlsics s'han trobat xenòlits formats íntegrament per plagiòclasi, per plagiòclasi amb alguna inclusió d'apatita, plagiòclasi + quars, i plagiòclasi + quars + feldspat alcalí. Els màfics estan formats per clinopiroxè, ortopiroxè i olivina, sols o en combinacions. Per una descripció més detallada dels xenòlits observables a la zona de la Garrotxa es recomana consultar els treballs de Llobera (1983), Araña et al. (1983), Llovet i Galán (2003) i Bianchini et al. (2007).

6. GEOQUÍMICA

6.1 Resultats propis

L'anàlisi geoquímica de roca total realitzada en aquest estudi sobre un conjunt de 37 noves mostres proporciona un nou joc de dades sobre la geoquímica de la regió olotina que s'afegeix a les dades ja existents a la bibliografia. Aquestes noves dades es presenten a les Taules 1 i 2. Els majors provenen de l'anàlisi mitjançant FRX. En els cas dels traces, atès que hi ha elements que s'han analitzat tan amb FRX com amb ICP, s'han seleccionat per cada element els valors obtinguts amb el mètode més adient i que més s'ajusten al valor real; aquesta selecció s'ha fet a partir de l'anàlisi dels resultats obtinguts per als blancs i patrons analitzats.

A la Taula 1 es proporciona també el valor de *Loss on ignition* (LOI) obtingut a partir de la calcinació de les mostres. Una roca volcànica bàsica es considera fresca per valors de LOI inferiors al 2,5%. En el cas de les mostres estudiades, les pèrdues de massa són molt petites, i fins i tot hi ha guanys (GOI, *Gain on ignition*). Això és degut a l'oxidació del ferro reduït primari present en aquestes roques (Lechler i Desilets, 1987), i és indicatiu de que les mostres no estaven significativament alterades. Aquest guany de massa per l'oxidació del ferro no permet calcular el contingut en volàtils estructurals de les mostres, ja que no es coneix la relació original Fe_2O_3/FeO .

6.2 Actualització de la base bibliogràfica

Les noves dades disponibles han permès revisar les dades geoquímiques publicades anteriorment per tal d'avaluar la qualitat de les anàlisis i actualitzar així la base de dades de què es disposa per estudiar la geoquímica de la regió. Els treballs revisats en aquest estudi són: Tournon (1969), Coy-Yll et al. (1974), Araña et al. (1983), Guérin et al. (1985), López Ruiz i Rodríguez Badiola (1985), Williams Thorpe i Thorpe (1985), Martí et al. (1992), Neumann et al. (1999), Cebrià et al. (2000), Gisbert (2006), i Bianchini et al. (2007). A més de la qualitat de les dades també s'ha tingut en compte a l'hora de

considerar aprofitable una anàlisi el fet de que es conegui la procedència de la mostra, ja que una mostra de la qual es desconeix l'origen no és útil per a interpretació. Així doncs, a continuació es discutirà, en base als elements majors, sobre la conveniència de tenir en compte les dades dels diferents autors de cara a futurs estudis; la valoració es farà per ordre cronològic.

La geoquímica efectuada per Tournon (1969) presenta valors massa elevats d' Al_2O_3 , especialment en les mostres 1 i 2, lleugerament elevats de MgO i Na_2O , i baixos pel que fa al Fe , especialment en la mostra 1. Per aquests motius s'ha decidit descartar les 2 anàlisis disponibles per la zona d'Olot d'aquest autor.

Les mostres de Coy-Yll et al. (1974) no mostren problemes greus pel que fa a la qualitat de l'anàlisi. Tot i això es decideix descartar les mostres CA02-1 i CA02-2 perquè no se'n pot determinar la procedència.

Araña et al. (1983) proporciona un conjunt d'anàlisis de majors i traces que seran ampliat per Martí et al. (1992) en el camp dels traces, ja que aquest torna a processar les mateixes mostres però analitzant més elements. Aquestes anàlisis presenten bona qualitat pel que fa als majors; no és així, però, pel que fa a les traces, tal com es posa de manifest quan es comparen tant amb dades de la bibliografia com amb les pròpies d'aquest treball.

En el treball de Guérin et al. (1985) es presenten anàlisis de roca total de 6 mostres de la zona de la Garrotxa. Malauradament només s'informa de la procedència d'una d'elles (CA 8308), que és així l'única anàlisi aprofitable.

López Ruiz i Rodríguez Badiola (1985) proporcionen anàlisis de bona qualitat en els majors i amb alguns traces, que són millorats i ampliat per Cebrià et al. (2000), que refà la geoquímica de traces de les mateixes mostres. En aquest cas, hi ha dues mostres de les que es desconeix la procedència i són per tant descartades: GA-01 i GA-06. En la comparació dels majors amb la resta de mostres estudiades, algunes presenten continguts aparentment elevats de MgO i baixos de SiO_2 ; tot i això, atès que no es disposa de mostres pròpies de les zones representades per aquestes anàlisis per poder comparar, no es descarten.

En el cas de Williams Thorpe i Thorpe (1985) les anàlisis són correctes, si bé la situació de les mostres no és del tot ben especificada. Tot i això són aprofitades.

Neumann et al. (1999) proporciona només una anàlisi de roca total però està ben situat i és de bona qualitat.

Les dades de Gisbert (2006) són aprofitades totes, si bé cal tenir present de cara a la interpretació que la mostra ACC és un accidental de lava massiva expulsat durant l'erupció del volcà de la Garrinada, de manera que no se'n coneix l'origen en profunditat dins el rebliment volcànic de la vall del Fluvià. A més presenta una lleugera alteració fruit de la interacció amb fluids calents durant l'erupció.

| | PAU-1 | PAU-2 | PAU-3 | PAU-4 | PAU-5 | PAU-6 | PAU-7 | PAU-8 | PAU-9 | PAU-10 | PAU-11 | PAU-12 | PAU-13 | PAU-14 | PAU-15 | PAU-16 | PAU-17 | PAU-18 | PAU-19 |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| MAJORS (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SiO ₂ | 45,21 | 45,24 | 45,30 | 45,36 | 44,88 | 44,42 | 44,54 | 44,71 | 44,68 | 43,49 | 44,43 | 44,36 | 45,39 | 44,55 | 44,57 | 46,25 | 44,50 | 44,00 | 44,21 |
| Al ₂ O ₃ | 14,76 | 14,66 | 14,80 | 14,70 | 14,75 | 14,74 | 14,71 | 14,70 | 14,81 | 14,70 | 14,53 | 14,39 | 15,22 | 14,67 | 14,52 | 15,39 | 14,65 | 14,67 | 14,61 |
| Fe ₂ O ₃ | 11,78 | 11,58 | 11,73 | 12,28 | 12,72 | 12,99 | 13,01 | 12,92 | 12,93 | 12,56 | 12,17 | 12,59 | 11,66 | 12,82 | 12,13 | 11,30 | 12,89 | 13,08 | 13,02 |
| MnO | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,17 | 0,19 | 0,19 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,19 | 0,17 | 0,17 | 0,19 | 0,19 | 0,19 |
| MgO | 9,04 | 8,97 | 8,97 | 9,04 | 8,74 | 8,91 | 8,87 | 8,86 | 8,57 | 9,14 | 8,77 | 9,36 | 8,01 | 8,64 | 8,98 | 7,47 | 8,49 | 8,72 | 8,56 |
| CaO | 10,41 | 10,26 | 10,37 | 10,46 | 9,80 | 9,93 | 10,00 | 9,85 | 9,84 | 9,66 | 9,69 | 9,56 | 9,27 | 9,77 | 9,61 | 8,84 | 9,90 | 9,90 | 9,89 |
| Na ₂ O | 3,36 | 3,67 | 3,48 | 3,31 | 3,39 | 3,33 | 3,52 | 3,63 | 3,68 | 3,27 | 3,52 | 3,56 | 4,03 | 3,67 | 3,53 | 3,75 | 3,71 | 3,60 | 3,56 |
| K ₂ O | 1,82 | 1,79 | 1,91 | 1,71 | 2,05 | 1,96 | 1,79 | 1,79 | 2,03 | 1,87 | 1,98 | 2,17 | 2,55 | 1,94 | 2,20 | 2,71 | 1,80 | 1,80 | 1,93 |
| TiO ₂ | 2,58 | 2,54 | 2,58 | 2,65 | 2,57 | 2,63 | 2,65 | 2,65 | 2,65 | 2,70 | 2,60 | 2,63 | 2,52 | 2,61 | 2,55 | 2,40 | 2,63 | 2,66 | 2,67 |
| P ₂ O ₅ | 0,66 | 0,66 | 0,66 | 0,63 | 0,73 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | 0,74 | 0,61 | 0,58 | 0,56 | 0,65 | 0,73 | 0,62 | 0,61 | 0,74 | 0,75 | 0,75 |
| Total | 99,77 | 99,51 | 99,95 | 100,29 | 99,79 | 99,81 | 99,97 | 99,99 | 100,09 | 98,15 | 98,42 | 99,33 | 99,46 | 99,58 | 98,86 | 98,86 | 99,49 | 99,36 | 99,38 |
| LOI (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LOI | -0,17 | -0,16 | -0,11 | -0,13 | 0,02 | 0,10 | -0,20 | -0,11 | -0,39 | 0,78 | 0,45 | -0,05 | 0,03 | -0,27 | 0,20 | 0,21 | -0,08 | -0,24 | -0,20 |
| NORMA (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ortosa | 10,87 | 10,76 | 11,41 | 10,16 | 12,23 | 11,76 | 10,70 | 10,70 | 12,12 | 11,41 | 12,00 | 13,00 | 15,31 | 11,64 | 13,24 | 16,37 | 10,81 | 10,81 | 11,58 |
| Albita | 11,90 | 11,15 | 10,45 | 12,69 | 10,88 | 9,76 | 10,62 | 11,24 | 9,60 | 9,18 | 10,26 | 7,75 | 9,91 | 10,33 | 8,97 | 13,83 | 11,04 | 9,83 | 9,85 |
| Anortita | 20,04 | 18,50 | 19,32 | 20,36 | 19,26 | 19,73 | 19,28 | 18,73 | 18,07 | 20,53 | 18,51 | 17,20 | 16,19 | 18,07 | 17,72 | 17,51 | 18,30 | 18,90 | 18,54 |
| Leucita | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Nefelina | 9,14 | 11,02 | 10,48 | 8,39 | 9,83 | 10,16 | 10,57 | 10,74 | 11,85 | 10,43 | 10,99 | 12,40 | 13,33 | 11,50 | 11,64 | 10,02 | 11,30 | 11,45 | 11,26 |
| Diòpsid | 22,46 | 23,33 | 22,86 | 22,40 | 20,45 | 20,64 | 21,22 | 21,06 | 21,48 | 20,09 | 21,89 | 22,12 | 21,21 | 21,39 | 21,79 | 18,76 | 21,73 | 21,25 | 21,48 |
| Hiperstena | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Olivina | 15,43 | 16,23 | 16,39 | 15,66 | 17,84 | 18,29 | 17,94 | 17,90 | 17,22 | 18,80 | 17,16 | 18,31 | 14,03 | 17,44 | 17,50 | 13,88 | 17,11 | 17,90 | 17,45 |
| Magnetita | 3,67 | 2,60 | 2,62 | 3,81 | 2,84 | 2,91 | 2,89 | 2,89 | 2,86 | 2,77 | 2,83 | 3,65 | 2,87 | 2,74 | 3,55 | 2,90 | 2,94 | 2,93 | 2,93 |
| Ilmenita | 4,96 | 4,90 | 4,94 | 5,07 | 4,94 | 5,05 | 5,09 | 5,09 | 5,07 | 5,28 | 5,07 | 5,07 | 4,86 | 5,03 | 4,94 | 4,63 | 5,07 | 5,15 | 5,15 |
| Apatita | 1,53 | 1,53 | 1,55 | 1,46 | 1,71 | 1,69 | 1,69 | 1,69 | 1,71 | 1,44 | 1,37 | 1,32 | 1,51 | 1,71 | 1,46 | 1,44 | 1,74 | 1,76 | 1,76 |
| Total | 100,01 | 100,00 | 100,02 | 100,01 | 99,99 | 100,01 | 100,02 | 100,02 | 100,01 | 100,01 | 100,02 | 100,00 | 100,00 | 100,01 | 100,00 | 100,00 | 100,01 | 100,01 | 100,00 |
| %An | 62,75 | 62,41 | 64,90 | 61,60 | 63,90 | 66,90 | 64,48 | 62,50 | 65,30 | 69,10 | 64,34 | 68,94 | 62,03 | 63,62 | 66,39 | 55,87 | 62,38 | 65,79 | 65,30 |
| | PAU-60 | PAU-61 | PAU-62 | PAU-63 | PAU-64 | PAU-65 | PAU-66 | PAU-67 | PAU-68 | PAU-70 | PAU-74 | PAU-75 | PAU-76 | PAU-76B | PAU-91 | PAU-92 | PAU-93 | PAU-94 | |
| MAJORS (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SiO ₂ | 48,18 | 43,79 | 44,54 | 44,88 | 46,61 | 44,28 | 44,59 | 45,39 | 47,96 | 44,56 | 46,83 | 49,43 | 48,81 | 47,62 | 44,90 | 44,96 | 44,82 | 46,17 | |
| Al ₂ O ₃ | 15,13 | 14,28 | 14,79 | 14,82 | 16,22 | 14,69 | 14,73 | 14,28 | 15,72 | 14,79 | 15,14 | 15,07 | 15,28 | 14,68 | 14,66 | 14,60 | 14,67 | 15,39 | |
| Fe ₂ O ₃ | 10,43 | 12,01 | 12,23 | 12,38 | 12,44 | 12,21 | 12,24 | 13,05 | 12,22 | 12,36 | 10,96 | 10,84 | 10,34 | 11,88 | 11,60 | 12,29 | 11,99 | 11,21 | |
| MnO | 0,16 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,17 | 0,17 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | |
| MgO | 7,67 | 9,23 | 8,56 | 8,53 | 6,51 | 8,94 | 8,45 | 9,06 | 6,46 | 8,60 | 7,58 | 7,16 | 7,62 | 8,11 | 8,96 | 9,09 | 9,46 | 7,63 | |
| CaO | 8,51 | 10,68 | 9,54 | 9,51 | 8,76 | 9,42 | 9,95 | 9,07 | 9,55 | 8,78 | 8,07 | 8,53 | 9,28 | 9,38 | 9,81 | 9,75 | 8,87 | 8,87 | |
| Na ₂ O | 3,62 | 2,40 | 3,71 | 3,73 | 3,01 | 3,48 | 3,70 | 2,7 | 3,35 | 3,63 | 3,72 | 3,50 | 3,90 | 3,42 | 3,65 | 3,59 | 3,29 | 3,81 | |
| K ₂ O | 2,49 | 1,65 | 2,45 | 2,16 | 1,21 | 2,43 | 2,16 | 1,23 | 1,26 | 2,46 | 2,20 | 1,94 | 2,56 | 1,20 | 2,22 | 2,26 | 1,98 | 2,56 | |
| TiO ₂ | 2,02 | 2,47 | 2,56 | 2,55 | 2,33 | 2,52 | 2,53 | 2,54 | 2,26 | 2,58 | 2,17 | 2,02 | 2,00 | 2,27 | 2,49 | 2,53 | 2,41 | 2,40 | |
| P ₂ O ₅ | 0,47 | 0,61 | 0,73 | 0,73 | 0,50 | 0,68 | 0,73 | 0,43 | 0,45 | 0,73 | 0,55 | 0,45 | 0,48 | 0,49 | 0,68 | 0,70 | 0,59 | 0,63 | |
| Total | 98,66 | 97,27 | 99,27 | 99,45 | 97,74 | 99,13 | 98,71 | 98,79 | 98,89 | 99,42 | 98,08 | 98,60 | 99,65 | 99,09 | 98,68 | 99,98 | 99,11 | 98,83 | |
| LOI (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LOI | 0,23 | 1,53 | -0,27 | -0,22 | 1,51 | -0,29 | -0,22 | 0,35 | 0,27 | -0,40 | 0,20 | 0,02 | 0,14 | 0,11 | 0,04 | | | 0,00 | |
| NORMA (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ortosa | 15,01 | 10,11 | 14,72 | 12,94 | 7,39 | 14,60 | 13,06 | 7,39 | 7,56 | 14,72 | 13,36 | 11,70 | 15,31 | 7,21 | 13,42 | 13,47 | 11,94 | 15,42 | |
| Albita | 20,88 | 11,23 | 8,42 | 10,46 | 26,32 | 7,27 | 10,65 | 18,38 | 28,72 | 8,51 | 19,34 | 30,29 | 20,56 | 25,70 | 11,31 | 8,33 | 10,35 | 14,44 | |
| Anortita | 18,10 | 24,24 | 16,79 | 17,61 | 28,14 | 17,59 | 17,65 | 23,81 | 24,72 | 17,11 | 18,66 | 20,13 | 16,85 | 21,60 | 17,45 | 17,22 | 19,79 | 17,70 | |
| Leucita | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Nefelina | 5,65 | 5,33 | 12,72 | 11,71 | 0,00 | 12,33 | 11,56 | 2,69 | 0,12 | 12,26 | 7,04 | 0,00 | 6,92 | 2,03 | 10,97 | 12,13 | 9,75 | 10,01 | |
| Diòpsid | 17,71 | 21,59 | 21,41 | 20,73 | 11,00 | 21,84 | 20,53 | 19,39 | 14,93 | 21,15 | 18,12 | 14,42 | 18,44 | 17,94 | 20,64 | 22,19 | 20,72 | 18,61 | |
| Hiperstena | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,41 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Olivina | 14,34 | 18,42 | 15,47 | 17,14 | 15,16 | 16,04 | 17,13 | 19,41 | 15,73 | 15,69 | 14,45 | 14,62 | 13,76 | 17,30 | 16,12 | 17,45 | 18,70 | 14,16 | |
| Magnetita | 3,29 | 2,75 | 3,83 | 2,78 | 2,84 | 3,83 | 2,77 | 2,96 | 2,75 | 3,87 | 3,48 | 3,42 | 3,22 | 2,68 | 3,65 | 2,74 | 2,70 | 3,52 | |
| Ilmenita | 3,91 | 4,88 | 4,94 | 4,92 | 4,56 | 4,90 | 4,92 | 4,94 | 4,39 | 4,98 | 4,24 | 3,91 | 3,84 | 4,39 | 4,82 | 4,84 | 4,67 | 4,65 | |
| Apatita | 1,11 | 1,46 | 1,71 | 1,71 | 1,20 | 1,60 | 1,74 | 1,02 | 1,07 | 1,71 | 1,32 | 1,07 | 1,11 | 1,16 | 1,60 | 1,62 | 1,39 | 1,48 | |
| Total | 100,01 | 100,01 | 100,01 | 100,02 | 100,02 | 100,01 | 100,01 | 100,00 | 100,00 | 100,01 | 100,01 | 100,01 | 100,01 | 100,01 | 99,99 | 100,00 | 100,01 | 100,00 | |
| %An | 46,44 | 68,34 | 66,60 | 62,75 | 51,67 | 70,75 | 62,38 | 56,43 | 46,25 | 66,78 | 49,11 | 39,92 | 45,04 | 45,66 | 60,69 | 67,39 | 65,66 | 55,07 | |

TAULA 1 Composició en elements majors i norma mineral de les mostres pròpies. El sodi prové de l'anàlisi de FRX sobre perla excepte en la mostra PAU-67, que correspon a FRX sobre pastilla

| | PAU-1 | PAU-2 | PAU-3 | PAU-4 | PAU-5 | PAU-6 | PAU-7 | PAU-8 | PAU-9 | PAU-10 | PAU-11 | PAU-12 | PAU-13 | PAU-14 | PAU-15 | PAU-16 | PAU-17 | PAU-18 | PAU-19 | PAU-60 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ag | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| As | 1,93 | 1,84 | 1,89 | 1,64 | 1,49 | 2,35 | 2,00 | 1,51 | 2,10 | 2,86 | 2,48 | 2,41 | 2,95 | 1,63 | 1,58 | 2,74 | 1,39 | 2,03 | 1,25 | 2,74 |
| Au | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ba* | 588 | 593 | 566 | 531 | 654 | 638 | 609 | 600 | 672 | 648 | 660 | 614 | 732 | 676 | 628 | 658 | 632 | 635 | 658 | 692 |
| Be | 1,43 | 1,41 | 1,52 | 1,44 | 1,42 | 1,41 | 1,28 | 1,45 | 1,36 | 1,60 | 1,65 | 1,59 | 1,76 | 1,54 | 1,82 | 1,85 | 1,45 | 1,42 | 1,44 | 1,73 |
| Bi (ng/g) | 11 | 12 | 13 | 28 | 11 | 18 | 17 | 63 | 9 | 13 | 11 | 11 | 15 | 15 | 18 | 24 | 32 | 11 | 9 | 20 |
| Cd | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ce | 99 | 103 | 105 | 97 | 108 | 107 | 108 | 114 | 111 | 107 | 106 | 103 | 117 | 112 | 111 | 106 | 115 | 111 | 116 | 100 |
| Co* | 61,2 | 60,8 | 57,4 | 52,4 | 56,7 | 56,7 | 59,6 | 55,1 | 57,5 | 70,3 | 59,6 | 58,1 | 54,4 | 54,8 | 61,8 | 65,7 | 57,5 | 58,7 | 57,4 | 60,1 |
| Cr | 246 | 258 | 256 | 223 | 149 | 143 | 142 | 138 | 129 | 135 | 136 | 147 | 98 | 112 | 144 | 93 | 138 | 128 | 143 | 221 |
| Cs | 0,50 | 0,54 | 0,53 | 0,49 | 0,49 | 0,55 | 0,52 | 0,53 | 0,54 | 0,71 | 0,93 | 0,81 | 0,99 | 0,54 | 0,81 | 0,93 | 0,51 | 0,52 | 0,54 | 0,84 |
| Cu* | 70,2 | 65,9 | 62,3 | 72,5 | 57,8 | 60,7 | 64,4 | 58,2 | 55,1 | 62,6 | 58,6 | 64,7 | 57,3 | 52,4 | 63,1 | 50,8 | 66,3 | 50,7 | 56,1 | 53,1 |
| Dy | 6,04 | 6,21 | 6,23 | 6,23 | 6,67 | 6,66 | 6,81 | 7,22 | 6,93 | 6,27 | 6,07 | 6,05 | 6,37 | 6,95 | 6,33 | 6,04 | 7,01 | 7,00 | 7,00 | 5,62 |
| Er | 2,73 | 2,84 | 2,82 | 2,83 | 3,05 | 3,02 | 3,12 | 3,23 | 3,16 | 2,89 | 2,82 | 2,80 | 2,95 | 3,13 | 2,88 | 2,76 | 3,18 | 3,13 | 3,16 | 2,65 |
| Eu | 2,60 | 2,72 | 2,74 | 2,73 | 2,95 | 2,90 | 2,98 | 3,18 | 2,98 | 2,66 | 2,62 | 2,83 | 3,01 | 2,73 | 2,58 | 3,06 | 3,06 | 3,03 | 3,05 | 2,33 |
| Ga* | 21,6 | 21,5 | 21,3 | 21,6 | 21,7 | 21,2 | 20,9 | 20,8 | 20,8 | 21,3 | 21,5 | 20,6 | 21,5 | 20,4 | 20,3 | 20,9 | 20,4 | 20,2 | 20,4 | 19,7 |
| Gd | 8,36 | 8,66 | 8,78 | 8,66 | 9,43 | 9,34 | 9,47 | 10,09 | 9,55 | 8,81 | 8,68 | 8,46 | 9,14 | 9,66 | 8,92 | 8,42 | 9,71 | 9,61 | 9,58 | 7,55 |
| Ge | 1,12 | 1,11 | 1,12 | 1,15 | 1,08 | 1,11 | 1,12 | 1,11 | 1,14 | 1,16 | 1,11 | 1,10 | 1,11 | 1,18 | 1,19 | 1,17 | 1,16 | 1,20 | 1,13 | 1,15 |
| Hf | 4,18 | 6,75 | 6,76 | 6,71 | 6,35 | 6,58 | 6,69 | 6,53 | 6,30 | 6,38 | 7,21 | 6,24 | 8,31 | 7,08 | 7,76 | 7,42 | 6,59 | 6,58 | 5,18 | 5,03 |
| Ho | 0,97 | 1,01 | 1,02 | 1,02 | 1,11 | 1,08 | 1,12 | 1,16 | 1,13 | 1,01 | 0,99 | 0,99 | 1,03 | 1,13 | 1,02 | 0,97 | 1,15 | 1,13 | 1,13 | 0,93 |
| La | 50,2 | 53,0 | 53,3 | 48,2 | 53,5 | 53,1 | 53,0 | 55,2 | 54,9 | 54,7 | 55,0 | 53,4 | 61,5 | 55,2 | 57,3 | 56,4 | 56,3 | 54,3 | 55,3 | 53,0 |
| Li | 4,85 | 5,07 | 4,88 | 4,83 | 5,14 | 5,32 | 5,21 | 5,20 | 5,16 | 6,06 | 6,48 | 5,99 | 7,13 | 5,48 | 6,36 | 6,42 | 5,45 | 5,30 | 5,33 | 7,77 |
| Lu | 0,30 | 0,30 | 0,31 | 0,30 | 0,33 | 0,32 | 0,33 | 0,34 | 0,33 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,32 | 0,34 | 0,31 | 0,32 | 0,34 | 0,33 | 0,34 | 0,31 |
| Mo | 3,00 | 2,75 | 2,58 | 2,14 | 2,63 | 3,42 | 2,59 | 2,44 | 2,88 | 3,04 | 3,02 | 4,21 | 5,32 | 2,64 | 3,36 | 3,74 | 3,15 | 2,87 | 2,91 | 3,52 |
| Nb* | 72,0 | 73,7 | 71,7 | 64,9 | 69,7 | 71,4 | 67,4 | 74,8 | 72,3 | 73,5 | 73,2 | 69,1 | 79,4 | 71,2 | 71,4 | 70,7 | 70,3 | 67,4 | 69,4 | 73,7 |
| Nd | 46,9 | 48,2 | 49,5 | 47,1 | 52,2 | 52,0 | 52,8 | 57,0 | 53,5 | 49,5 | 48,4 | 47,6 | 52,4 | 54,0 | 50,1 | 47,4 | 55,1 | 53,7 | 54,3 | 42,3 |
| Ni* | 153 | 151 | 144 | 134 | 157 | 163 | 164 | 164 | 153 | 174 | 163 | 174 | 138 | 149 | 161 | 129 | 144 | 158 | 152 | 150 |
| Pb | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pr | 12,1 | 12,6 | 12,7 | 11,9 | 13,4 | 13,2 | 13,4 | 14,4 | 13,8 | 12,9 | 12,7 | 12,4 | 13,9 | 13,8 | 13,3 | 12,5 | 14,2 | 13,7 | 13,9 | 11,5 |
| Pt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ra | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rb | 42,1 | 45,3 | 44,4 | 40,6 | 40,9 | 41,1 | 41,1 | 41,6 | 43,2 | 51,5 | 59,4 | 56,8 | 66,1 | 42,9 | 60,9 | 70,5 | 42,3 | 42,8 | 41,9 | 59,6 |
| Sb | 0,54 | 0,46 | 0,35 | 0,42 | 0,27 | 0,38 | 0,38 | 0,25 | 0,26 | 0,36 | 0,47 | 0,40 | 0,38 | 0,51 | 0,44 | 0,45 | 0,43 | 0,32 | 0,33 | 0,34 |
| Sc | 27,8 | 28,2 | 28,9 | 28,9 | 24,8 | 24,8 | 26,3 | 25,0 | 24,4 | 27,4 | 26,8 | 27,1 | 24,9 | 23,9 | 26,4 | 22,1 | 23,8 | 24,0 | 23,7 | 21,2 |
| Se | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sm | 8,40 | 8,65 | 8,75 | 8,56 | 9,36 | 9,30 | 9,66 | 10,18 | 9,56 | 8,86 | 8,60 | 8,44 | 9,12 | 9,73 | 8,88 | 8,39 | 9,86 | 9,68 | 9,80 | 7,39 |
| Sn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sr* | 911 | 932 | 923 | 888 | 1104 | 1162 | 1048 | 1125 | 1102 | 888 | 903 | 846 | 968 | 1082 | 898 | 890 | 1078 | 1052 | 1063 | 779 |
| Ta | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tb | 1,11 | 1,15 | 1,15 | 1,15 | 1,25 | 1,24 | 1,27 | 1,33 | 1,27 | 1,17 | 1,14 | 1,12 | 1,18 | 1,26 | 1,14 | 1,10 | 1,27 | 1,27 | 1,28 | 1,01 |
| Tc | 2,74 | 2,14 | 2,34 | 2,40 | 2,13 | 3,14 | 1,99 | 1,80 | 2,71 | 2,38 | 2,30 | 2,18 | 1,48 | 2,46 | 2,71 | 2,16 | 2,45 | 2,62 | 1,91 | 1,78 |
| Th | 5,49 | 5,93 | 5,74 | 4,99 | 4,90 | 4,92 | 4,85 | 5,03 | 4,99 | 6,43 | 6,57 | 6,31 | 7,17 | 5,19 | 6,80 | 7,05 | 5,16 | 5,00 | 5,07 | 7,73 |
| Tl | 0,05 | 0,07 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,07 | 0,10 | 0,09 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,10 |
| Tm | 0,33 | 0,35 | 0,35 | 0,34 | 0,37 | 0,37 | 0,38 | 0,39 | 0,39 | 0,36 | 0,35 | 0,35 | 0,37 | 0,39 | 0,36 | 0,34 | 0,40 | 0,38 | 0,39 | 0,34 |
| U | 1,37 | 1,49 | 1,44 | 1,19 | 1,25 | 1,25 | 1,20 | 1,24 | 1,25 | 1,63 | 1,62 | 1,61 | 1,82 | 1,30 | 1,71 | 1,85 | 1,30 | 1,23 | 1,30 | 2,04 |
| V | 289 | 292 | 291 | 301 | 282 | 286 | 298 | 284 | 290 | 317 | 303 | 308 | 281 | 281 | 294 | 255 | 278 | 292 | 284 | 225 |
| W | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Y* | 28,6 | 27,1 | 27,9 | 27,6 | 30,0 | 31,8 | 30,4 | 30,9 | 31,5 | 28,0 | 28,6 | 26,2 | 29,2 | 31,5 | 26,8 | 27,2 | 31,4 | 31,7 | 32,1 | 25,6 |
| Yb | 2,04 | 2,13 | 2,14 | 2,09 | 2,27 | 2,28 | 2,31 | 2,42 | 2,31 | 2,19 | 2,12 | 2,11 | 2,22 | 2,35 | 2,21 | 2,13 | 2,37 | 2,34 | 2,33 | 2,14 |
| Zn* | 102 | 96 | 98 | 98 | 104 | 111 | 108 | 108 | 108 | 106 | 105 | 99 | 106 | 104 | 97 | 97 | 103 | 108 | 105 | 95 |
| Zr* | 244 | 249 | 248 | 223 | 224 | 229 | 226 | 226 | 228 | 273 | 323 | 262 | 294 | 228 | 275 | 280 | 230 | 217 | 222 | 303 |

TAULA 2 Contingut en elements traça de les mostres analitzades obtingut mitjançant ICP-MS excepte quan s'indica el contrari. El valor es dona en µg/g excepte que s'indiqui d'una altra manera. *Dades de FRX

| | PAU-61 | PAU-62 | PAU-63 | PAU-64 | PAU-65 | PAU-66 | PAU-67 | PAU-68 | PAU-69 | PAU-70 | PAU-71 | PAU-74 | PAU-75 | PAU-76 | PAU-76B | PAU-91 | PAU-92 | PAU-93 | PAU-94 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Ag | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| As | 1,74 | 2,83 | 1,87 | 0,75 | 2,14 | 1,81 | 1,34 | 0,55 | 1,55 | 2,32 | 1,91 | | | | | | | | |
| Au | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ba* | 607 | 662 | 639 | 467 | 668 | 665 | 385 | 399 | 541 | 689 | 639 | 764 | 639 | 731 | 502 | 724 | 702 | 652 | 781 |
| Be | 1,64 | 1,91 | 1,93 | 1,43 | 1,81 | 1,81 | 1,14 | 1,38 | 1,48 | 1,89 | 1,77 | | | | | | | | |
| Bi (ng/g) | 17 | 42 | 20 | 34 | 18 | 13 | 8 | 22 | 3 | 83 | 10 | | | | | | | | |
| Cd | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ce | 101 | 123 | 122 | 80 | 113 | 123 | 61 | 75 | 95 | 122 | 111 | 115* | 85* | 110* | 78* | 107* | 121* | 67* | 98* |
| Co* | 64,7 | 89,8 | 56,7 | 45,1 | 79,4 | 115,6 | 59,5 | 51,1 | 62,6 | 72,6 | 57,0 | 52,3 | 64,3 | 53,2 | 54,4 | 56,9 | 54,4 | 63,5 | 54,6 |
| Cr | 248 | 149 | 161 | 166 | 156 | 158 | 263 | 164 | 231 | 148 | 188 | 127* | 152* | 151* | 152* | 130* | 132* | 137* | 79* |
| Cs | 0,74 | 0,82 | 0,74 | 0,05 | 0,82 | 0,75 | 0,26 | 0,21 | 0,46 | 0,82 | 0,67 | | | | | | | | |
| Cu* | 61,3 | 54,3 | 53,6 | 39,9 | 56,5 | 53,4 | 74,3 | 49,2 | 58,6 | 55,0 | 50,5 | 52,1 | 53,5 | 51,6 | 44,2 | 60,4 | 53,5 | 54,3 | 53,2 |
| Dy | 6,22 | 6,78 | 6,82 | 6,06 | 6,49 | 6,85 | 5,39 | 5,68 | 6,23 | 6,72 | 6,55 | | | | | | | | |
| Er | 2,84 | 3,05 | 3,10 | 2,80 | 2,95 | 3,09 | 2,48 | 2,64 | 2,81 | 3,07 | 2,97 | | | | | | | | |
| Eu | 2,69 | 2,97 | 2,95 | 2,45 | 2,83 | 2,95 | 2,21 | 2,29 | 2,68 | 2,90 | 2,86 | | | | | | | | |
| Ga* | 19,5 | 20,3 | 20,8 | 22,1 | 20,3 | 20,8 | 20 | 22 | 20 | 21 | 20,7 | 19,3 | 20,3 | 19 | 19,7 | 19,6 | 18,9 | 18,9 | 19,5 |
| Gd | 8,49 | 9,65 | 9,56 | 7,75 | 9,19 | 9,68 | 6,87 | 7,24 | 8,55 | 9,52 | 9,04 | | | | | | | | |
| Ge | 1,15 | 1,20 | 1,16 | 1,20 | 1,15 | 1,19 | 1,21 | 1,18 | 1,13 | 1,12 | 1,16 | | | | | | | | |
| Hf | 5,80 | 6,86 | 6,84 | 5,58 | 7,77 | 8,18 | 5,00 | 5,40 | 6,36 | 6,73 | 6,29 | | | | | | | | |
| Ho | 1,01 | 1,10 | 1,10 | 1,01 | 1,05 | 1,09 | 0,90 | 0,96 | 1,01 | 1,09 | 1,06 | | | | | | | | |
| La | 51,0 | 60,4 | 59,3 | 40,8 | 56,3 | 60,4 | 29,3 | 37,2 | 47,0 | 59,5 | 56,6 | | | | | | | | |
| Li | 5,74 | 7,18 | 6,96 | 5,61 | 6,72 | 6,90 | 5,76 | 5,37 | 5,17 | 6,94 | 5,61 | | | | | | | | |
| Lu | 0,32 | 0,34 | 0,34 | 0,30 | 0,33 | 0,34 | 0,27 | 0,29 | 0,31 | 0,34 | 0,33 | | | | | | | | |
| Mo | 2,21 | 3,38 | 2,31 | 0,75 | 3,13 | 2,59 | 1,31 | 1,54 | 1,81 | 3,30 | 2,53 | | | | | | | | |
| Nb* | 68,6 | 78,6 | 77,2 | 50,7 | 73,9 | 79,5 | 41,8 | 49 | 62,6 | 79,8 | 74 | 79,4 | 62 | 74,7 | 54,2 | 77,8 | 74 | 62,6 | 71,8 |
| Nd | 47,4 | 55,4 | 55,5 | 39,3 | 52,4 | 56,0 | 33,0 | 36,9 | 46,2 | 54,9 | 51,3 | | | | | | | | |
| Ni* | 181 | 143 | 132 | 87 | 159 | 140 | 174 | 85 | 143 | 145 | 104 | 128 | 130 | 142 | 155 | 159 | 152 | 159 | 120 |
| Pb | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pr | 12,3 | 14,6 | 14,6 | 10,0 | 13,6 | 14,6 | 7,9 | 9,3 | 11,8 | 14,3 | 13,4 | | | | | | | | |
| Pt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ra | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rb | 42,9 | 57,8 | 52,9 | 13,0 | 57,2 | 53,9 | 18,9 | 19,3 | 37,7 | 56,7 | 48,9 | | | | | | | | |
| Sb | 0,31 | 0,36 | 0,29 | 0,24 | 0,32 | 0,61 | 0,56 | 0,19 | 0,40 | 0,44 | 0,28 | | | | | | | | |
| Sc | 26,6 | 25,2 | 24,9 | 23,5 | 26,5 | 24,7 | 26,6 | 22,5 | 25,9 | 24,9 | 24,59 | | | | | | | | |
| Se | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sm | 8,60 | 9,78 | 9,73 | 7,64 | 9,33 | 9,75 | 6,86 | 7,23 | 8,58 | 9,64 | 9,20 | | | | | | | | |
| Sn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sr* | 893 | 940 | 948 | 656 | 900 | 961 | 708 | 740 | 880 | 955 | 985 | 986 | 741 | 779 | 754 | 968 | 920 | 790 | 910 |
| Ta | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tb | 1,13 | 1,25 | 1,23 | 1,09 | 1,20 | 1,24 | 0,97 | 1,03 | 1,14 | 1,23 | 1,19 | | | | | | | | |
| Te | 2,85 | 2,38 | 1,99 | 1,76 | 2,78 | 2,13 | 1,94 | 1,65 | 2,03 | 1,58 | 1,78 | | | | | | | | |
| Th | 6,14 | 7,34 | 7,18 | 4,17 | 6,74 | 7,21 | 3,25 | 4,08 | 4,93 | 7,23 | 6,70 | 4,0 | 4,4 | 5,7 | 5,7 | 8,2 | 4,3 | 3,9 | 5,9 |
| Tl | 0,07 | 0,11 | 0,08 | 0,02 | 0,12 | 0,11 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,12 | 0,08 | | | | | | | | |
| Tm | 0,35 | 0,38 | 0,38 | 0,35 | 0,37 | 0,38 | 0,30 | 0,33 | 0,35 | 0,37 | 0,37 | | | | | | | | |
| U | 1,43 | 1,93 | 1,76 | 0,75 | 1,77 | 1,79 | 0,73 | 0,97 | 1,20 | 1,90 | 1,63 | | | | | | | | |
| V | 284 | 287 | 277 | 187 | 294 | 277 | 272 | 229 | 264 | 281 | 292 | | | | | | | | |
| W | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Y* | 28,6 | 30,4 | 30,1 | 29,2 | 30,7 | 31,6 | 28,0 | 28,7 | 30,4 | 31,7 | 30,7 | 27,1 | 25,3 | 25,9 | 25,7 | 27,8 | 28,3 | 25,4 | 26,5 |
| Yb | 2,18 | 2,36 | 2,34 | 2,15 | 2,25 | 2,36 | 1,85 | 2,02 | 2,11 | 2,34 | 2,30 | | | | | | | | |
| Zn* | 101 | 110 | 106 | 113 | 106 | 109 | 112 | 108 | 103 | 110 | 99 | 97 | 107 | 97 | 106 | 92 | 101 | 99 | 93 |
| Zr* | 238 | 297 | 294 | 203 | 281 | 299 | 171 | 196 | 220 | 301 | 260 | 289 | 261 | 309 | 215 | 292 | 293 | 251 | 296 |

TAULA 2 (Continuació) Contingut en elements traça de les mostres analitzades obtingut mitjançant ICP-MS excepte quan s'indica el contrari. El valor es dona en µg/g excepte que s'indiqui d'una altra manera. *Dades de FRX

Finalment, la geoquímica de la mostra de Bianchini et al. (2007) es descarta perquè se'n desconeix la procedència.

Fruit d'aquesta anàlisi exhaustiva de la geoquímica disponible s'ha obtingut una base de dades geoquímiques que pot ésser usada tant per aquest treball com de cara al futur.

6.3 Homogeneïtzació del ferro

Atès que el contingut en ferro de les anàlisis són subministrats pels autors de manera variada, s'ha procedit al seu recàlcul amb un criteri uniforme. Primer amb el Fe expressat com a FeO total, i en segon lloc seguint les proporcions entre FeO i Fe₂O₃ proposades per Middlemost (1989) quan es fa necessari conèixer els dos valors, com en el cas del càlcul de la norma. Per tal d'atribuir en cada cas el valor Fe₂O₃/FeO segons Middlemost (1989) s'han projectat de nou les anàlisis en un diagrama TAS (Le Maitre et al., 1989).

6.4 Càlcul de la norma mineral

En el cas de les roques bàsiques, el càlcul de la norma mineral és necessari per a la seva correcta classificació en base a la química de roca total. Atès que la majoria dels treballs de la bibliografia no mostren els resultats d'aquest càlcul, en aquest estudi la norma s'ha calculat per les dades existents junt amb les dades pròpies tot emprant el programa Igpert (Carr, 2005). Com s'ha dit anteriorment, per al càlcul de la norma mineral s'han usat les relacions Fe₂O₃/FeO proposades per Middlemost (1989). El resultat d'aquest càlcul es mostra a la Taula 1 i a la Taula 3.

6.5 Nomenclatura de les mostres

La nomenclatura de les mostres estudiades per altres autors ha estat establerta seguint diferents criteris (petrogràfics en la majoria dels casos, però també usant dades geoquímiques) i, fins i tot, hi ha treballs que no aborden una classificació formal de les roques, tot i que els assignen un nom. És per això necessari abordar una classificació homogènia d'aquestes. Per tal de dur a terme aquesta classificació s'ha seguit el procediment establert per la Subcomissió de Nomenclatura de Roques Ígnies de la IUGS (Le Maitre et al., 1989), complementat en el cas dels basalts amb els criteris proposats per Middlemost (1975).

Les mostres han estat projectades en un diagrama TAS a partir de dades amb la relació entre Fe₂O₃/FeO de Middlemost (1989) i normalitzades al 100% en base anhidra. Això ha permès diferenciar entre basanites/tefrites, traquibasalts i basalts. Les mostres del camp basanita/tefrita han estat definitivament classificades en funció del contingut en olivina normativa. Els traquibasalts han estat subdividits en hawaiïtes i traquibasalts potàssics amb el

criteri següent: si %pes Na₂O – 2% < % pes K₂O, la roca es classifica com a traquibasalt potàssic; si no, es classifica com a hawaiïta. Pel que fa als basalts, una primera classificació s'ha fet seguint el criteri del tetraedre de Yoder i Tilley (1962), segons el qual si un basalt té nefelina normativa s'anomena basalt alcalí, i si no en té és un basalt subalcalí. La subdivisió entre alcalins i subalcalins s'ha confirmat amb diferents rectes i corbes per diagrama àlcals/sílíce existents a la bibliografia. Una classificació successiva ha estat en basalts pobres en K, basalts amb contingut mig en K, i basalts rics en K segons el diagrama de Peccerillo i Taylor (1976), pensat inicialment per a la subdivisió de les sèries basalt-riolita generades en context col·lisional (sèries calcoalcalines), que tanmateix ha demostrat ser útil als efectes perseguits en aquest treball. Finalment, i com a complement, s'ha aplicat la classificació dels basalts proposada per Middlemost (1975) projectant en primer lloc les mostres basàltiques en diagrames Na₂O/SiO₂ i K₂O/SiO₂ per separar basalts alcalins, transicionals i subalcalins. Els basalts alcalins han estat projectats a continuació en un diagrama K₂O/Na₂O per obtenir una nomenclatura més detallada.

El resultat de la classificació de les mostres per tal d'obtenir per primer cop una nomenclatura seguint un criteri uniforme en base a la geoquímica de roca total per tota la zona d'estudi es mostra a la Taula 4.

6.6 Agrupació de les mostres per a anàlisi de dades

De cara a l'anàlisi de la geoquímica de les mostres, per poder observar les característiques de les diferents unitats, relacions entre unitats i possibles indicis d'evolució en el sistema, s'han generat diverses classificacions de les mostres analitzades en funció de nombrosos criteris: zona a la que pertanyen dins de la regió volcànica, unitat segons la Carta Vulcanològica de la Zona Volcànica de la Garrotxa (Losantos i Planagumà, 2007), edifici eruptiu, edats relatives, i edats absolutes.

Dins de la zona volcànica d'Olot s'han diferenciat diverses subzones (Figura 2): Castellfollit, Sant Joan les Fonts, Olot, Batet, Santa Pau, Sant Feliu de Pallerols i Sant Esteve de Llémena són les principals. A més, s'han considerat com a zones manifestacions volcàniques relativament aïllades o de difícil adscripció a cap de les zones precedents; aquestes són: Bosc de Tosca (bt), Volcà de la Banya de Boc, Volcà de la Fontpobra i Volcà Traiter. La zona de Castellfollit comprèn les colades del Fluvià i Castellfollit, així com les colades que baixen per la vall del riu Toronell sense comptar la colada procedent de la zona de Batet. La zona de Sant Joan les Fonts conté les colades inferiors conegudes com a colada de Molí Fondo i del Boscarró, de relació desconeguda amb les colades de Castellfollit, i s'hi inclou per comparar la colada que segons la carta vulcanològica prové del

| | CAT-9 | CAT-10 | CAT-14 | CAT-15 | GA-8 | GA-7 | GA-15 | GA-13 | GA-20 | GA-11 | GA-9 | GA-12 | GA-5 | GA-18 | GA-19 | GA-17 | GA-2 | CA09-1 | CA09-2 | |
|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|
| NORMA (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ortosa | 12,41 | 11,70 | 9,10 | 13,89 | 13,30 | 14,54 | 12,71 | 14,95 | 12,82 | 9,31 | 10,64 | 9,10 | 10,34 | 8,39 | 8,51 | 8,33 | 10,28 | 9,75 | 9,63 | |
| Albita | 8,99 | 8,30 | 10,47 | 17,78 | 0,66 | 3,03 | 7,41 | 3,02 | 8,56 | 0,00 | 3,68 | 5,72 | 14,29 | 20,65 | 19,70 | 22,71 | 26,87 | 22,64 | 21,47 | |
| Anortita | 17,50 | 21,17 | 21,15 | 17,30 | 17,21 | 15,46 | 13,73 | 8,28 | 18,59 | 19,35 | 17,07 | 14,32 | 16,01 | 23,80 | 22,52 | 22,72 | 16,77 | 19,40 | 18,57 | |
| Leucita | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,85 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Nefelina | 11,73 | 12,56 | 10,05 | 7,33 | 17,38 | 15,92 | 15,33 | 19,31 | 14,62 | 17,24 | 14,46 | 14,92 | 10,64 | 6,23 | 8,08 | 5,44 | 3,92 | 5,25 | 6,06 | |
| Diòpsid | 24,71 | 20,68 | 22,48 | 17,38 | 26,78 | 26,36 | 20,62 | 28,36 | 20,95 | 24,62 | 26,98 | 30,29 | 25,58 | 17,93 | 19,09 | 18,08 | 20,75 | 18,97 | 19,44 | |
| Hiperstena | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Olivina | 16,41 | 16,45 | 18,21 | 16,50 | 14,61 | 14,80 | 19,14 | 15,78 | 14,78 | 19,53 | 17,85 | 16,07 | 13,73 | 13,78 | 13,02 | 13,05 | 12,47 | 14,71 | 15,07 | |
| Magnetita | 2,68 | 2,89 | 2,97 | 3,77 | 3,81 | 3,81 | 3,58 | 3,84 | 3,32 | 3,06 | 2,96 | 2,96 | 3,91 | 3,52 | 3,55 | 3,47 | 3,38 | 3,76 | 3,76 | |
| Ilmenita | 4,77 | 5,26 | 4,98 | 5,17 | 4,86 | 4,52 | 5,51 | 4,48 | 4,96 | 4,73 | 4,92 | 5,17 | 4,37 | 4,54 | 4,46 | 5,01 | 4,50 | 4,41 | 4,41 | |
| Apatita | 0,83 | 1,00 | 0,60 | 0,90 | 1,39 | 1,55 | 1,97 | 1,97 | 1,41 | 1,32 | 1,44 | 1,46 | 1,14 | 1,16 | 1,07 | 1,18 | 1,07 | 1,14 | 1,60 | |
| Total | 100,02 | 100,00 | 100,02 | 100,02 | 100,01 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,01 | 100,01 | 100,00 | 100,00 | 100,02 | 100,01 | 100,00 | 100,00 | 100,01 | 100,01 | 100,02 | |
| %An | 66,06 | 71,84 | 66,88 | 49,31 | 96,30 | 83,61 | 64,94 | 73,24 | 68,48 | 100,00 | 82,25 | 71,45 | 52,84 | 53,54 | 53,34 | 50,01 | 38,44 | 46,15 | 46,38 | |
| | CA10-1 | CA12-1 | CA12-2 | CA03-1 | CA04-1 | CA08-1 | CA06-1 | CA06-2 | CA07-1 | CA07-3 | CA07-4 | CA07-5 | CA05-1 | CA11-1 | CA11-2 | CA01-1 | CA01-4 | OLP - 1 | OLP - 2 | |
| NORMA (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ortosa | 10,93 | 11,11 | 11,94 | 12,59 | 13,53 | 13,42 | 10,22 | 10,76 | 15,25 | 13,42 | 7,03 | 10,87 | 11,88 | 14,07 | 12,88 | 8,75 | 11,64 | 11,41 | 11,17 | |
| Albita | 26,77 | 28,23 | 27,56 | 5,13 | 7,47 | 8,66 | 9,78 | 10,11 | 13,71 | 10,90 | 24,44 | 19,77 | 7,49 | 7,26 | 7,07 | 12,59 | 8,40 | 11,49 | 8,51 | |
| Anortita | 17,93 | 18,44 | 17,79 | 17,11 | 13,87 | 15,15 | 16,57 | 17,27 | 15,90 | 16,12 | 21,87 | 18,39 | 17,04 | 15,00 | 16,14 | 17,52 | 15,06 | 18,51 | 13,60 | |
| Leucita | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Nefelina | 4,25 | 3,09 | 4,14 | 14,87 | 17,27 | 13,78 | 13,22 | 13,00 | 11,97 | 11,98 | 2,81 | 6,34 | 13,78 | 14,96 | 14,19 | 9,86 | 15,35 | 10,60 | 17,08 | |
| Diòpsid | 17,35 | 16,74 | 16,65 | 24,79 | 24,01 | 23,67 | 23,39 | 22,32 | 20,08 | 22,13 | 17,71 | 21,30 | 25,11 | 23,02 | 24,64 | 24,00 | 24,57 | 20,85 | 25,03 | |
| Hiperstena | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Olivina | 14,17 | 13,82 | 13,55 | 16,05 | 13,41 | 15,18 | 17,21 | 16,86 | 13,52 | 15,43 | 18,52 | 14,07 | 15,83 | 15,28 | 15,09 | 16,73 | 14,24 | 17,77 | 14,26 | |
| Magnetita | 3,52 | 3,48 | 3,41 | 2,71 | 3,74 | 3,73 | 2,86 | 2,83 | 3,47 | 3,67 | 2,70 | 3,68 | 2,67 | 3,80 | 3,74 | 4,09 | 3,86 | 2,81 | 3,83 | |
| Ilmenita | 4,06 | 4,05 | 3,97 | 5,22 | 4,98 | 4,82 | 5,05 | 5,03 | 4,63 | 4,86 | 3,97 | 4,31 | 4,69 | 4,88 | 4,82 | 5,11 | 5,20 | 5,03 | 5,00 | |
| Apatita | 1,04 | 1,04 | 1,00 | 1,53 | 1,74 | 1,60 | 1,71 | 1,83 | 1,48 | 1,51 | 0,95 | 1,27 | 1,53 | 1,74 | 1,44 | 1,37 | 1,69 | 1,53 | 1,55 | |
| Total | 100,03 | 100,01 | 100,00 | 100,01 | 100,02 | 100,01 | 100,01 | 100,01 | 100,01 | 100,01 | 100,00 | 100,01 | 100,01 | 100,01 | 100,01 | 100,02 | 100,01 | 100,00 | 100,01 | |
| %An | 40,11 | 39,51 | 39,23 | 76,94 | 64,98 | 63,64 | 62,89 | 63,09 | 53,71 | 59,67 | 47,22 | 48,19 | 69,48 | 67,39 | 69,54 | 58,18 | 64,20 | 61,71 | 61,52 | |
| | GN - 1 | ACC | GN - 3 | BOMBA | FLUIDAL | NO FL. | CA 8308 | #F | CAS 1 | CAS 2 | CAS 3 | OLO 1 | OLO 2 | OLO 5 | OLO 6 | OLO7 | SF 1 | | | |
| NORMA (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ortosa | 11,82 | 5,38 | 12,23 | 9,87 | 10,22 | 10,11 | 13,59 | 10,46 | 9,46 | 12,06 | 11,94 | 7,92 | 7,80 | 11,58 | 12,00 | 14,01 | 9,28 | | | |
| Albita | 10,82 | 11,24 | 6,08 | 7,42 | 16,32 | 13,57 | 7,75 | 12,23 | 23,03 | 13,49 | 30,14 | 24,39 | 26,74 | 20,40 | 8,98 | 8,07 | 13,26 | | | |
| Anortita | 18,38 | 11,01 | 16,31 | 16,97 | 21,50 | 21,70 | 17,11 | 18,36 | 21,42 | 20,87 | 19,52 | 22,41 | 24,41 | 21,32 | 18,97 | 17,44 | 19,37 | | | |
| Leucita | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | |
| Nefelina | 10,82 | 20,13 | 15,00 | 14,41 | 4,64 | 6,27 | 13,36 | 9,83 | 3,71 | 8,14 | 1,87 | 3,11 | 2,11 | 4,63 | 12,19 | 13,14 | 8,81 | | | |
| Diòpsid | 21,47 | 27,14 | 24,30 | 24,59 | 18,04 | 19,56 | 22,41 | 21,84 | 17,56 | 17,82 | 13,67 | 15,92 | 14,88 | 17,52 | 19,85 | 20,67 | 21,41 | | | |
| Hiperstena | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | |
| Olivina | 17,41 | 15,58 | 15,48 | 17,11 | 20,29 | 19,45 | 15,46 | 17,69 | 15,64 | 17,65 | 14,63 | 18,60 | 16,16 | 15,17 | 18,48 | 16,36 | 17,29 | | | |
| Magnetita | 2,77 | 3,58 | 3,83 | 2,80 | 2,84 | 2,83 | 3,78 | 2,80 | 3,81 | 3,71 | 3,42 | 2,77 | 2,71 | 3,73 | 2,90 | 3,84 | 4,13 | | | |
| Ilmenita | 5,00 | 4,52 | 5,15 | 5,22 | 4,84 | 5,07 | 5,00 | 5,20 | 4,29 | 4,77 | 3,84 | 3,97 | 4,18 | 4,37 | 4,94 | 4,84 | 5,09 | | | |
| Apatita | 1,53 | 1,41 | 1,64 | 1,60 | 1,30 | 1,46 | 1,55 | 1,60 | 1,09 | 1,51 | 0,97 | 0,90 | 1,00 | 1,30 | 1,71 | 1,64 | 1,37 | | | |
| Total | 100,03 | 100,00 | 100,02 | 100,00 | 100,01 | 100,01 | 100,01 | 100,01 | 100,01 | 100,01 | 100,00 | 100,00 | 99,99 | 100,01 | 100,02 | 100,02 | 100,02 | | | |
| %An | 62,94 | 49,48 | 72,85 | 69,57 | 56,85 | 61,53 | 68,84 | 60,01 | 48,19 | 60,74 | 39,30 | 47,89 | 47,73 | 51,10 | 67,87 | 68,36 | 59,36 | | | |

TAULA 3 Norma mineral calculada a partir de les dades analítiques provinents de la bibliografia. Vegeu Taula 5 per explicació de la procedència de les mostres

| Mostra | Segons autor | Camp en el TAS | Nom final | Fe ₂ O ₃ /FeO |
|---------|---------------------|------------------|---|-------------------------------------|
| CAT-9 | cap | basanita/tefrita | basanita | 0,2 |
| CAT-10 | cap | basanita/tefrita | basanita | 0,2 |
| CAT-14 | cap | basalt | basalt alcalí basalt ric en K basalt alcalí de la sèrie sòdica | 0,2 |
| CAT-15 | cap | traquibasalt | traquibasalt potàssic | 0,3 |
| GA-8 | basanita leucítica | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| GA-7 | basanita leucítica | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| GA-15 | basanita leucítica | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| GA-13 | basanita leucítica | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| GA-20 | basanita leucítica | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| GA-11 | basanita s.s. | basanita/tefrita | basanita | 0,2 |
| GA-9 | basanita s.s. | basanita/tefrita | basanita | 0,2 |
| GA-12 | basanita s.s. | basanita/tefrita | basanita | 0,2 |
| GA-5 | basanita s.s. | traquibasalt | hawaiiita | 0,3 |
| GA-18 | basanita s.s. | traquibasalt | hawaiiita | 0,3 |
| GA-19 | basanita s.s. | traquibasalt | hawaiiita | 0,3 |
| GA-17 | basalt olivínic | traquibasalt | hawaiiita | 0,3 |
| GA-2 | basalt olivínic | traquibasalt | hawaiiita | 0,3 |
| CA09-1 | basanites (petro) | traquibasalt | hawaiiita | 0,3 |
| CA09-2 | basanites (petro) | traquibasalt | hawaiiita | 0,3 |
| CA10-1 | basanites (petro) | traquibasalt | hawaiiita | 0,3 |
| CA12-1 | basanites (petro) | traquibasalt | hawaiiita | 0,3 |
| CA12-2 | basanites (petro) | traquibasalt | hawaiiita | 0,3 |
| CA03-1 | basanites (petro) | basanita/tefrita | basanita | 0,2 |
| CA04-1 | basanites (petro) | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| CA08-1 | basanites (petro) | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| CA06-1 | basanites (petro) | basanita/tefrita | basanita | 0,2 |
| CA06-2 | basanites (petro) | basanita/tefrita | basanita | 0,2 |
| CA07-1 | basanites (petro) | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| CA07-3 | basanites (petro) | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| CA07-4 | basanites (petro) | basalt | basalt alcalí basalt mig en K basalt alcalí de la sèrie sòdica | 0,2 |
| CA07-5 | basanites (petro) | traquibasalt | traquibasalt potàssic | 0,3 |
| CA05-1 | basanites (petro) | basanita/tefrita | basanita | 0,2 |
| CA11-1 | basanites (petro) | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| CA11-2 | basanites (petro) | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| CA01-1 | basanites (petro) | traquibasalt | hawaiiita | 0,3 |
| CA01-4 | basanites (petro) | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| OLP - 1 | basanita | basanita/tefrita | basanita | 0,2 |
| OLP - 2 | basanita | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| GN - 1 | basanita | basanita/tefrita | basanita | 0,2 |
| ACC | basanita | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| GN - 3 | basanita | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| BOMBA | basanita | basanita/tefrita | basanita | 0,2 |
| FLUIDAL | basalt alcalí sòdic | basalt | basalt alcalí basalt ric en K basalt alcalí de la sèrie potàssica | 0,2 |
| NO FL. | basalt alcalí sòdic | basalt | basalt alcalí basalt ric en K basalt alcalí de la sèrie potàssica | 0,2 |
| CA 8308 | cap | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| #F | tefrita | basanita/tefrita | basanita | 0,2 |
| CAS 1 | cap | traquibasalt | traquibasalt potàssic | 0,3 |
| CAS 2 | cap | traquibasalt | traquibasalt potàssic | 0,3 |
| CAS 3 | cap | traquibasalt | traquibasalt potàssic | 0,3 |

TAULA 4 Nomenclatura de les roques analitzades, pròpies i provinents de la bibliografia, segons autor, camp del diagrama TAS (Le Maitre et al., 1989) on queden projectades, i nom definitiu segons la classificació de la IUGS. Els basalts reben tres noms, de dalt a baix: nom segons el tetraedre de Yoder i Tilley (1962), segons Peccerillo i Taylor (1976), i segons Middlemost (1975). La columna de la dreta mostra la relació Fe₂O₃/FeO a usar en els càlculs segons Middlemost (1989)

| Mostra | Segons autor | Camp en el TAS | Nom final | Fe ₂ O ₃ /FeO |
|---------|--------------|------------------|---|-------------------------------------|
| OLO 1 | cap | basalt | basalt alcalí basalt ric en K basalt alcalí de la sèrie sòdica | 0,2 |
| OLO 2 | cap | basalt | basalt alcalí basalt ric en K basalt alcalí de la sèrie sòdica | 0,2 |
| OLO 5 | cap | traquibasalt | traquibasalt potàssic | 0,3 |
| OLO 6 | cap | basanita/tefrita | basanita | 0,2 |
| OLO7 | cap | basanita/tefrita | basanita | 0,3 |
| SF 1 | cap | traquibasalt | traquibasalt potàssic | 0,3 |
| PAU-1 | | traquibasalt | traquibasalt potàssic | 0,3 |
| PAU-2 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-3 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-4 | | traquibasalt | traquibasalt potàssic | 0,3 |
| PAU-5 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-6 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-7 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-8 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-9 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-10 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-11 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-12 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-13 | | basanita | basanita | 0,3 |
| PAU-14 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-15 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-16 | | basanita | basanita | 0,3 |
| PAU-17 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-18 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-19 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-60 | | traquibasalt | traquibasalt potàssic | 0,3 |
| PAU-61 | | basalt | basalt alcalí basalt ric en K basalt alcalí de la sèrie potàssica | 0,2 |
| PAU-62 | | basanita | basanita | 0,3 |
| PAU-63 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-64 | | basalt | basalt alcalí basalt ric en K basalt alcalí de la sèrie sòdica | 0,2 |
| PAU-65 | | basanita | basanita | 0,3 |
| PAU-66 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-67 | | basalt | basalt alcalí basalt ric en K basalt alcalí de la sèrie sòdica | 0,2 |
| PAU-68 | | basalt | basalt alcalí basalt mig en K basalt alcalí de la sèrie sòdica | 0,2 |
| PAU-70 | | basanita | basanita | 0,3 |
| PAU-74 | | traquibasalt | traquibasalt potàssic | 0,3 |
| PAU-75 | | traquibasalt | traquibasalt potàssic | 0,3 |
| PAU-76 | | traquibasalt | traquibasalt potàssic | 0,3 |
| PAU-76B | | basalt | basalt alcalí basalt mig en K basalt alcalí de la sèrie sòdica | 0,2 |
| PAU-91 | | basanita | basanita | 0,3 |
| PAU-92 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-93 | | basanita | basanita | 0,2 |
| PAU-94 | | basanita | basanita | 0,3 |

TAULA 4 (Continuació) *Nomenclatura de les roques analitzades, pròpies i provinents de la bibliografia, segons autor, camp del diagrama TAS (Le Maitre et al., 1989) on queden projectades, i nom definitiu segons la classificació de la IUGS. Els basalts reben tres noms, de dalt a baix: nom segons el tetraedre de Yoder i Tilley (1962), segons Peccerillo i Taylor (1976), i segons Middlemost (1975). La columna de la dreta mostra la relació Fe₂O₃/FeO a usar en els càlculs segons Middlemost (1989)*

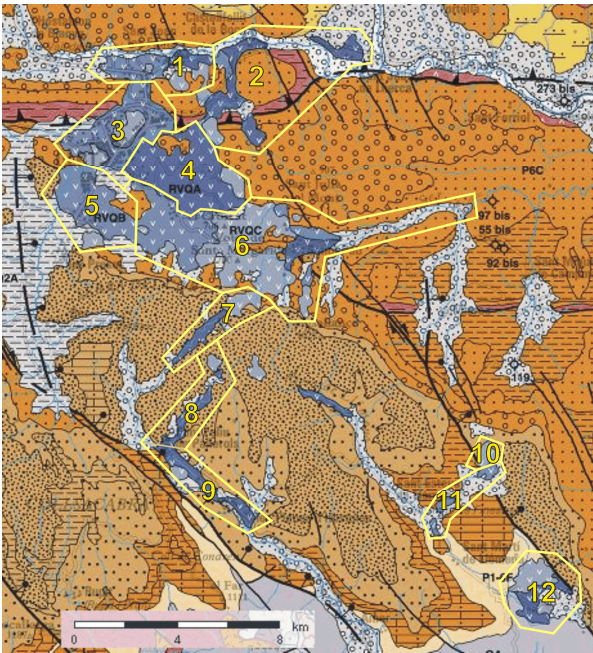


FIGURA 2 Zones del vulcanisme olotí. 1) Sant Joan les Fonts; 2) Castellfollit; 3) Olot; 4) Batet; 5) Bosc de Tosca; 6) Santa Pau; 7) Fontpobra; 8) Traiter; 9) Sant Feliu de Pallerols; 10) Puig Montner; 11) Sant Esteve de Llèmena, 12) Banyà de Boc. Base geològica 1:250.000 de l'ICC (Losantos et al., 1989), modificada

volcà de la Garrinada, si bé cal tenir present que aquesta colada pertany pròpiament a la zona d'Olot. La zona d'Olot està constituïda per les colades del Pla d'Olot i les colades procedents dels volcans Garrinada, Montsacopa i Montolivet. La zona de Batet està formada únicament per les colades que formen l'altiplà de Batet de la Serra; també s'hi ha inclòs el volcà de Puig Astrol atesa la seva afinitat química amb els productes de Batet. La zona de Santa Pau s'estén des de la colada del Crosat aigües avall per la vall del riu Ser. El volcà de Simó ha estat inclòs en aquesta zona per la seva proximitat, així com el volcà de Pla Sa Ribera perquè les seves colades arriben al fons de la vall del Ser. La zona de Bosc de Tosca s'ha classificat independentment per la seva relativa separació de les altres zones comentades fins aquest punt. Les zones restants, pel seu aïllament, no requereixen comentaris.

La Carta Vulcanològica de la Zona Volcànica de la Garrotxa diferencia les principals unitats de colades làviques presents a la zona d'estudi. Tot i que aquest document presenta mancances en relació a la identificació d'unitats i cartografia d'aquestes, es pren com a base per a identificar les unitats en aquest estudi. Les mostres corresponents a productes piroclàstics i a colades de lava recollides en edificis volcànics s'han agrupat en funció del volcà al que pertanyen, tot emprant criteris addicionals que es detallen en cada cas.

Pel que fa a l'agrupament de les mostres per edats, s'han diferenciat les cronologies relatives establertes a partir de la relació entre unitats representada a la Carta Vulcanològica, i les cronologies

absolutes obtingudes per Guérin et al. (1985) a partir de termoluminiscència, i per C. Lewis (1999, comunicació personal a D. Gimeno, i recollides sense citar al mapa geològic 1:25.000, fulla 257-1-2 (75-22), de l'ICC (Berástegui et al., 2003)) pel mètode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Amb les cronologies relatives s'ha establert la seqüència per separat a cadascuna de les principals zones esmentades anteriorment, ja que no és possible amb les dades de què es disposa actualment establir una seqüència eruptiva per a tota la zona volcànica. Les agrupacions a partir de datacions absolutes s'han fet per separat amb colades làviques i amb cons volcànics.

A la Taula 5 es mostren els grups als que pertanyen les diferents mostres. A la Taula 6 es troben les seqüències cronològiques establertes.

7. QUÍMICA MINERAL

S'ha dut a terme un estudi detallat de la química mineral d'algunes mostres representatives de la zona (17 mostres en total: 4 traquibasalts potàssics i 13 basanites. Queden per analitzar en una fase successiva els basalts). L'estudi s'ha centrat en els fenocristalls, especialment en els de piroxè. Tot i això s'han recollit també abundants dades d'olivines, plagiòclasis, xenocristalls i cristalls formadors de xenòlits, així com algunes anàlisis de minerals de la matriu de les roques, corresponents a opacs, plagiòclasis, feldspats alcalins i feldspatoids.

7.1 Piroxens

En total s'han realitzat més de 500 anàlisis puntuals de piroxens amb valors de suma de % en pes d'òxids entre 99 i 101. Aquest gran nombre de dades ha permès caracteritzar químicament cadascuna de les tipologies de piroxè descrites a l'apartat de Petrologia, per cadascuna de les mostres analitzades.

Els piroxens han estat classificats seguint el procediment establert pel Subcommittee on Pyroxenes de la Commission on New Minerals and Mineral Names de la International Mineralogical Association (Morimoto, 1989). Tots ells es projecten en el camp Quad del diagrama Q-J. En el diagrama Wollastonita-Enstatita-Ferrosilita (Wo-En-Fs), tot el gruix dels piroxens es troba en el camp del diòpsid, excepte alguns que entren lleugerament en els camps de l'hedenbergita i l'augita.

Les anàlisis fetes sobre els piroxens s'han separat en diferents categories per tal de comparar les composicions. Els grups generats són les anàlisis fetes: en nuclis marrons, en nuclis marrons-rosats, en nucli verd, en centre marró de piroxens lliures sense nucli diferenciat, prop de la vora en zona de color groc, prop de la vora en zona de color marró, prop de la vora en zona de color rosat, i en vora rosada. Aquesta separació és fruit de l'observació mitjançant microscopi

| Mostra | Autor | Zona | Unitat | Volcà | Composició |
|------------|---------------------------------|-------------------------|------------|-----------------|-----------------------|
| CAT-9 | Martí et al. (1992) | Sant Joan les Fonts | ? | | basanita |
| CAT-10 | Martí et al. (1992) | Santa Pau | ? | | basanita |
| CAT-14 | Martí et al. (1992) | Sant Feliu de Pallerols | t1 | | basalt ric en K |
| CAT-15 | Martí et al. (1992) | Banya de Boc | | Banya de Boc | traquibasalt potàssic |
| GA-8 | Cebrià et al. (2000) | Santa Pau | | Croscat | basanita |
| GA-7 | Cebrià et al. (2000) | Santa Pau | s | | basanita |
| GA-15 | Cebrià et al. (2000) | Banya de Boc | | Banya de Boc | basanita |
| GA-13 | Cebrià et al. (2000) | Sant Esteve de Llémena | | Puig Montner | basanita |
| GA-20 | Cebrià et al. (2000) | Santa Pau | | Santa Margarida | basanita |
| GA-11 | Cebrià et al. (2000) | Traiter | | Traiter | basanita |
| GA-9 | Cebrià et al. (2000) | Fontpobra | | Fontpobra | basanita |
| GA-12 | Cebrià et al. (2000) | Traiter | | Traiter | basanita |
| GA-5 | Cebrià et al. (2000) | Castellfollit | cf | | hawaiita |
| GA-18 | Cebrià et al. (2000) | Batet | ba | | hawaiita |
| GA-19 | Cebrià et al. (2000) | Batet | ba | | hawaiita |
| GA-17 | Cebrià et al. (2000) | Batet | (ba) | | hawaiita |
| GA-2 | Cebrià et al. (2000) | Castellfollit | | Estany | hawaiita |
| CA09-1 | Coy-Yll et al. (1974) | Castellfollit | cf | | hawaiita |
| CA09-2 | Coy-Yll et al. (1974) | Castellfollit | cf | | hawaiita |
| CA10-1 | Coy-Yll et al. (1974) | Castellfollit | (be)(cs) | | hawaiita |
| CA12-1 | Coy-Yll et al. (1974) | Castellfollit | ? | | hawaiita |
| CA12-2 | Coy-Yll et al. (1974) | Castellfollit | ? | | hawaiita |
| CA03-1 | Coy-Yll et al. (1974) | Olot | | Montolivet | basanita |
| CA04-1 | Coy-Yll et al. (1974) | Olot | | Montsacopa | basanita |
| CA08-1 | Coy-Yll et al. (1974) | bt | bt | | basanita |
| CA06-1 | Coy-Yll et al. (1974) | Santa Pau | ? | | basanita |
| CA06-2 | Coy-Yll et al. (1974) | Santa Pau | ? | | basanita |
| CA07-1 | Coy-Yll et al. (1974) | Santa Pau | sp1 | | basanita |
| CA07-3 | Coy-Yll et al. (1974) | Santa Pau | sp1 | | basanita |
| CA07-4 | Coy-Yll et al. (1974) | Santa Pau | ? | | basalt mig en K |
| CA07-5 | Coy-Yll et al. (1974) | Santa Pau | s | | traquibasalt potàssic |
| CA05-1 | Coy-Yll et al. (1974) | Santa Pau | | Santa Margarida | basanita |
| CA11-1 | Coy-Yll et al. (1974) | Santa Pau | | Croscat | basanita |
| CA11-2 | Coy-Yll et al. (1974) | Santa Pau | cr | | basanita |
| CA01-1 | Coy-Yll et al. (1974) | Sant Feliu de Pallerols | sm (t1) | | hawaiita |
| CA01-4 | Coy-Yll et al. (1974) | Sant Feliu de Pallerols | sm (t1) | | basanita |
| OLP - 1 | Gisbert (2006) | Olot | o | | basanita |
| OLP- 2 | Gisbert (2006) | Olot | o | | basanita |
| GN - 1 | Gisbert (2006) | Olot | o | | basanita |
| ACC | Gisbert (2006) | Olot | ? | | basanita |
| GN - 3 | Gisbert (2006) | Olot | | Garrinada | basanita |
| BOMBA | Gisbert (2006) | Olot | | Garrinada | basanita |
| FLUIDAL | Gisbert (2006) | Olot | | Garrinada | basalt ric en K |
| NO FLUIDAL | Gisbert (2006) | Olot | | Garrinada | basalt ric en K |
| CA 8308 | Guérin et al. (1985) | bt | bt | | basanita |
| F | Neumann et al. (1999) | Santa Pau | | Rocanegra | basanita |
| CAS 1 | Williams Thorpe i Thorpe (1985) | Castellfollit | cf | | traquibasalt potàssic |
| CAS 2 | Williams Thorpe i Thorpe (1985) | Castellfollit | cf | | traquibasalt potàssic |
| CAS 3 | Williams Thorpe i Thorpe (1985) | Castellfollit | (cf) | | traquibasalt potàssic |
| OLO 1 | Williams Thorpe i Thorpe (1985) | Batet | ba | | basalt ric en K |
| OLO 2 | Williams Thorpe i Thorpe (1985) | Batet | ba | | basalt ric en K |
| OLO 5 | Williams Thorpe i Thorpe (1985) | Santa Pau | sp1 | | traquibasalt potàssic |
| OLO 6 | Williams Thorpe i Thorpe (1985) | Santa Pau | (sp1)(sp2) | | basanita |
| OLO7 | Williams Thorpe i Thorpe (1985) | Santa Pau | cr | | basanita |
| SF 1 | Williams Thorpe i Thorpe (1985) | Sant Feliu de Pallerols | (sm)(t1) | | traquibasalt potàssic |
| PAU-1 | Aquest treball | Santa Pau | dic | | traquibasalt potàssic |
| PAU-2 | Aquest treball | Santa Pau | sp1 | | basanita |
| PAU-3 | Aquest treball | Santa Pau | sp1 | | basanita |

TAULA 5 Pertinença de cada mostra als diferents grups generats. (): Atribució amb dubte; ?: grup desconegut. En la classificació per unitats, aquestes reben el nom assignat a la Carta Vulcanològica de la Zona Volcànica de la Garrotxa, tot i que per simplificació se n'obvia la part "Qbc-". ja que és comú a totes elles.

| Mostra | Autor | Zona | Unitat | Volcà | Composició |
|---------|----------------|---------------------|----------|---------------|-----------------------|
| PAU-4 | Aquest treball | Santa Pau | sp1 | | traquibasalt potàssic |
| PAU-5 | Aquest treball | Santa Pau | sp1 | | basanita |
| PAU-6 | Aquest treball | Santa Pau | sp2 | | basanita |
| PAU-7 | Aquest treball | Santa Pau | sp2 | | basanita |
| PAU-8 | Aquest treball | Santa Pau | sp2 | | basanita |
| PAU-9 | Aquest treball | Santa Pau | rn | | basanita |
| PAU-10 | Aquest treball | Santa Pau | ri | Pla Sa Ribera | basanita |
| PAU-11 | Aquest treball | Santa Pau | | Pla Sa Ribera | basanita |
| PAU-12 | Aquest treball | Santa Pau | ri | Pla Sa Ribera | basanita |
| PAU-13 | Aquest treball | Santa Pau | | Simó | basanita |
| PAU-14 | Aquest treball | Santa Pau | sp1 | | basanita |
| PAU-15 | Aquest treball | Santa Pau | sp1 | | basanita |
| PAU-16 | Aquest treball | Santa Pau | sp1 | | basanita |
| PAU-17 | Aquest treball | Santa Pau | rn | | basanita |
| PAU-18 | Aquest treball | Santa Pau | rn | | basanita |
| PAU-19 | Aquest treball | Santa Pau | rn | | basanita |
| PAU-60 | Aquest treball | Sant Joan les Fonts | mf | | traquibasalt potàssic |
| PAU-61 | Aquest treball | Olot | | Garrinada | basalt ric en K |
| PAU-62 | Aquest treball | Santa Pau | | Croscat | basanita |
| PAU-63 | Aquest treball | Santa Pau | dom (cr) | | basanita |
| PAU-64 | Aquest treball | Batet | ba | | basalt ric en K |
| PAU-65 | Aquest treball | Santa Pau | | Croscat | basanita |
| PAU-66 | Aquest treball | Santa Pau | | Croscat | basanita |
| PAU-67 | Aquest treball | Santa Pau | | Puig Martinyà | basalt ric en K |
| PAU-68 | Aquest treball | Batet | | Puig Astrol | basalt mig en K |
| PAU-70 | Aquest treball | Santa Pau | | Croscat | basanita |
| PAU-74 | Aquest treball | Castellfollit | cf | | traquibasalt potàssic |
| PAU-75 | Aquest treball | Castellfollit | cf | | traquibasalt potàssic |
| PAU-76 | Aquest treball | Sant Joan les Fonts | bo | | traquibasalt potàssic |
| PAU-76b | Aquest treball | Sant Joan les Fonts | | | basalt mig en K |
| PAU-91 | Aquest treball | Castellfollit | cs | | basanita |
| PAU-92 | Aquest treball | Olot | o | | basanita |
| PAU-93 | Aquest treball | Santa Pau | | Croscat | basanita |
| PAU-94 | Aquest treball | Santa Pau | sp1 | | basanita |

TAULA 5 (Continuació) *Pertinença de cada mostra als diferents grups generats. ()*: Atribució amb dubte; ? : grup desconegut. En la classificació per unitats, aquestes reben el nom assignat a la Carta Vulcanològica de la Zona Volcànica de la Garrotxa, tot i que per simplificació se n'obvia la part "Qbc-", ja que és comú a totes elles.

| Seqüència efusiva per zones (cronologies relatives) | | | |
|---|--------------------|---------|-----------|
| Castellfollit | St. Joan les Fonts | Olot | Santa Pau |
| fl | mf | o | s |
| cf | bo | ga | ri |
| cs | (ga) | ms | sp1 |
| be | (ms) | mo | sp2 |
| es | (mo) | (ba) | m |
| (ba) | | | (bt) |
| | | | cr |
| Seqüència efusiva segons cronologies absolutes | | | |
| Volcans | | Unitats | |
| Garrinada | | ba | |
| Banya de Bóc | | cf | |
| Puig Martinyà | | ga | |
| Puig de les Medes | | ma | |
| Fontpobra | | rn | |
| Traiter | | ba | |
| Rocanegra | | | |
| Croscat | | | |
| Turó de la Pomareda | | | |

TAULA 6 *Seqüències efusives per zones i per datacions, amb la nomenclatura d'unitats i volcans. De dalt a baix, de més antic a més modern.*

petrogràfic dels piroxens prèvia a l'anàlisi d'aquests. Els nuclis diferenciats s'analtitzen per separat perquè se'n desconeix la relació genètica amb els sobrecreixements en equilibri amb el fos. Pel que fa a les anàlisis prop de la vora, les zones grogues es troben en la part més interna dels sobrecreixements, en contacte amb nuclis verds. Les zones prop de vora marró es troben tant en cristalls sense nucli diferenciat, com en la part més interna dels sobrecreixements de cristalls amb nucli no verd, quan hi ha nucli verd, entre la zona marró i el nucli es troba la zona groga. La zona prop de vora rosada correspon a la part zonada amb tonalitats rosades; com que l'anàlisi puntual no és feta arran de la vora, la possible influència de la matriu a l'anàlisi és menor que en les anàlisis fetes a la vora.

A la Taula 7 es mostra el rang composicional i les composicions promig de les diferents categories esmentades. La Figura 3 mostra la projecció en el diagrama Wo-En-Fs de totes les anàlisis realitzades per les diferents categories, així com la projecció en un sol diagrama dels diferents grups per una sola mostra. Finalment, a la Taula 8 es proporcionen nombroses anàlisis de piroxens, incloent 3 xenocristalls d'ortopiroxè.

L'estudi de les composicions promig revela que els nuclis marrons tenen composicions iguals a les dels centres marrons. Els nuclis marrons rosats presenten continguts més elevats en Al_2O_3 que la resta, així com més FeO , i menys MgO i CaO que els centres marrons. Pel que fa als nuclis verds, aquests presenten continguts més elevats que la resta en FeO , Na_2O i MnO , i més baixos en MgO , TiO_2 i Al_2O_3 . Tot i el contingut més elevat en Na, aquest no és suficient per poder anomenar el piroxè com a Diòpsid/Hedenbergita/Augita sòdica. Les zones prop de vora grogues mostren un patró similar al dels nuclis verds, fet que podria indicar un fenomen de difusió atòmica. En el cas dels sobrecreixements, de part interna a vora el contingut en SiO_2 i MgO disminueix, mentre que el de TiO_2 i FeO augmenta.

A més de les anàlisis puntuals, també s'han realitzat nombrosos perfils per tal d'estudiar la variació de composició de centre a vora dels piroxens, incloent els nuclis diferenciats. Aquestes observacions corroboren les fetes a partir de composicions promig. El pas de nucli a sobrecreixement comporta en la majoria de casos un augment més o menys marcat (en funció del tipus de nucli) del contingut en MgO del piroxè, i des d'aquest punt cap a la vora una disminució gradual. En el cas del TiO_2 , es produeix el cas contrari; el pas de nucli a sobrecreixement implica una disminució sobtada del contingut en aquest element, i a continuació es dona un augment que pot ser gradual, en salts, o oscil·latori, amb un contingut màxim a la vora. Pel que fa als nuclis, aquest són bastant homogenis en tot el seu volum, tot i que poden presentar variacions

Rangs de composició

| | nucli marró | | n. marró rosat | | n verd | | centre marró | | prop vora groc | | prop vora marró | | prop vora rosat | | vora rosada | | Composicions promig | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|-------|-----------------------|-------|---------------|-------|---------------------|-------|-----------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|--------------------|-------|----------------------------|--------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | Max. | Min. | n m | n m-r | n v | c m | p v g | p v m | p v r | v r |
| SiO₂ | 49,33 | 42,21 | 45,79 | 42,57 | 51,61 | 43,25 | 50,25 | 43,20 | 51,56 | 44,79 | 49,91 | 39,20 | 48,67 | 39,72 | 49,39 | 40,03 | 46,60 | 44,29 | 47,22 | 46,65 | 49,04 | 45,46 | 44,53 | 44,41 |
| TiO₂ | 4,30 | 0,95 | 3,38 | 2,10 | 2,87 | 0,28 | 4,12 | 0,94 | 2,48 | 0,3 | 5,07 | 0,92 | 5,20 | 1,31 | 5,26 | 1,21 | 1,94 | 2,88 | 1,53 | 2,13 | 1,28 | 2,56 | 2,98 | 3,30 |
| Al₂O₃ | 10,87 | 4,95 | 11,40 | 8,12 | 9,75 | 1,42 | 10,45 | 3,95 | 9,73 | 1,73 | 11,68 | 3,27 | 11,37 | 4,74 | 11,71 | 3,54 | 7,64 | 10,01 | 6,40 | 7,16 | 4,67 | 8,07 | 8,39 | 8,11 |
| Cr₂O₃ | 0,63 | 0,00 | 0,38 | 0,01 | 0,60 | 0,00 | 0,89 | 0,00 | 0,2 | 0 | 0,71 | 0,00 | 0,31 | 0,00 | 0,84 | 0,00 | 0,17 | 0,12 | 0,06 | 0,20 | 0,05 | 0,15 | 0,07 | 0,06 |
| Fe₂O₃(c) | 8,43 | 3,04 | 5,90 | 3,81 | 11,04 | 0,64 | 8,23 | 2,18 | 5,23 | 1,6 | 8,68 | 3,21 | 8,59 | 2,34 | 8,82 | 2,52 | 5,33 | 5,06 | 6,42 | 4,98 | 4,05 | 5,45 | 5,99 | 5,81 |
| FeO(c) | 4,60 | 0,00 | 4,41 | 2,24 | 7,48 | 0,15 | 4,60 | 0,00 | 6,31 | 2,52 | 5,04 | 0,70 | 5,08 | 0,39 | 5,34 | 0,00 | 2,48 | 3,67 | 4,08 | 2,77 | 5,24 | 2,73 | 2,55 | 2,79 |
| FeOt | | | | | | | | | | | | | | | | | 7,28 | 8,22 | 9,86 | 7,25 | 8,89 | 7,63 | 7,94 | 8,02 |
| MnO | 0,26 | 0,04 | 0,21 | 0,09 | 1,05 | 0,11 | 0,31 | 0,02 | 0,78 | 0,11 | 0,41 | 0,04 | 0,39 | 0,06 | 0,44 | 0,05 | 0,14 | 0,16 | 0,38 | 0,14 | 0,44 | 0,14 | 0,14 | 0,14 |
| MgO | 15,66 | 11,12 | 13,06 | 11,22 | 16,34 | 7,66 | 16,24 | 11,04 | 13,85 | 12,17 | 15,91 | 9,79 | 14,62 | 9,85 | 15,00 | 10,32 | 13,48 | 11,93 | 11,35 | 13,55 | 12,71 | 12,77 | 12,32 | 12,16 |
| CaO | 23,21 | 19,26 | 22,08 | 20,13 | 22,37 | 19,96 | 23,16 | 19,38 | 22,47 | 20,93 | 23,13 | 19,92 | 23,12 | 20,62 | 23,39 | 20,03 | 21,46 | 20,73 | 21,29 | 21,73 | 21,51 | 21,92 | 22,28 | 22,41 |
| Na₂O | 1,14 | 0,37 | 1,00 | 0,59 | 2,29 | 0,34 | 1,12 | 0,33 | 1,32 | 0 | 1,62 | 0,39 | 1,36 | 0,38 | 1,39 | 0,34 | 0,73 | 0,83 | 1,26 | 0,60 | 0,84 | 0,64 | 0,59 | 0,59 |
| K₂O | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0 | 0 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| Sum Ox% | | | | | | | | | | | | | | | | | 99,97 | 99,69 | 99,99 | 99,91 | 99,83 | 99,89 | 99,84 | 99,79 |
| Wo | 50,10 | 42,70 | 48,30 | 45,88 | 50,11 | 42,36 | 51,42 | 40,96 | 48,33 | 44,58 | 51,39 | 43,06 | 51,36 | 44,58 | 51,65 | 43,29 | 46,66 | 47,24 | 47,27 | 46,90 | 46,30 | 47,95 | 48,75 | 49,07 |
| En | 46,10 | 34,69 | 39,74 | 36,26 | 47,40 | 24,87 | 47,75 | 34,18 | 40,48 | 35,91 | 46,19 | 31,15 | 43,29 | 31,37 | 44,35 | 32,66 | 40,73 | 37,82 | 34,92 | 40,64 | 38,05 | 38,77 | 37,43 | 36,96 |
| Fs | 16,39 | 10,28 | 16,63 | 11,95 | 27,44 | 9,17 | 16,56 | 8,99 | 18,99 | 12,32 | 20,34 | 9,73 | 19,83 | 11,33 | 19,04 | 11,34 | 12,61 | 14,94 | 17,81 | 12,46 | 15,65 | 13,28 | 13,81 | 13,97 |

TAULA 7 Rangs composicionals i composicions promig de les diferents categories de piroxens analitzades. La composició dels centres marrons s'ha establert a partir de les anàlisis fetes en cristalls lliures, sans, i sense nucli diferenciat. n m: nucli marró; n m r: nucli marró rosat; n v: nucli verd; p v g: prop de vora groc; p v m: prop de vora marró; p v r: prop de vora rosat; v r: vora rosada. (c): calculat, proporció de FeO i Fe₂O₃ tal com és calculada pel software proporcionat pel fabricant de la microsonda electrònica

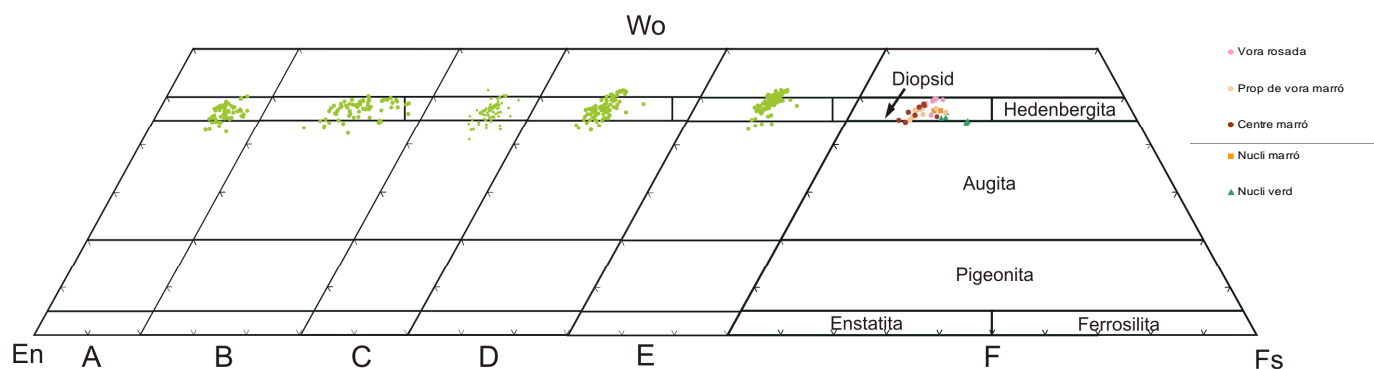


FIGURA 3 Projecció dels piroxens en el diagrama Wo-En-Fs. A) nucli marró; B) nucli verd; C) centre marró; D) prop de vora marró; E) vora rosada; F) projecció dels piroxens de la mostra PAU-16

lleugeres, mai tant marcades com les dels sobrecreixements.

Els ortopiroxens es projecten en el camp de l'enstatita, amb una composició En_{74-80} , i menys d'un 4% de component wollastonita.

7.2 Olivines

La Taula 9 mostra una selecció d'anàlisis puntuals fetes sobre olivines; en total se n'han realitzat més de 200 amb una suma del % en pes d'òxids entre 99 i 101,5. A més d'aquestes anàlisis puntuals també s'han elaborat perfils en 6 fenocristalls idiomòrfics. Considerant tot el conjunt d'olivines analitzades, la composició d'aquestes varia entre Fo_{88} i Fo_{69} (crisolita), amb un valor mitjà de Fo_{81} . López Ruiz i Rodríguez Badiola (1985) analitzen unes poques olivines en un rang Fo_{92-74} ; tot i que aparentment no hi ha gaires diferències composicionals, el baix nombre de dades disponibles a la bibliografia no permet fer comparacions fiables amb les dades de nova adquisició. Per tant, només es tractaran les darreres.

7.2.1 Fenocristalls

Les anàlisis fetes al centre i a la vora dels cristalls mostren que en tots els fenocristalls al centre el contingut en Fo és més elevat que a les vores. En els fenocristalls idiomòrfics no corroïts, la composició del centre de les olivines oscil·la entre Fo_{88} i Fo_{72} , amb una composició promig de Fo_{83} ; a les vores la variació és entre Fo_{80} i Fo_{72} , amb un promig de Fo_{77} . Els perfils han complementat aquesta informació posant en evidència que l'evolució del contingut de Fo no és constant del centre a la vora dels cristalls, sinó que aquests són homogenis en la major part del seu volum i és només a prop de les vores que el contingut en Fo decreix de manera notable.

Les mostres estudiades en el present estudi corresponen a basanites i traquibasalts potàssics: en els traquibasalts els centres dels fenocristalls idiomòrfics tenen Fo_{88-81} amb un promig de Fo_{85} , mentre que les basanites tenen Fo_{86-75} amb un promig de Fo_{83} . Si bé hi ha una lleugera diferència de composicions, aquesta no

sembla significativa. Pel que fa als microfenocristalls, la quantitat analitzada no és suficient per ser representativa. Tot i això, presenten valors de Fo_{80-72} , amb un promig de Fo_{77} , iguals als de les vores dels fenocristalls.

7.2.2 Cristalls corroïts

Els cristalls corroïts analitzats no mostren diferències composicionals notables respecte la resta de cristalls d'olivina en equilibri en el líquid. Tanmateix, tenen tendència a presentar composicions lleugerament més magnèsiques. En una mostra s'ha trobat, però, el cas oposat, el de cristalls d'olivina que presenten corrosió per ser menys magnèsics que la resta d'olivines de la mostra; els cristalls corroïts presenten Fo_{71-73} , mentre que els fenocristalls tenen Fo_{84-76} .

7.2.3 Olivines en xenòlits

Tot i no ser un dels objectius de l'estudi, s'han analitzat també olivines pertanyents a xenòlits màfics. Les olivines analitzades mostren composicions de Fo_{83-74} , amb un promig de Fo_{79} .

Finalment, a la Taula 10 es presenten 3 composicions promig de les olivines de tres classes: fenocristalls lliures idiomòrfics no corroïts (anàlisis fetes al centre dels cristalls) de basanites i traquibasalts potàssics, i cristalls pertanyents a xenòlits. S'observa com de xenòlit a basanita i traquibasalt els continguts de FeO i MnO disminueixen, i els de SiO_2 , MgO, CaO i NiO augmenten.

| | Traquibasalts | Basanites | Xenòlits |
|--------------------------------|---------------|-----------|----------|
| SiO ₂ | 39,24 | 38,54 | 38,03 |
| TiO ₂ | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| Al ₂ O ₃ | 0,03 | 0,04 | 0,01 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,04 | 0,03 | 0,02 |
| FeO | 14,66 | 16,67 | 19,66 |
| MnO | 0,19 | 0,23 | 0,32 |
| MgO | 46,04 | 44,5 | 42,04 |
| CaO | 0,22 | 0,23 | 0,19 |
| NiO | 0,2 | 0,16 | 0,11 |
| Sum O _x % | 100,64 | 100,42 | 100,39 |

TAULA 10 Composicions promig d'olivines de: fenocristalls lliures idiomòrfics no corroïts (anàlisis fetes al centre dels cristalls), de traquibasalts i basanites, i cristalls de xenòlits

| Mostra | Nucli marró | | | | | | | | Nucli marró rosat | | | | Nucli verd | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------|--------|---------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| | PAU-04 | PAU-13 | PAU-15 | PAU-60 | PAU-63 | PAU-75 | PAU-91 | OLP-1 | PAU-09 | PAU-16 | PAU-75 | PAU-91 | PAU-04 | PAU-07 | PAU-09 | PAU-15 | PAU-16 | PAU-74 | PAU-75 | PAU-91 |
| Analísi | c16_px1 | c10_px3 | c7_px1 | c3_px1 | c9_px1 | c7_px2 | c9_px1 | c7_px1 | c9_px1 | c9_px4 | c10_px4 | c9_px1 | c12_px5 | c9_px1 | c4_px6 | c3_px2 | c5_px4 | c9_px1 | c10_px2 | c5_px3 |
| SiO ₂ | 46,15 | 45,83 | 43,91 | 48,39 | 47,69 | 47,24 | 45,79 | 42,93 | 45,05 | 44,36 | 43,46 | 45,79 | 46,67 | 44,69 | 43,92 | 45,89 | 51,22 | 49,88 | 47,44 | 48,81 |
| TiO ₂ | 1,79 | 2,53 | 2,89 | 1,40 | 2,08 | 1,54 | 2,10 | 3,12 | 2,58 | 2,88 | 3,13 | 2,10 | 1,80 | 2,42 | 2,62 | 2,11 | 0,30 | 0,90 | 1,21 | 1,12 |
| Al ₂ O ₃ | 8,91 | 7,43 | 10,10 | 6,53 | 5,53 | 6,98 | 8,12 | 9,44 | 9,90 | 10,01 | 9,93 | 8,12 | 7,11 | 9,03 | 9,75 | 7,84 | 1,44 | 4,54 | 5,32 | 4,42 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,08 | 0,14 | 0,39 | 0,20 | 0,05 | 0,47 | 0,38 | 0,00 | 0,01 | 0,04 | 0,08 | 0,38 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,08 | 0,00 | 0,03 | 0,05 |
| Fe ₂ O ₃ (c) | 5,87 | 5,67 | 4,62 | 4,66 | 4,54 | 5,42 | 5,19 | 8,43 | 4,25 | 5,44 | 5,74 | 5,19 | 7,17 | 6,21 | 6,95 | 6,40 | 5,69 | 4,45 | 7,45 | 6,28 |
| FeO(c) | 1,97 | 2,67 | 3,19 | 3,12 | 2,77 | 1,90 | 2,24 | 0,55 | 4,41 | 3,63 | 3,91 | 2,24 | 3,89 | 5,74 | 3,12 | 3,93 | 7,48 | 3,97 | 5,95 | 4,77 |
| FeOt | 7,25 | 7,77 | 7,35 | 7,31 | 6,86 | 6,78 | 6,91 | 8,14 | 8,23 | 8,52 | 9,07 | 6,91 | 10,34 | 11,33 | 9,37 | 9,69 | 12,60 | 7,97 | 12,65 | 10,42 |
| MnO | 0,11 | 0,10 | 0,07 | 0,13 | 0,10 | 0,11 | 0,09 | 0,16 | 0,19 | 0,14 | 0,19 | 0,09 | 0,27 | 0,36 | 0,41 | 0,25 | 0,91 | 0,24 | 0,62 | 0,31 |
| MgO | 13,15 | 13,31 | 12,25 | 14,08 | 13,95 | 14,46 | 13,06 | 11,74 | 11,67 | 11,79 | 11,87 | 13,06 | 10,37 | 9,05 | 10,40 | 10,56 | 10,81 | 13,09 | 9,04 | 11,21 |
| CaO | 20,92 | 21,96 | 21,22 | 20,49 | 22,82 | 21,23 | 22,08 | 22,72 | 20,33 | 20,71 | 20,13 | 22,08 | 21,06 | 21,22 | 21,36 | 21,82 | 20,55 | 22,09 | 21,03 | 21,72 |
| Na ₂ O | 0,97 | 0,53 | 0,61 | 0,97 | 0,41 | 0,62 | 0,59 | 0,73 | 1,00 | 0,92 | 0,80 | 0,59 | 1,68 | 1,34 | 1,18 | 1,25 | 1,61 | 1,00 | 1,76 | 1,40 |
| K ₂ O | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 |
| Sum Ox% | 99,90 | 100,16 | 99,26 | 99,98 | 99,95 | 99,97 | 99,64 | 99,82 | 99,43 | 99,94 | 99,25 | 99,64 | 100,01 | 100,04 | 99,71 | 100,06 | 100,10 | 100,14 | 99,85 | 100,08 |
| Wo | 46,5 | 47,1 | 48,2 | 44,7 | 47,9 | 45,4 | 48,3 | 49,9 | 47,1 | 47,2 | 45,9 | 48,3 | 48,1 | 49,4 | 49,1 | 49,3 | 44,5 | 47,3 | 47,8 | 47,5 |
| En | 40,7 | 39,7 | 38,7 | 42,7 | 40,7 | 43,1 | 39,7 | 35,9 | 37,6 | 37,4 | 37,6 | 39,7 | 33,0 | 29,3 | 33,3 | 33,2 | 32,6 | 39,0 | 28,6 | 34,1 |
| Fs | 12,8 | 13,2 | 13,1 | 12,7 | 11,4 | 11,5 | 12,0 | 14,2 | 15,2 | 15,4 | 16,5 | 12,0 | 18,9 | 21,3 | 17,6 | 17,5 | 22,9 | 13,7 | 23,6 | 18,3 |

| Mostra | Centre marró | | | | | | | | Prop de vora groc | | | | Prop de vora marró | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|-------------------|--------|--------|---------|--------------------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|
| | PAU-04 | PAU-07 | PAU-13 | PAU-16 | PAU-60 | PAU-74 | PAU-91 | OLP-2 | PAU-12 | PAU-13 | PAU-04 | PAU-07 | PAU-16 | PAU-60 | PAU-63 | PAU-74 | PAU-91 | OLP-1 | | |
| Analísi | c3_px1 | c5_px2 | c17_px1 | c7_px2 | c12_px2 | c12_px1 | c16_px2 | c4_px9 | c8_px5 | c7_px3 | c7_px4 | c12_px1 | c7_px7 | c5_px9 | c8_px3 | c5_px13 | c1_px2 | c10_px3 | c5_px5 | c4_px2 |
| SiO ₂ | 48,16 | 47,43 | 48,33 | 48,15 | 48,25 | 46,40 | 45,83 | 46,26 | 44,79 | 51,56 | 51,48 | 48,34 | 47,11 | 47,15 | 46,72 | 48,73 | 43,67 | 46,56 | 49,34 | 45,72 |
| TiO ₂ | 1,52 | 2,28 | 1,98 | 1,90 | 1,54 | 2,21 | 2,39 | 2,46 | 2,48 | 0,40 | 0,30 | 1,94 | 2,00 | 2,12 | 2,03 | 1,57 | 3,49 | 2,06 | 1,25 | 2,31 |
| Al ₂ O ₃ | 6,80 | 5,80 | 5,09 | 4,99 | 6,80 | 8,12 | 7,88 | 5,97 | 9,73 | 2,17 | 1,73 | 5,05 | 8,03 | 7,72 | 8,21 | 4,23 | 8,95 | 7,98 | 5,08 | 7,37 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,33 | 0,03 | 0,07 | 0,05 | 0,81 | 0,19 | 0,17 | 0,00 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,04 | 0,22 | 0,00 | 0,20 | 0,01 | 0,04 | 0,10 |
| Fe ₂ O ₃ (c) | 3,82 | 4,13 | 3,79 | 4,69 | 2,80 | 4,22 | 4,83 | 6,53 | 5,23 | 5,00 | 4,37 | 1,60 | 4,12 | 4,47 | 4,15 | 4,76 | 5,84 | 4,58 | 4,24 | 6,52 |
| FeO(c) | 2,81 | 3,44 | 3,82 | 3,12 | 3,57 | 4,13 | 3,03 | 1,65 | 2,52 | 6,18 | 6,31 | 5,96 | 4,38 | 4,30 | 3,01 | 3,16 | 2,76 | 3,78 | 4,79 | 1,64 |
| FeOt | 6,25 | 7,16 | 7,23 | 7,34 | 6,09 | 7,93 | 7,38 | 7,53 | 7,23 | 10,68 | 10,24 | 7,40 | 8,09 | 8,32 | 6,74 | 7,44 | 8,01 | 7,90 | 8,61 | 7,51 |
| MnO | 0,11 | 0,21 | 0,08 | 0,17 | 0,05 | 0,16 | 0,10 | 0,08 | 0,11 | 0,78 | 0,77 | 0,11 | 0,11 | 0,16 | 0,13 | 0,15 | 0,11 | 0,17 | 0,30 | 0,04 |
| MgO | 14,32 | 13,50 | 13,92 | 14,29 | 14,13 | 12,87 | 12,85 | 13,96 | 12,30 | 12,17 | 12,52 | 13,85 | 13,23 | 12,56 | 13,41 | 14,62 | 11,84 | 12,85 | 12,89 | 13,33 |
| CaO | 21,50 | 22,51 | 22,52 | 22,11 | 21,43 | 21,14 | 21,97 | 22,59 | 21,36 | 21,26 | 20,93 | 22,47 | 20,37 | 21,62 | 21,63 | 22,05 | 22,60 | 21,46 | 21,36 | 22,55 |
| Na ₂ O | 0,64 | 0,48 | 0,43 | 0,47 | 0,61 | 0,68 | 0,60 | 0,42 | 0,83 | 1,32 | 1,21 | 0,00 | 0,86 | 0,81 | 0,63 | 0,44 | 0,52 | 0,69 | 1,00 | 0,52 |
| K ₂ O | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 |
| Sum Ox% | 100,00 | 99,80 | 100,02 | 99,94 | 99,98 | 100,12 | 99,64 | 99,94 | 99,57 | 100,84 | 99,62 | 99,31 | 100,29 | 100,95 | 100,14 | 99,72 | 100,00 | 100,13 | 100,30 | 100,10 |
| Wo | 46,4 | 47,9 | 47,3 | 46,2 | 46,7 | 46,6 | 48,1 | 47,1 | 48,3 | 45,1 | 44,6 | 47,2 | 45,1 | 47,3 | 47,4 | 45,6 | 49,8 | 47,0 | 46,2 | 48,0 |
| En | 42,9 | 39,9 | 40,7 | 41,5 | 42,8 | 39,5 | 39,1 | 40,5 | 38,7 | 35,9 | 37,1 | 40,5 | 40,7 | 38,2 | 40,9 | 42,1 | 36,3 | 39,2 | 38,8 | 39,5 |
| Fs | 10,7 | 12,2 | 12,0 | 12,3 | 10,4 | 13,9 | 12,8 | 12,4 | 13,0 | 19,0 | 18,3 | 12,3 | 14,2 | 14,5 | 11,8 | 12,3 | 14,0 | 13,8 | 15,0 | 12,5 |

| Mostra | Prop vora rosat | | | | Vora rosada | | | | | | | | Ortopiroxens | | | | |
|------------------------------------|-----------------|---------|--------|--------|-------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|--------------|--------|--------|---------|---------|
| | PAU-04 | PAU-13 | PAU-60 | OLP-2 | PAU-04 | PAU-05 | PAU-07 | PAU-15 | PAU-16 | PAU-60 | PAU-63 | PAU-75 | PAU-91 | OLP-1 | PAU-75 | OLP-2 | |
| Analísi | c4_px2 | c10_px2 | c3_px4 | c4_px6 | c4_px3 | c5_px5 | c8_px1 | c12_px3 | c1_px8 | c2_px2 | c7_px9 | c10_px9 | c13_px5 | c6_px4 | c1_ol1 | c12_px1 | c12_px2 |
| SiO ₂ | 41,43 | 45,41 | 48,67 | 42,75 | 43,38 | 46,30 | 48,46 | 42,82 | 48,71 | 45,72 | 43,74 | 46,23 | 44,24 | 42,93 | 53,98 | 52,51 | 52,94 |
| TiO ₂ | 4,73 | 2,44 | 1,78 | 3,41 | 3,89 | 2,45 | 1,54 | 4,68 | 1,91 | 2,56 | 3,29 | 2,45 | 3,48 | 3,75 | 0,17 | 0,05 | 0,03 |
| Al ₂ O ₃ | 11,35 | 7,77 | 4,74 | 9,59 | 9,78 | 5,77 | 5,54 | 9,78 | 5,09 | 7,52 | 8,81 | 8,07 | 8,83 | 9,44 | 2,47 | 2,88 | 3,00 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,00 | 0,14 | 0,00 | 0,23 | 0,01 | 0,00 | 0,06 | 0,05 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,25 | 0,07 | 0,02 |
| Fe ₂ O ₃ (c) | 5,15 | 5,55 | 4,46 | 8,32 | 4,43 | 6,34 | 4,48 | 4,45 | 2,53 | 5,13 | 7,18 | 4,24 | 5,26 | 6,64 | 1,93 | 4,92 | 4,44 |
| FeO(c) | 3,90 | 2,87 | 3,16 | 0,43 | 3,66 | 2,26 | 3,09 | 4,35 | 4,90 | 3,23 | 1,21 | 5,34 | 3,04 | 1,91 | 8,49 | 10,40 | 10,91 |
| FeOt | 8,53 | 7,86 | 7,17 | 7,92 | 7,65 | 7,96 | 7,12 | 8,35 | 7,18 | 7,85 | 7,67 | 9,16 | 7,77 | 7,88 | 10,23 | 14,83 | 14,91 |
| MnO | 0,14 | 0,09 | 0,17 | 0,17 | 0,10 | 0,16 | 0,14 | 0,09 | 0,16 | 0,13 | 0,11 | 0,20 | 0,18 | 0,13 | 0,19 | 0,41 | 0,35 |
| MgO | 10,39 | 12,49 | 14,17 | 12,29 | 11,22 | 13,65 | 14,42 | 10,99 | 13,78 | 12,83 | 12,25 | 12,72 | 11,92 | 11,83 | 29,94 | 28,06 | 28,33 |
| CaO | 22,41 | 22,40 | 22,46 | 22,39 | 22,89 | 22,55 | 21,29 | 22,57 | 22,38 | 21,92 | 23,06 | 20,03 | 22,72 | 22,60 | 2,07 | 1,17 | 1,09 |
| Na ₂ O | 0,55 | 0,54 | 0,53 | 0,64 | 0,49 | 0,41 | 0,67 | 0,53 | 0,36 | 0,57 | 0,54 | 0,77 | 0,53 | 0,56 | 0,00 | 0,11 | 0,03 |
| K ₂ O | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| Sum Ox% | 100,06 | 99,60 | 100,18 | 100,00 | 99,98 | 99,92 | 99,87 | 100,27 | 99,81 | 99,69 | 100,27 | 100,07 | 100,21 | 99,81 | 99,49 | 100,58 | 101,16 |
| Wo | 51,4 | 48,7 | 46,9 | 48,9 | 51,4 | 47,1 | 45,3 | 50,8 | 47,3 | 47,7 | 49,9 | 44,5 | 49,9 | 49,9 | 4,0 | 2,2 | 2,1 |
| En | 33,1 | 37,8 | 41,1 | 37,3 | 35,0 | 39,7 | 42,7 | 34,4 | 40,5 | 38,8 | 36,9 | 39,3 | 36,4 | 36,3 | 80,3 | 74,9 | 75,2 |
| Fs | 15,5 | 13,5 | 12,0 | 13,8 | 13,6 | 13,2 | 12,1 | 14,8 | 12,1 | 13,5 | 13,2 | 16,2 | 13,6 | 13,8 | 15,7 | 22,8 | 22,7 |

TAULA 8 Química mineral de les diferents classes de piroxens analitzades amb microsonda electrònica. (c): calculat, proporció de FeO i Fe₂O₃ tal com és calculada pel software proporcionat pel fabricant de la microsonda electrònica

| Mostra Anàlisi | Olivines de xenòlits | | | | | Microcristalls | | | | Olivines idiomòrfiques de traquibasalts potàssics | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|--------|---------|---------|--------|----------------|---------|--------|--------|---|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|------|
| | PAU-01 | PAU-05 | PAU-07 | PAU-75 | OLP-1 | PAU-63 | PAU-75 | | | PAU-04 | | PAU-60 | | | | | | PAU-74 | | | | | |
| | c17_ol1 | c6_ol2 | c10-ol1 | c12_ol1 | c8-ol1 | c5_ol4 | c11_ol4 | c6_ol1 | c4_ol1 | c3_ol1 | c7_ol1 | c5_ol1 | c5_ol2 | c8_ol1 | c8_ol2 | c12_ol2 | c12_ol3 | c1_ol2 | c1_ol3 | c7_ol1 | c7_ol4 | c13_ol3 | |
| SiO ₂ | 38,32 | 37,98 | 37,47 | 38,49 | 37,21 | 39,00 | 38,50 | 37,29 | 36,90 | 39,89 | 40,04 | 39,39 | 38,46 | 38,52 | 38,03 | 38,77 | 38,60 | 39,32 | 38,57 | 39,09 | 37,74 | 37,79 | |
| TiO ₂ | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,06 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,00 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,04 | 0,06 | 0,00 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,01 | |
| Al ₂ O ₃ | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,09 | 0,00 | 0,03 | 0,07 | 0,04 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,03 | |
| Cr ₂ O ₃ | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,05 | 0,06 | 0,03 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,05 | 0,09 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,03 | 0,02 | |
| FeO | 16,90 | 21,26 | 20,23 | 18,57 | 19,38 | 19,27 | 18,87 | 21,84 | 25,90 | 13,08 | 11,64 | 15,62 | 20,28 | 15,06 | 18,73 | 15,07 | 15,15 | 15,15 | 18,68 | 16,23 | 23,04 | 21,60 | |
| MnO | 0,25 | 0,39 | 0,26 | 0,24 | 0,30 | 0,23 | 0,32 | 0,37 | 0,46 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,39 | 0,26 | 0,34 | 0,20 | 0,26 | 0,19 | 0,36 | 0,18 | 0,54 | 0,39 | |
| MgO | 44,59 | 40,98 | 41,13 | 43,12 | 43,00 | 41,57 | 42,26 | 40,46 | 37,21 | 47,58 | 48,48 | 44,46 | 40,57 | 45,34 | 42,22 | 45,60 | 45,76 | 45,19 | 41,95 | 44,65 | 39,08 | 40,68 | |
| CaO | 0,22 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,13 | 0,30 | 0,34 | 0,21 | 0,28 | 0,23 | 0,17 | 0,22 | 0,23 | 0,21 | 0,24 | 0,25 | 0,24 | 0,22 | 0,24 | 0,22 | 0,29 | 0,23 | |
| NiO | 0,19 | 0,09 | 0,08 | 0,17 | 0,12 | 0,11 | 0,10 | 0,15 | 0,08 | 0,34 | 0,26 | 0,12 | 0,19 | 0,23 | 0,13 | 0,14 | 0,19 | 0,12 | 0,05 | 0,14 | 0,12 | 0,11 | |
| Sum Ox% | 100,50 | 100,92 | 99,42 | 100,87 | 100,16 | 100,62 | 100,42 | 100,38 | 100,86 | 101,37 | 100,87 | 100,08 | 100,28 | 99,68 | 99,73 | 100,21 | 100,37 | 100,22 | 99,93 | 100,62 | 100,87 | 100,85 | |
| Fa | 17,5 | 22,5 | 21,6 | 19,5 | 20,2 | 20,6 | 20 | 23,2 | 28,1 | 13,4 | 11,9 | 16,5 | 21,9 | 15,7 | 19,9 | 15,6 | 15,7 | 15,8 | 20 | 16,9 | 24,9 | 23 | |
| Fo | 82,5 | 77,5 | 78,4 | 80,5 | 79,8 | 79,4 | 80 | 76,8 | 71,9 | 86,6 | 88,1 | 83,5 | 78,1 | 84,3 | 80,1 | 84,4 | 84,3 | 84,2 | 80 | 83,1 | 75,1 | 77 | |
| | | | | | | | | | | | | centre | vora | centre | vora | centre | vora | centre | vora | centre | vora | centre | vora |
| | | | | | | | | | | | | mc | | mc | esq | mc | esq | mc | esq | mc | esq | mc | esq |

Olivines idiomòrfiques de basanites

| Mostra Anàlisi | PAU-05 | | PAU-7 | PAU-9 | PAU-12 | | | PAU-13 | | | PAU-15 | | | | PAU-63 | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | c5_ol3 | c5_ol4 | c10_ol1 | c12_ol1 | c8_ol1 | c11_ol2 | c8_ol1 | c16_ol1 | c15_ol1 | c10_ol1 | c18_ol1 | c18_ol2 | c2_ol1 | c2_ol2 | c4_ol1 | c4_ol2 | c4_ol4 | c3_ol1 | c3_ol4 | c1_ol1 | c5_ol1 | c5_ol3 |
| SiO ₂ | 38,73 | 38,05 | 39,88 | 38,52 | 39,62 | 38,37 | 39,35 | 39,42 | 39,12 | 40,44 | 39,15 | 39,29 | 39,81 | 38,11 | 38,23 | 38,61 | 38,19 | 38,76 | 37,71 | 38,65 | 38,60 | 37,29 |
| TiO ₂ | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,02 | 0,05 |
| Al ₂ O ₃ | 0,03 | 0,02 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,07 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 0,00 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,28 | 0,04 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,02 |
| FeO | 15,33 | 14,17 | 13,17 | 14,59 | 14,44 | 13,89 | 16,48 | 16,12 | 15,54 | 14,39 | 15,77 | 14,49 | 15,80 | 23,44 | 18,17 | 18,65 | 21,09 | 16,07 | 21,84 | 15,67 | 17,22 | 24,04 |
| MnO | 0,19 | 0,19 | 0,18 | 0,21 | 0,17 | 0,13 | 0,26 | 0,26 | 0,20 | 0,20 | 0,22 | 0,20 | 0,32 | 0,55 | 0,13 | 0,26 | 0,46 | 0,20 | 0,41 | 0,27 | 0,25 | 0,54 |
| MgO | 45,74 | 46,49 | 46,95 | 46,42 | 45,84 | 46,79 | 44,94 | 44,73 | 44,74 | 45,88 | 44,81 | 46,08 | 45,02 | 38,16 | 43,09 | 43,00 | 40,76 | 44,51 | 39,74 | 44,70 | 43,82 | 37,78 |
| CaO | 0,21 | 0,26 | 0,22 | 0,24 | 0,24 | 0,25 | 0,23 | 0,21 | 0,30 | 0,20 | 0,25 | 0,26 | 0,24 | 0,36 | 0,25 | 0,23 | 0,32 | 0,21 | 0,35 | 0,21 | 0,26 | 0,34 |
| NiO | 0,22 | 0,19 | 0,31 | 0,18 | 0,26 | 0,31 | 0,16 | 0,11 | 0,04 | 0,21 | 0,12 | 0,19 | 0,11 | 0,08 | 0,07 | 0,00 | 0,15 | 0,07 | 0,08 | 0,19 | 0,17 | 0,11 |
| Sum Ox% | 100,48 | 99,37 | 100,81 | 100,28 | 100,62 | 100,08 | 101,49 | 100,89 | 100,12 | 101,46 | 100,44 | 100,59 | 101,40 | 100,76 | 100,00 | 100,83 | 101,03 | 99,89 | 100,19 | 99,80 | 100,42 | 100,20 |
| Fa | 15,8 | 14,6 | 13,6 | 15 | 15 | 14,3 | 17,1 | 16,8 | 16,3 | 15 | 16,5 | 15 | 16,5 | 25,6 | 19,1 | 19,6 | 22,5 | 16,8 | 23,6 | 16,4 | 18,1 | 26,3 |
| Fo | 84,2 | 85,4 | 86,4 | 85 | 85 | 85,7 | 82,9 | 83,2 | 83,7 | 85 | 83,5 | 85 | 83,5 | 74,4 | 80,9 | 80,4 | 77,5 | 83,2 | 76,4 | 83,6 | 81,9 | 73,7 |
| | | | | | | | | | | | | | centre | vora | | centre | vora | centre | vora | | centre | vora |
| | | esq | esq | | | esq | | | esq | | | | mc | | | mc | esq | mc | | | mc | esq |

Olivines idiomòrfiques de basanites

| Mostra Anàlisi | PAU-75 | | PAU-91 | | | | OLP-1 | | | OLP-2 | | | GN-1 | | | | | |
|--------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|
| | c11_ol1 | c11_ol3 | c1_ol2 | c8_ol1 | c8_ol3 | c8_ol4 | c11_ol2 | c1-ol1 | c2-ol1 | c3-ol1 | c9-ol1 | c3_ol4 | c4-ol4 | c11-ol1 | c3-ol1 | c9-ol1 | c13-ol2 | c13-ol3 |
| SiO ₂ | 38,52 | 37,61 | 39,09 | 38,40 | 38,47 | 39,45 | 37,99 | 38,67 | 37,71 | 37,88 | 38,16 | 37,76 | 36,73 | 37,46 | 38,36 | 36,79 | 37,35 | 35,71 |
| TiO ₂ | 0,03 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,04 | 0,06 | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,03 | 0,04 |
| Al ₂ O ₃ | 0,03 | 0,00 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,07 | 0,62 | 0,02 | 0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | 0,01 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,00 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,06 | 0,00 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,02 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 |
| FeO | 16,75 | 26,91 | 17,65 | 15,87 | 17,69 | 14,67 | 23,37 | 15,35 | 19,00 | 16,49 | 17,50 | 23,65 | 22,87 | 15,94 | 15,24 | 18,81 | 21,03 | 24,86 |
| MnO | 0,19 | 0,55 | 0,26 | 0,25 | 0,27 | 0,11 | 0,59 | 0,17 | 0,33 | 0,18 | 0,23 | 0,40 | 0,39 | 0,21 | 0,21 | 0,24 | 0,29 | 0,45 |
| MgO | 44,08 | 35,94 | 43,73 | 45,07 | 43,58 | 46,15 | 36,91 | 46,01 | 42,78 | 44,81 | 44,62 | 38,92 | 39,73 | 46,39 | 45,50 | 43,38 | 41,51 | 38,14 |
| CaO | 0,20 | 0,33 | 0,21 | 0,24 | 0,29 | 0,16 | 0,47 | 0,23 | 0,24 | 0,22 | 0,23 | 0,27 | 0,28 | 0,19 | 0,20 | 0,19 | 0,23 | 0,39 |
| NiO | 0,25 | 0,10 | 0,14 | 0,22 | 0,14 | 0,26 | 0,10 | 0,18 | 0,12 | 0,18 | 0,09 | 0,06 | 0,06 | 0,21 | 0,24 | 0,14 | 0,15 | 0,05 |
| Sum Ox% | 100,11 | 101,47 | 101,15 | 100,11 | 100,52 | 100,93 | 100,14 | 100,74 | 100,26 | 99,87 | 100,97 | 101,15 | 100,10 | 100,47 | 99,82 | 99,65 | 100,62 | 99,64 |
| Fa | 17,6 | 29,6 | 18,5 | 16,5 | 18,6 | 15,1 | 26,2 | 15,8 | 19,9 | 17,1 | 18 | 25,4 | 24,4 | 16,2 | 15,8 | 19,6 | 22,1 | 26,8 |
| Fo | 82,4 | 70,4 | 81,5 | 83,5 | 81,4 | 84,9 | 73,8 | 84,2 | 80,1 | 82,9 | 82 | 74,6 | 75,6 | 83,8 | 84,2 | 80,4 | 77,9 | 73,2 |
| | centre | vora | | centre | vora | | | | | | | | | | | | centre | vora |
| | mc | | | mc | | | | esq | | esq | esq | | | | | | mc | |

TAULA 9 Química mineral de les olivines. mc: mateix cristall; esq: cristall amb creixement esquelètic

7.3 Plagiòclasi

Les plagiòclasi analitzades han estat majoritàriament micròlits, però també xenocristalls corroïts, lliures i en xenòlit. Els micròlits, per les seves reduïdes dimensions, han estat analitzats únicament en el centre del cristall. Només en alguns casos en què els micròlits eren de dimensions més importants, podent ser considerats quasi fenocristalls, s'ha analitzat també la vora d'aquests.

A la Taula 11 es presenten unes anàlisis representatives de totes les realitzades. L'estudi en conjunt dels micròlits de plagiòclasi mostra que es tracta de plagiòclasi tipus labradorita (i en menor mesura bytownita) (Figura 4), i que la composició d'aquests oscil·la entre els valors Ab_{44-28} , An_{71-54} , Or_{3-1} , amb una composició promig pels cristalls analitzats de Ab_{34} , An_{64} , Or_2 (labradorita). Si s'estudien per separat els micròlits de traquibasalts potàssics i basanites s'obtenen les següents composicions: per traquibasalts, Ab_{40-28} , An_{71-58} , Or_{2-1} , amb valors promig de Ab_{34} , An_{65} , Or_1 , i per basanites Ab_{44-29} , An_{70-54} , Or_{3-1} , amb valors promig de Ab_{34} , An_{64} , Or_1 . Així doncs, no existeixen diferències marcades de composició, sent de fet quasi igual la composició promig. Les anàlisis realitzades a la vora d'alguns micròlits ha revelat una composició lleugerament més sòdica, si bé aquestes anàlisis s'han de considerar orientatives ja que poden estar incorporant elements de la matriu que, com es veurà més endavant, és relativament diferenciada comparada amb el conjunt de la roca.

Altres formes de la plagiòclasi en equilibri amb el fos són els sobrecreixements al voltant dels xenocristalls de plagiòclasi corroïts, que prenen una composició similar a la dels micròlits, i petits cristalls a la matriu, que seran comentats més endavant.

Pel que fa a les plagiòclasi en forma de xenocristall, les seves composicions són variables en funció del context i van d'oligòclasi a labradorita. Excepte en algun cas, les proporcions d'An són sempre inferiors a les dels micròlits, fins i tot en les que es troben en xenòlits màfics amb olivina i piroxè; en canvi, el contingut en Or és major. Les composicions observades són: Ab_{78-28} , An_{60-17} , Or_{8-1} , amb una composició promig de Ab_{53} , An_{43} , Or_4 .

7.4 Opacs

Els cristalls de minerals opacs analitzats estan formats majoritàriament per Fe, Ti, Al i Mg, i pertanyen a la sèrie de la magnetita-ulvospinel·la. El contingut en Fe està entre el 47 i el 64% en pes d'element, amb un valor promig d'un 55%. El TiO_2 es troba amb valors entre el 7 i el 23% en pes, amb un valor promig de 14%. Pel que fa al contingut en Al_2O_3 , aquest varia entre el 2 i el 16%. Finalment, el magnesi mostra valors entre el 2 i el 8% en pes de MgO.

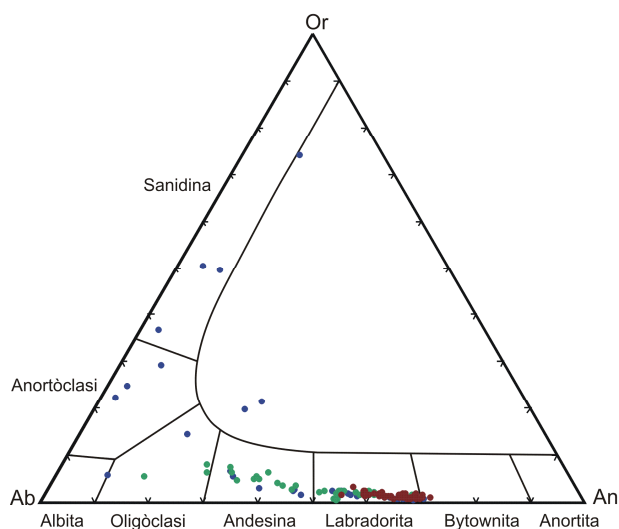


FIGURA 4 Projecció en el diagrama Ab-Or-An dels feldspats analitzats. Marró: micròlits de plagiòclasi. Blau: feldspats de matriu. Verd: xenocristalls de plagiòclasi

Puntualment, es poden trobar cristalls de la mateixa sèrie però amb continguts elevats en altres elements com Ni (fins a 3% en pes de NiO) o Cr (4-6% en pes Cr_2O_3).

7.5 Minerals de matriu

A més dels components fins ara esmentats, en algunes de les mostres estudiades s'ha pogut observar la presència entre els micròlits de plagiòclasi de cristalls de menors dimensions, i menys definits morfològicament, de composició feldspàtica i de feldspatoid. Pel que fa als feldspats, aquests mostren composicions molt variades (Figura 4) que van de plagiòclasi amb composicions equivalents a les dels micròlits, fins a plagiòclasi sòdiques i feldspats alcalins. Alguns d'aquests feldspats presenten composicions pròpies de solucions sòlides a alta temperatura, com ara els que es projecten en el camp de l'anortòclasi i que poden arribar a tenir proporcions importants dels tres components feldspàtics a la vegada. A la Taula 12 es proporcionen unes quantes anàlisis representatives d'aquestes fases.

Pel que fa als feldspatoids, només se n'ha pogut constatar la presència en una de les mostres, la PAU-15; es tracta de leucita. No se'n dona l'anàlisi perquè el sumatori dels òxids és massa baix (97,9%).

7.6 Altres minerals

A més dels minerals principals comentats fins a aquest punt s'han analitzat també alguns cristalls corresponents a minerals ignis en desequilibri amb el fos: amfíbol i titanita. Només s'han trobat restes relativament sanes d'amfíbol aptes per analitzar en dues de les mostres analitzades, ja que, com s'ha explicat a l'apartat de petrografia, l'amfíbol es troba en la majoria dels casos reemplaçat per un agregat criptocristal·lí d'altres minerals. S'han analitzat 3

| Mostra Anàlisi | Micròlits traquibasalts | | | | | | | | | | | Micròlits basanites | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|-----------------|---------|---------|---------|----------|---------------------|---------|---------|---------|-----------------|---------|----------|---------|----------|----------|
| | PAU-01 | | PAU-04 | | PAU-60 | | | PAU-74 | | PAU-91 | | PAU-07 | | PAU-09 | | PAU-05 | | | PAU-12 | | PAU-13 |
| | c11_fel1 | c20_fel1 | c3_fel1 | c6_fel1 | c3_fel1 | c5_fel1 | c5_fel2 | c1_fel2 | c4_fel1 | c7_fel1 | c11_fel1 | c5_fel1 | c7_fel1 | c6_fel1 | c8_fel1 | c5_fel4 | c5_fel5 | c10_fel1 | c9_fel1 | c15_fel1 | c13_fel1 |
| SiO ₂ | 50,89 | 48,36 | 49,54 | 50,17 | 50,62 | 50,34 | 51,25 | 51,79 | 51,16 | 49,96 | 50,91 | 50,34 | 49,59 | 51,74 | 50,97 | 50,56 | 50,3 | 50,07 | 49,76 | 49,86 | 51,34 |
| TiO ₂ | 0,14 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,14 | 0,09 | 0,12 | 0,14 | 0,11 | 0,13 | 0,18 | 0,11 | 0,11 | 0,1 | 0,14 | 0,1 | 0,14 | 0,13 | 0,1 | 0,16 | 0,16 |
| Al ₂ O ₃ | 30,6 | 31,28 | 31,43 | 30,75 | 29,94 | 30,9 | 30,06 | 29,39 | 29,88 | 30,76 | 30,86 | 30,67 | 31,43 | 30,27 | 30,43 | 30,69 | 30,47 | 30,81 | 30,84 | 31,07 | 30,51 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,85 | 1 | 0,94 | 0,92 | 0,8 | 0,65 | 0,76 | 0,59 | 0,6 | 0,8 | 0,76 | 0,65 | 0,68 | 0,66 | 0,73 | 0,55 | 0,75 | 0,71 | 0,79 | 0,91 | 0,82 |
| MgO | 0,09 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,09 | 0,07 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,09 | 0,09 | 0,1 | 0,02 | 0,04 | 0,06 |
| CaO | 13,79 | 14,74 | 14,42 | 14,07 | 12,87 | 13,49 | 12,84 | 11,98 | 12,6 | 13,88 | 13,47 | 13,48 | 14,24 | 12,95 | 13,2 | 13,77 | 13,7 | 13,83 | 13,63 | 14,35 | 13,56 |
| SrO | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| BaO | 0,31 | 0,05 | 0,11 | 0,16 | 0,05 | 0,05 | 0,11 | 0,19 | 0,01 | 0 | 0,11 | 0,19 | 0 | 0 | 0,19 | 0,2 | 0 | 0,15 | 0,11 | 0 | 0,08 |
| Na ₂ O | 3,85 | 3,51 | 3,44 | 3,67 | 4,16 | 3,61 | 4,23 | 4,48 | 4,33 | 3,67 | 3,76 | 3,75 | 3,3 | 4,06 | 3,98 | 3,86 | 3,74 | 3,79 | 3,63 | 3,52 | 3,82 |
| K ₂ O | 0,24 | 0,16 | 0,14 | 0,14 | 0,41 | 0,27 | 0,35 | 0,42 | 0,37 | 0,15 | 0,19 | 0,28 | 0,2 | 0,27 | 0,26 | 0,29 | 0,37 | 0,3 | 0,15 | 0,15 | 0,31 |
| Rb ₂ O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Sum Ox% | 100,76 | 99,35 | 100,25 | 100,1 | 99,08 | 99,48 | 99,8 | 99,05 | 99,12 | 99,43 | 100,29 | 99,53 | 99,61 | 100,1 | 99,94 | 100,1 | 99,57 | 99,89 | 99,04 | 100,06 | 100,66 |
| Ab | 32,9 | 29,8 | 29,9 | 31,7 | 36,0 | 32,1 | 36,5 | 39,3 | 37,5 | 32,1 | 33,1 | 32,8 | 29,2 | 35,6 | 34,7 | 33,0 | 32,4 | 32,5 | 32,2 | 30,5 | 33,1 |
| An | 65,2 | 69,2 | 69,2 | 67,2 | 61,6 | 66,2 | 61,3 | 58,0 | 60,4 | 67,0 | 65,6 | 65,2 | 69,7 | 62,8 | 63,5 | 65,1 | 65,5 | 65,5 | 66,8 | 68,7 | 64,9 |
| Or | 1,4 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 2,4 | 1,6 | 2,0 | 2,4 | 2,1 | 0,9 | 1,1 | 1,6 | 1,1 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 2,1 | 1,7 | 0,9 | 0,8 | 1,8 |
| Celsiana | 0,5 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,4 | 0,0 | 0,3 | 0,2 | 0,0 | 0,1 |
| | | | | | | | centre | vora | | | | | | | | centre | vora | | | | |
| | | | | | | | mateix cristall | | | | | | | | | mateix cristall | | | | | |

| Mostra Anàlisi | Micròlits basanites | | | | | | | | | | | Sobrecreixements de xenocristalls | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------|---------|---------|---------|---------|-----------------------------------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|----------|----------|---|
| | PAU-15 | | PAU-16 | | PAU-63 | | PAU-75 | | | PAU-91 | | OLP-1 | | OLP-2 | | PAU-05 | PAU-09 | PAU-74 | PAU-75 | PAU-91 | |
| | c5_fel1 | c5_fel3 | c1_fel1 | c3_fel1 | c2_fel4 | c9_fel1 | c1_fel1 | c1_fel2 | c4_fel1 | c3_fel1 | c7_fel1 | c1-fel1 | c9-fel1 | c4-fel1 | c8-fel1 | c8_fe3 | c5_fel3 | c3_fel3 | c1_fel13 | c12_fel3 | |
| SiO ₂ | 49,95 | 50,99 | 51,37 | 51,32 | 50,15 | 49,23 | 52,22 | 53,26 | 52,47 | 51,27 | 49,96 | 49,79 | 50,13 | 49,9 | 49,7 | 49,64 | 51,46 | 52,19 | 51,85 | 52,1 | |
| TiO ₂ | 0,16 | 0,19 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,13 | 0,1 | 0,16 | 0,11 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,14 | 0,13 | 0,14 | 0,17 | 0,25 | 0,11 | 0,09 | 0,14 | |
| Al ₂ O ₃ | 30,81 | 30,45 | 29,56 | 29,78 | 31,27 | 31,09 | 29,84 | 28,93 | 29,56 | 30,5 | 30,76 | 31,33 | 31,4 | 30,86 | 31,5 | 30,96 | 29,47 | 29,5 | 29,67 | 29,36 | |
| Fe ₂ O ₃ | 0,89 | 0,78 | 0,89 | 0,98 | 1,12 | 0,95 | 0,67 | 0,94 | 0,79 | 0,6 | 0,8 | 0,68 | 0,7 | 0,81 | 0,63 | 0,58 | 1,13 | 0,66 | 0,74 | 0,57 | |
| MgO | 0,05 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,14 | 0,08 | 0,06 | 0,08 | 0,12 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,09 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,21 | 0,04 | 0,08 | 0,05 | |
| CaO | 13,74 | 13,19 | 12,82 | 12,85 | 14,12 | 14,51 | 12,52 | 11,36 | 12,3 | 13,48 | 13,88 | 14,16 | 14,45 | 13,62 | 14,09 | 13,92 | 12,43 | 12,26 | 12,44 | 12,15 | |
| SrO | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| BaO | 0,1 | 0,05 | 0,23 | 0,05 | 0,22 | 0,03 | 0 | 0 | 0,01 | 0 | 0 | 0,05 | 0,01 | 0 | 0,14 | 0,15 | 0,03 | 0 | 0,03 | 0,03 | |
| Na ₂ O | 3,75 | 4,05 | 4,12 | 4,1 | 3,42 | 3,32 | 4,51 | 5,04 | 4,62 | 3,99 | 3,67 | 3,49 | 3,69 | 3,88 | 3,62 | 3,52 | 4,26 | 4,53 | 4,49 | 4,35 | |
| K ₂ O | 0,23 | 0,23 | 0,24 | 0,21 | 0,35 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 0,34 | 0,17 | 0,15 | 0,29 | 0,23 | 0,19 | 0,16 | 0,28 | 0,41 | 0,4 | 0,3 | 0,42 | |
| Rb ₂ O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Sum Ox% | 99,68 | 99,95 | 99,4 | 99,49 | 100,97 | 99,65 | 100,22 | 100,09 | 100,32 | 100,18 | 99,43 | 99,98 | 100,83 | 99,41 | 99,99 | 99,29 | 99,65 | 99,69 | 99,67 | 99,16 | |
| Ab | 32,6 | 35,2 | 36,1 | 36,1 | 29,7 | 28,8 | 38,8 | 43,7 | 39,7 | 34,5 | 32,1 | 30,3 | 31,2 | 33,7 | 31,4 | 30,8 | 37,4 | 39,2 | 38,8 | 38,4 | |
| An | 66,0 | 63,4 | 62,1 | 62,6 | 67,9 | 69,4 | 59,5 | 54,5 | 58,3 | 64,5 | 67,0 | 68,0 | 67,5 | 65,2 | 67,5 | 67,3 | 60,2 | 58,6 | 59,5 | 59,2 | |
| Or | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,2 | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 0,9 | 0,9 | 1,7 | 1,3 | 1,1 | 0,9 | 1,6 | 2,4 | 2,3 | 1,7 | 2,4 | |
| Celsiana | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| | | | | | | | centre | vora | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | mateix cristall | | | | | | | | | | | | | | |

TAULA 11 Química mineral de les plagiòclasis en micròlits i xenocristalls

| Mostra Anàlisi | PAU-04 | | PAU-07 | | PAU-09 | | PAU-15 | | PAU-16 | | PAU-75 | | OLP2-2 | | | |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|---------|--------|-------|---------|---------|---------|---------|
| | c17_i1 | c7_i2 | c10_i1 | c10_i2 | c10_i4 | c13_i1 | c13_i2 | c9_i1 | c16_i1 | c5_fel5 | c12_i2 | c1_i2 | e9_fel6 | e9_fel7 | e2_leu2 | c3_leu2 |
| SiO ₂ | 55,27 | 54,08 | 51,86 | 63,41 | 56,73 | 56,31 | 57,90 | 51,68 | 59,02 | 54,31 | 53,53 | 57,40 | 56,39 | 64,19 | 60,48 | 61,11 |
| TiO ₂ | 0,19 | 0,17 | 0,22 | 0,15 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,14 | 0,30 | 0,22 | 0,13 | 0,22 | 0,19 | 0,29 | 0,14 | 0,19 |
| Al ₂ O ₃ | 27,60 | 27,26 | 28,63 | 20,21 | 24,80 | 27,21 | 24,32 | 29,14 | 24,46 | 24,88 | 29,20 | 24,89 | 26,32 | 19,73 | 23,16 | 23,56 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,68 | 1,34 | 0,98 | 0,62 | 1,39 | 1,12 | 0,77 | 0,88 | 0,83 | 0,42 | 0,67 | 0,58 | 1,02 | 0,35 | 0,33 | 0,41 |
| MgO | 0,02 | 0,31 | 0,02 | 0,00 | 0,06 | 0,07 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,05 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,05 |
| CaO | 10,07 | 2,65 | 11,87 | 1,72 | 0,72 | 7,10 | 6,18 | 10,47 | 0,94 | 2,62 | 11,16 | 4,47 | 8,23 | 1,62 | 0,98 | 4,99 |
| SrO | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| BaO | 0,02 | 0,25 | 0,16 | 0,11 | 0,00 | 0,05 | 0,54 | 0,00 | 0,12 | 0,00 | 0,09 | 0,22 | 0,14 | 0,01 | 0,33 | 0,67 |
| Na ₂ O | 6,44 | 12,97 | 5,03 | 4,88 | 10,79 | 7,62 | 5,51 | 6,65 | 10,08 | 2,05 | 5,29 | 8,12 | 6,84 | 7,38 | 5,18 | 5,18 |
| K ₂ O | 0,46 | 1,38 | 0,35 | 8,72 | 4,90 | 1,26 | 3,72 | 5,56 | 5,34 | 15,31 | 0,43 | 2,70 | 0,56 | 5,20 | 8,86 | 7,60 |
| Rb ₂ O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Sum Ox% | 100,75 | 100,41 | 99,12 | 99,82 | 99,63 | 100,99 | 99,20 | 99,54 | 101,11 | 99,83 | 100,51 | 98,65 | 99,71 | 100,85 | 101,06 | 99,12 |
| Ab | 52,3 | 84,5 | 42,6 | 42,2 | 74,9 | 61,6 | 48,5 | 51,9 | 71,4 | 15,1 | 45,1 | 65,4 | 58,0 | 63,1 | 44,7 | 52,4 |
| An | 45,2 | 9,5 | 55,5 | 8,2 | 2,8 | 31,7 | 30,0 | 45,2 | 3,7 | 10,7 | 52,5 | 19,9 | 38,6 | 7,7 | 4,7 | 27,9 |
| Or | 2,5 | 5,9 | 1,9 | 49,6 | 22,4 | 6,7 | 21,5 | 2,9 | 24,9 | 74,2 | 2,4 | 14,3 | 3,1 | 29,2 | 36,7 | 19,7 |

TAULA 12 Química mineral dels feldspats de matriu

cristalls diferents que han mostrat una composició molt similar corresponent a kaersutita. Les anàlisis es troben exposades a la Taula 13. En totes les mostres estudiades amb microsonda només s'ha trobat un cristall de titanita, que a més està en situació de desequilibri amb el fos, amb les vores reaccionant a un agregat criptocristal·lí opac. No se'n dona l'anàlisi perquè el sumatori d'elements majoritaris és molt baix (94%).

| | PAU9 | PAU-13 | |
|------------------------------------|---------|--------|----------|
| | c7-amfl | c9-il | c18-amfl |
| SiO ₂ | 39,47 | 39,72 | 39,78 |
| TiO ₂ | 5,85 | 5,55 | 5,58 |
| Al ₂ O ₃ | 14,21 | 13,32 | 14,08 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,01 | 0,03 | 0,04 |
| Fe ₂ O ₃ (c) | 0 | 2 | 0,04 |
| FeO(c) | 11,51 | 9 | 10,75 |
| MnO | 0,14 | 0,2 | 0,13 |
| MgO | 12,06 | 12,99 | 12,67 |
| CaO | 11,55 | 11,34 | 11,84 |
| Na ₂ O | 3,04 | 2,51 | 2,45 |
| K ₂ O | 1,02 | 1,14 | 1,32 |
| ZrO ₂ | - | - | - |
| NiO | 0 | 0 | 0,06 |
| F | - | - | - |
| Cl | - | - | - |
| H ₂ O(c) | 2,04 | 2,03 | 2,05 |
| O=F | - | - | - |
| O=Cl | - | - | - |
| Sum Ox% | 100,88 | 99,83 | 100,81 |

TAULA 13 Anàlisis químiques d'amfibols (kaersutita). (c): calculat pel software de la microsonda electrònica

8. DISCUSSIÓ

8.1 Heterogeneïtat de la geoquímica olotina

Durant dècades s'ha donat per fet que les roques de la regió olotina presentaven una composició molt homogènia. Aquest fet ha propiciat que en diversos estudis es mostregessin tan sols unes quantes roques, ja que se suposava que aquestes ja eren representatives de tota la regió. Ara bé, la projecció de diagrames binaris comparant elements majors (majors contra SiO₂ o MgO) per les diferents agrupacions de roques fetes, mostra com aquesta homogeneïtat no és real, ja que els diferents grups es projecten més o menys separats (Figura 5) i, a més, la distribució de les anàlisis no és aleatòria, sinó que es dibuixen tendències químiques, evidència d'evolució magmàtica. Les diferències de composició poden ser en alguns casos prou importants com per poder discriminar la zona o unitat d'origen d'una roca (Figura 6).

8.2 Diferenciació

La projecció de diagrames binaris d'elements majors contra SiO₂ o MgO (Figures 7 i 8) mostra tendències químiques més o menys uniformes que

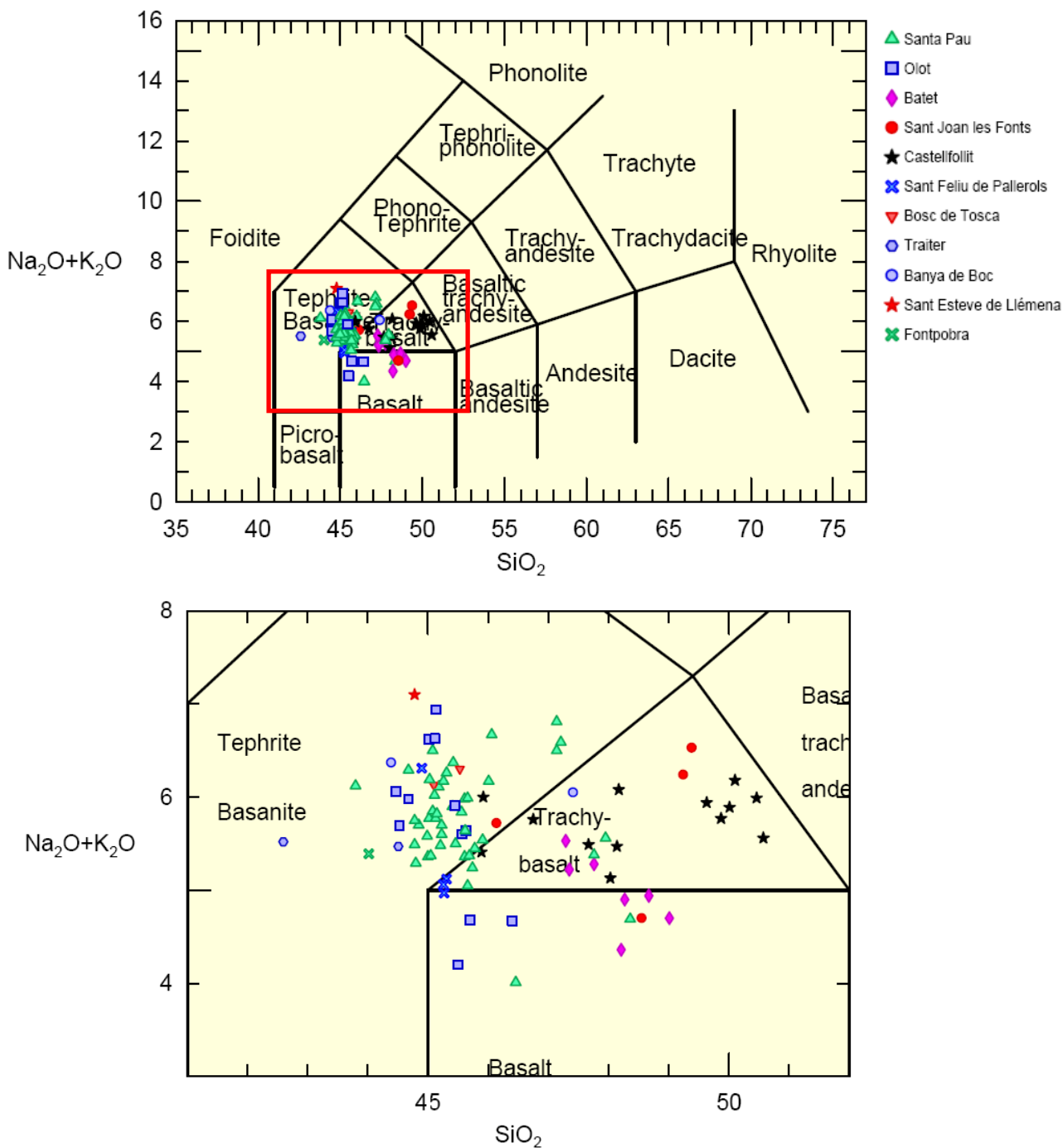


FIGURA 5 Diagrama TAS (Le Maitre et al., 1989), superior: diagrama complet; inferior: augment de la zona marcada en el recuadre vermell del diagrama superior; projecció de les mostres agrupades per zones

indiquen que els diferents events magmàtics ocorreguts a la regió van patir processos evolutius similars. Sent així, l'estudi en conjunt de totes les anàlisis disponibles proporciona informació sobre l'evolució dels sistemes magmàtics (tendències i causes) sense que es necessiti conèixer en detall les relacions genètiques de les diferents unitats.

En els diagrames esmentats, s'observa un nucli de roques primitives constituït principalment per basanites i basalts rics en potassi, a partir del qual s'allunyen roques cada cop més diferenciades (traquibasalts potàssics, hawaiïtes i basalts amb

contingut mig en potassi) dibuixant unes tendències que poden ser explicades en termes de cristallització fraccionada dins el sistema. El nucli de roques primitives es caracteritza per continguts baixos en SiO_2 (45-46%) i alts en MgO (9%) i àlcals, característics de grau de fusió parcial baix.

En el gràfic Mg- SiO_2 s'observa com la diferenciació genera productes que s'enriqueixen en SiO_2 i s'empobreixen en MgO; això es pot explicar amb la cristallització d'olivina i en menor mesura piroxè, ja que són minerals amb un contingut en sílice menor que el del magma primitiu, i un contingut en

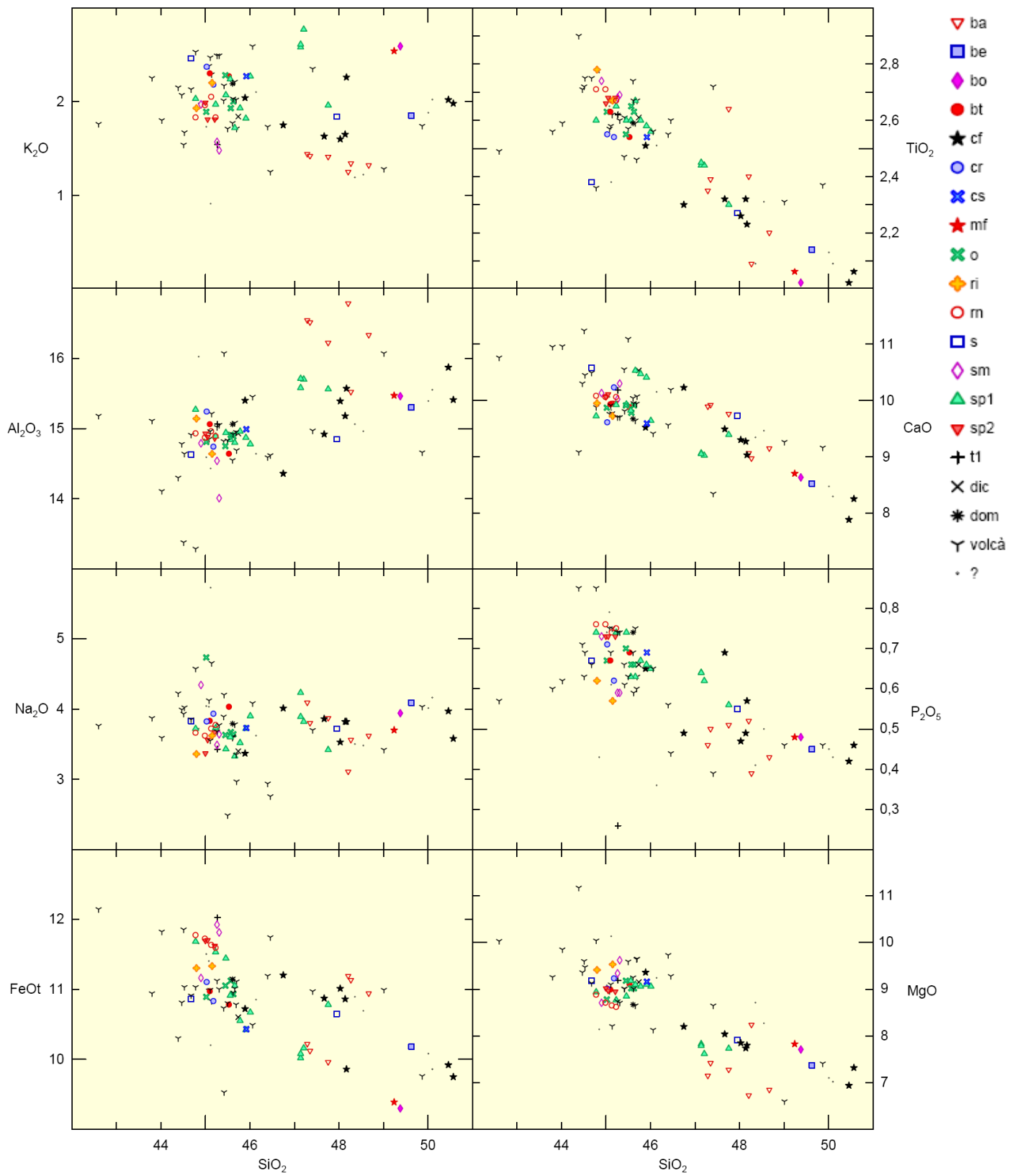


FIGURA 6 Diagrames Harker (elements majors contra sílice). Les mostres estan projectades agrupades per unitats. Els codis de la llegenda es corresponen amb els de la Taula 5

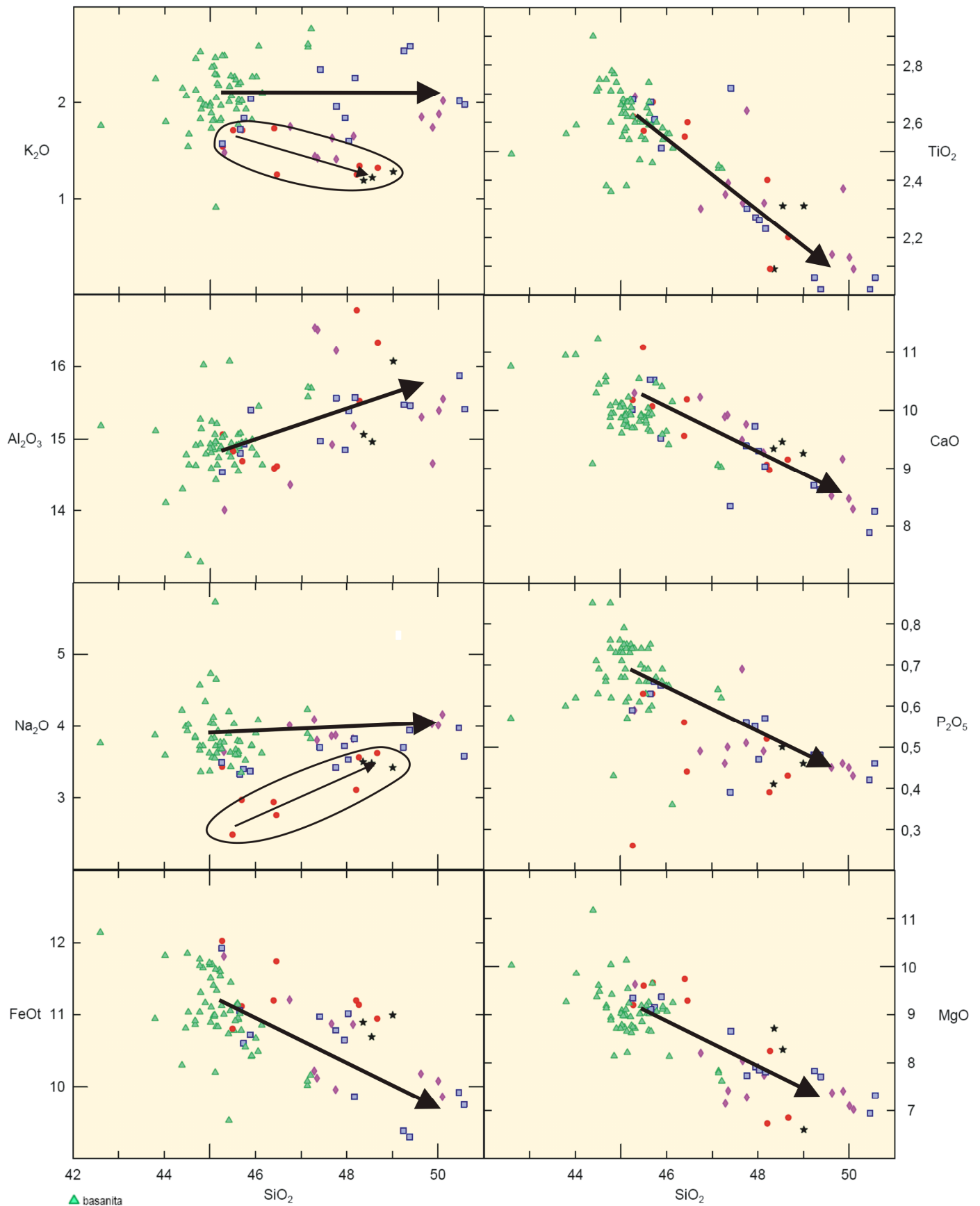
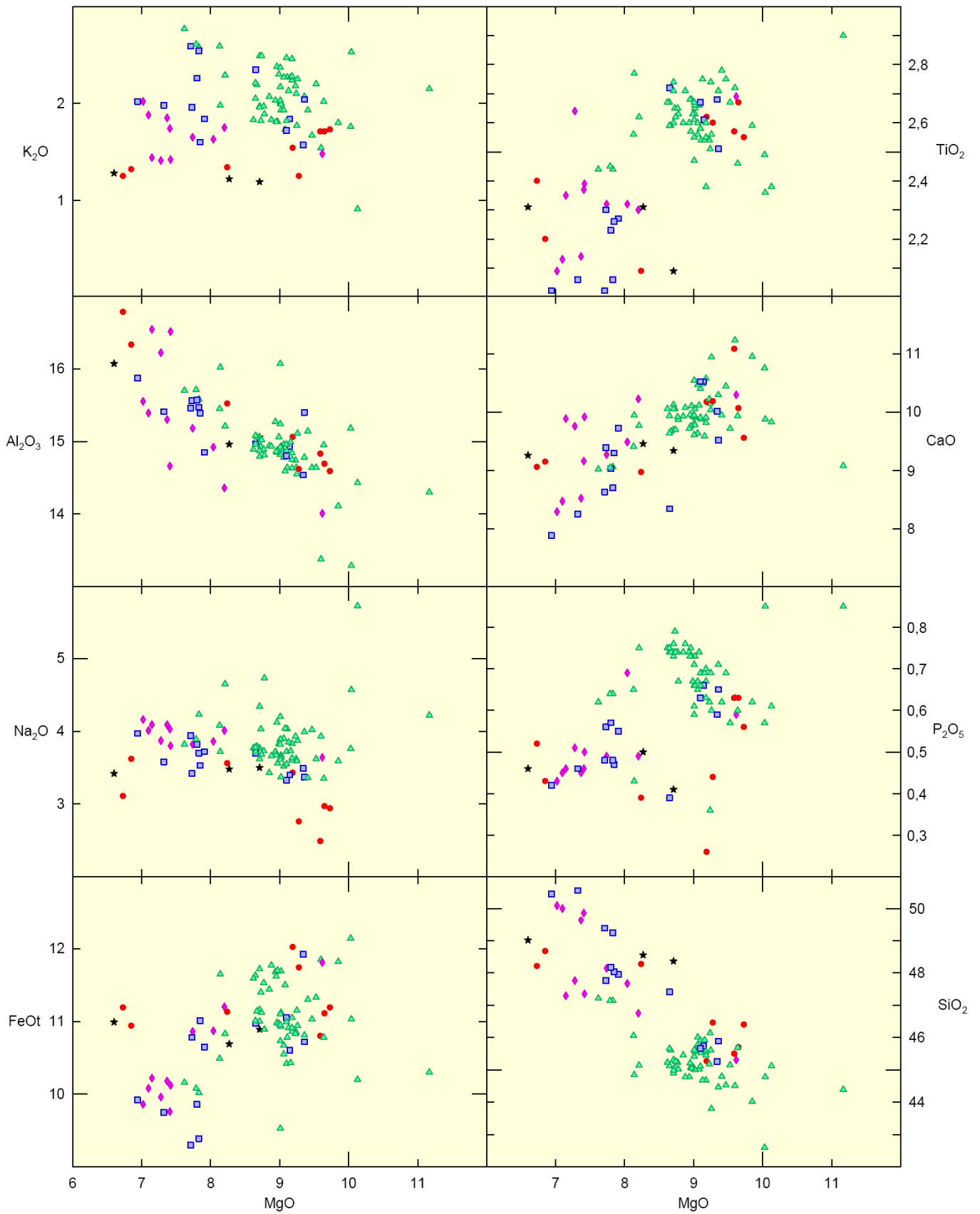


FIGURA 7 Diagrames Harker amb les mostres agrupades per composicions. Les fletxes indiquen tendències d'evolució magmàtica, no es tracta de rectes de regressió



- ▲ basanita
- traquibasalt potàssic
- ◆ hawaiita
- basalt ric en K
- ★ basalt amb K mig

FIGURA 8 Diagrames de composició en elements majors contra MgO, amb les mostres agrupades per composicions.

MgO major. A més d'aquests dos minerals, el diagrama TiO_2-SiO_2 mostra una disminució en el contingut en TiO_2 que pot significar la cristal·lització d'opacs de la sèrie magnetita-ulvospinel·la. Els piroxens també poden incorporar una part d'aquest titani que es fracciona.

La cristal·lització d'aquests minerals es reflecteix també en els diagrames de Al_2O_3 , FeO , i CaO . L'alumini s'enriqueix degut a que, d'aquests minerals, només l'incorporen el piroxè i els òxids, i en una proporció marcadament inferior a la del fos. El ferro pot ésser incorporat en els tres minerals. Finalment, el Ca és incorporat abundantment en el piroxè. La disminució en el contingut en CaO de les roques amb la diferenciació es podria justificar també amb la cristal·lització de plagiòclasi. Ara bé, hi ha diverses evidències que descarten aquesta possibilitat. La petrografia realitzada mostra que la plagiòclasi es troba com a micròlits o com a petits fenocristalls, fet que no concorda amb una cristal·lització primerenca que donés lloc a fraccionament. A més, l'increment marcat del contingut en Al de les roques amb la diferenciació, així com la inexistència de l'anomalia negativa de l'Eu en els diagrames *spider* d'elements traça, descarten la precipitació en quantitats significatives de plagiòclasi com a element de fraccionament. El segrest del Ca és evidenciat també per la tendència observable al diagrama Ba/SiO_2 (Figura 9).

El K i el Na mereixen especial atenció, atès que mostren tendències separades pels basalts i per la resta de roques. Pel que fa a les basanites i traquibasalts, ni el Na ni el K mostren enriquiment o empobriment, fet que indica la cristal·lització d'una fase que els conté en unes proporcions que fan que el contingut en aquests elements es mantingui constant, contrarestant la cristal·lització de les olivines, piroxens i opacs que tendiria a enriquir-los en els magmes. De moment es desconeix quina és aquesta fase, tot i que es podria tractar de feldspatoids tipus leucita o analcima. Com en el Ca, els traces que poden substituir el K (Rb i Sr) marquen clarament aquesta precipitació d'una fase potàssica (Figura 9).

En el cas dels basalts, aquests mostren un contingut en K similar al de les basanites, encara que lleugerament més baix, i una tendència a l'empobriment, indicatiu de fraccionament d'una fase amb un contingut significatiu de potassi. Malauradament no es disposa de dades de química mineral de basalts, fet que impedeix poder interpretar quina és aquesta fase. Tot i això se suposa que es podria tractar d'una fase tipus leucita. El contingut en Na inicial és marcadament inferior al de les basanites, i mostren una tendència a l'enriquiment, de manera que aquest element no és segrestat per cap fase de les que cristal·litza en una proporció important. Finalment, l'empobriment en P indica cristal·lització d'una fase com ara l'apatita.

El contingut en àlcals diferenciat dels basalts, així com les tendències de diferenciació separades de la resta de roques, poden indicar heterogeneïtats en l'àrea

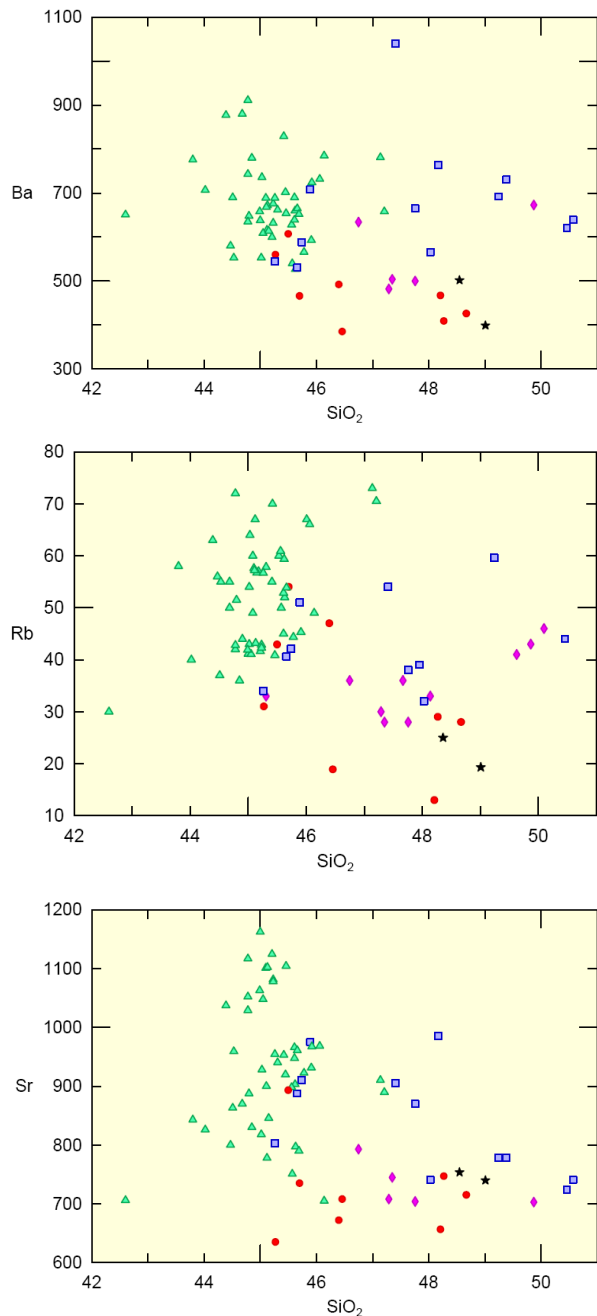


FIGURA 9 Diagrames de contingut en Ba, Rb i Sr contra silice. Mostres agrupades per composicions. La llegenda és igual a la de les Figures 7 i 8

font dels magmes, el mantell, que generen una família diferent de fosos.

8.3 Cambres magmàtiques

El primer treball que cita la presència de cambres magmàtiques en el vulcanisme olotí és el de Llobera (1983). L'autora arriba a la conclusió que els enclavaments del volcà Rocanegra són cumulats de cambra formats a 10 kbar, és a dir, dins el mantell en el límit amb l'escorça, tot i que no estudia la relació d'aquests amb el magma que els porta fins a la superfície. Per altra banda, autors com López Ruiz i Rodríguez Badiola (1985) o Martí et al. (1992),

argumenten que l'ascens dels magmes quaternaris es dona directament des de les zones d'origen, produint-se un diferenciació molt reduïda, de manera que no contempen la presència de cambres magmàtiques. Neumann et al. (1999), en el seu estudi dels xenòlits màfics del volcà Rocanegra, explica com aquests xenòlits són cumulats de cambra formats en cambres magmàtiques a pressions no precisades entre 2 i 7 kb (aproximadament 5-19 km, i per tant dins de l'escorça). Així, es postula per primera vegada, tot i que en termes molt generals, la presència de cambres magmàtiques crustals en el vulcanisme neogen-quaternari català.

En l'apartat anterior s'ha discutit com les tendències evolutives dels magmes analitzats poden ser explicades en termes de cristal·lització fraccionada. Per tal de que el fraccionament sigui efectiu, els magmes s'han d'emmagatzemar durant un cert temps dins d'una cambra magmàtica. Com s'ha comentat, Neumann et al. (1999) demostren la presència de cambres dins de l'escorça a la zona de la Garrotxa per magmes que no van assolir la superfície (és a dir, expressats en forma de xenòlits); així, és possible pensar que alguns dels magmes que van generar les manifestacions volcàniques quaternàries relativament més diferenciades en aquesta zona van poder ser emmagatzemats temporalment en cambres magmàtiques crustals, on es va produir la diferenciació. El present treball demostra, doncs, que els processos d'evolució magmàtica per cristal·lització fraccionada en cambra magmàtica han funcionat amb caràcter general als sistemes volcànics quaternaris de la Garrotxa, sense que de moment es pugui concretar la profunditat de les respectives cambres magmàtiques.

Un aspecte a remarcar referent a la diferenciació dels magmes dins les cambres és la tendència existent a que els primers termes emesos en cada zona siguin més diferenciats que els termes posteriors. Aquest fet es pot observar en el diagrama MgO/SiO₂ de la Figura 6, on es veu com les colades de Castellfollit (cf), les de Sant Joan les Fonts (mf i bo), les colades de Batet (ba), i la colada del riu Ser (s), són termes més diferenciats. Aquest fet pot indicar que, a partir dels magmes originals, a la cambra magmàtica es donen uns processos de diferenciació que generen una part alta de la cambra més diferenciada i una part baixa menys diferenciada. D'aquesta manera, quan la cambra s'obre, els primers productes que són emesos són els més diferenciats.

8.4 Nomenclatura de les mostres als mapes de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC)

Els noms que reben les roques en funció de la seva composició en els mapes de l'ICC s'han establert a partir d'estudis propis i dels treballs existents a la bibliografia. Com s'ha comentat en l'apartat de geoquímica, aquests noms poques vegades són establerts en base a la geoquímica i, quan ho són, no se

segueixen criteris uniformes. Per aquest motiu, una revisió de la nomenclatura usada, comparant amb la nomenclatura obtinguda en aquest estudi, revela que els noms atribuïts a les roques són sovint incorrectes. A tall d'exemple, en les cartografies de l'ICC cap roca és classificada com a traquibasalt; a més, es classifiquen basalts com a basanites i viceversa. Així doncs, es fa necessària una revisió de la classificació actual per tal d'assignar els noms correctament seguint els criteris establerts per la IUGS.

8.5 Risc associat al vulcanisme bàsic

Durant els últims 300.000 anys la zona volcànica de la Garrotxa ha experimentat activitat eruptiva cada 15.000 a 20.000 anys aproximadament, amb l'últim episodi havent-se donat fa menys de 10.000 anys. Així doncs, no es poden descartar completament futures erupcions a la zona, i per tant es fa necessari dur a terme una avaluació del risc associat al vulcanisme.

Els perills associats a aquest vulcanisme bàsic provenen tant del vulcanisme efusiu (colades de lava) com de l'explosiu (caiguda de piroclastos i fluxos piroclàstics). En el cas de les colades, la perillositat està condicionada pel volum de lava emès, pel relleu (que pot canalitzar o dispersar les colades, alhora que en controla la velocitat) i per la viscositat del magma (que en condiciona la reologia i per tant, entre d'altres paràmetres físics, la velocitat de propagació per la superfície). Els fenòmens explosius poden ser deguts tant a les propietats intrínseques del magma com a la interacció del magma amb cossos d'aigua. Qualsevol magma pot generar erupcions violentes quan es dona interacció amb aigua. Aquesta vindrà donada per l'existència de roques poroses al substrat (no necessàriament sedimentàries (Gisbert, 2006)), i per taxes d'emissió baixes que permetin la interacció d'ambdós fluids. En el cas de l'activitat explosiva en sec, aquesta depèn de la reologia del fos: com més viscos és, més explosivitat. Els magmes que de moment han estat caracteritzats a la zona de la Garrotxa no són, aparentment, prou viscosos per generar erupcions explosives. Ara bé, tal com s'ha argumentat anteriorment, existeixen processos de diferenciació per cristal·lització fraccionada en cambra magmàtica. Un cop el magma es troba a la cambra, el grau de diferenciació només depèn del temps transcorregut abans de l'obertura d'aquesta. Així doncs, el grau de diferenciació conegut actualment no és necessàriament el més alt que es pot assolir, i per tant no es pot descartar l'emissió en el futur de magmes suficientment diferenciats com per donar erupcions explosives capaces de generar fluxos piroclàstics i altres fenòmens característics d'aquest tipus d'activitat que també poden suposar un perill, com ara la caiguda de cendres.

Finalment, no s'han d'oblidar els perills induïts per l'activitat volcànica, com ara la inundació de les valls producte del barratge dels rius per part de les colades.

9. CONCLUSIONS

El present estudi aporta gran quantitat de noves dades de geoquímica de roca total, petrologia i química mineral d'un elevat nombre de mostres, principalment làviques, pertanyents en gran part a la zona menys estudiada anteriorment.

S'ha analitzat la totalitat de les dades geoquímiques disponibles a la bibliografia i, tot comparant amb les dades de nova adquisició, s'han discriminat les que no són vàlides (per motius d'antiguitat, qualitat de l'anàlisi, o falta d'indicació de la procedència de la mostra), i que per tant no haurien d'ésser usades en posteriors estudis. A més, s'han classificat totes les roques en funció de la química de roca total seguint el criteri establert per la IUGS per tal d'obtenir una terminologia uniforme i acceptada internacionalment.

L'anàlisi conjunta de totes les dades de la regió olotina ha permès veure (a falta d'un estudi més de detall de les diferents zones i unitats que per motius evidents de durada i dimensions d'aquest treball no han estat abordats) que la composició de les roques no és homogènia, i que la terminologia en els mapes de l'ICC no és correcta per moltes de les unitats.

L'estudi conjunt de la química de roca total, química mineral i petrologia ha permès inferir que els processos petrogenètics dominants a la regió han estat: fusió parcial amb un grau molt baix d'una sorgent mantèl·lica probablement heterogènia, i processos de cristallització fraccionada, ocorreguts en un cambra magmàtica intracrustal, on les fases dominants són olivina i clinopiroxè tipus diòpsid.

Pel que fa a la distribució areal i temporal s'ha observat que els productes més antics de cada zona són els més evolucionats, fet que es pot interpretar com a resultat d'una diferenciació més important a la part superior de la cambra magmàtica.

Aquest treball representa tan sols un estudi preliminar que posa de manifest que encara queda molta feina per fer a la regió volcànica olotina. En el futur s'hauran de continuar fent estudis de detall per tal de poder caracteritzar correctament totes les unitats, incloses les que encara no han estat estudiades. Aquesta caracterització permetrà afrontar estudis més de detall com ara datacions radiomètriques, estudi de l'evolució mantèl·lica i dels sistemes magmàtics (inclosa la situació de les cambres magmàtiques mitjançant estudis termobaromètrics dels clinopiroxens), i resoldre les abundants mancances

existents en el coneixement de la vulcanoestratigrafia de la regió.

AGRAÏMENTS

Per a l'elaboració d'aquest treball ha estat imprescindible la col·laboració d'un seguit de persones a qui vull agrair la seva ajuda i consell: el meu tutor, Domingo Gimeno, Meritxell Aulinas, José Luis Fernández-Turiel, Flavia Ruggieri, Irene Cantarero, Jordi Illa, del Dept. GPPG, el personal del Servei de Làmina Prima de la Facultat de Geologia de la UB, i el personal de FRX, ICP i Microsonda electrònica dels SCT-UB. També s'agraeixen al Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa les facilitats i permisos donats per al treball dins del parc i el mostreig dels materials. Aquest treball s'ha desenvolupat en el marc del Grup d'Investigació Consolidat SGR 2005 795 (AGAUR, DURSI de la Generalitat de Catalunya) i del projecte CGL2007-63727/BTE (MEC), amb el suport del Comissionat per a Universitats i Recerca del Departament d'Innovació, Universitat i Empresa de la Generalitat de Catalunya i del Fons Social Europeu.

BIBLIOGRAFIA

- Anadón, P.**, Colombo, F., Esteban, M., Marzo, M., Robles, S., Santanach, P., Solé Sagrañes, Ll., 1979. *Evolución tectonoestratigráfica de los Catalánides*. Acta Geológica Hispánica 14, 242-270.
- Araña, V.**, Aparicio, A., Martín Escorza, C., García Cacho, L., Ortiz, R., Vaquer, R., Barberi, F., Ferrari, G., Albert, J., Gassiot, X., 1983. *El volcanismo neógeno cuaternario de Cataluña: caracteres estructurales, petrológicos y geodinámicos*. Acta Geológica Hispánica 18, 1-17.
- AAVV**, 1992. *Història Natural dels Països Catalans: 2 Geologia* (2), Fundació Enciclopèdia Catalana, Barcelona, 360-371.
- Berástegui, X.**, Losantos, M., (coordinadors), Puig, C., Badia, R., Bernat, E., Diaz, E., Martínez, A., Samsó, J.M., Planagumà, L., Mallarach, J.M., Solà, J., Montaner, J., 2003. *Mapa geològic de Catalunya 1:25.000, fulla 257-1-2 (75-22)(Olot)*. Institut Cartogràfic de Catalunya.
- Bianchini, G.**, Beccaluva, L., Bonadiman, C., Nowell, G., Pearson, G., Siena, F., Wilson, M., 2007. *Evidence of diverse depletion and metasomatic events in harzburgite-lherzolite mantle xenoliths from the Iberian plate (Olot, NE Spain): Implications for lithosphere accretionary processes*. Lithos 94, 25-45.
- Bolós, F.**, 1820. *Noticia de los extinguidos volcanes de la villa de Olot, de la naturaleza de sus productos y de sus aplicaciones*. Memorias de Agricultura y Artes de Barcelona, Imprenta Antonio Brusi, Barcelona, 46 pp.
- Bolós, F.**, 1841. *Noticia de los extinguidos volcanes de la villa de Olot y de sus inmediaciones hasta Amer, y de los nuevamente descubiertos y no publicados, todos en la provincial de Gerona, de la naturaleza de sus*

- productos y de sus aplicaciones*. Imprenta Herederos Viuda Pla, Barcelona, 86 pp, 1 mapa.
- Calderón, S.**, Cazorro, M., Fernández Navarro, L., 1906. *Memoria sobre las formaciones volcánicas de la provincia de Gerona*. Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural, t. IV, memoria 5ª, Madrid, 165-489.
- Carr, M.J.**, 2005 *Igpet for window Version March 9 2005*. Programa informàtic de circulació internacional.
- Cebrià, J.M.**, Lopez-Ruiz, J., Doblàs, M., Oyarzun, R., Hertogen, J., Benito, R., 2000. *Geochemistry of the Quaternary alkali basalts of Garrotxa (NE volcanic province, Spain): a case of double enrichment of the mantle lithosphere*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 102, 217-235.
- Coy-Yll, R.**, Gunn, B.M., Traveria-Cross, A., 1974. *Geochemistry of the Catalanian Volcanics*. Acta Geològica Hispànica 9 (4), 127-132.
- Diaz, N.**, Gimeno, D., Losantos, M., Segura, C., 1996. *Las traquitas de Arenys d'Empordà (Alt Empordà, NE de la Península Ibèrica)*. Geogaceta, 20 (3), 572-575.
- Di Traglia, F.**, 2006. *Volcanological evolution of the central area of the Garrotxa volcanic district (NE Catalunya)*. Treball de Final de Carrera inèdit, Universitat de Barcelona, 60pp.
- Donville, B.**, 1976. *Géologie néogène de la Catalogne Orientale*. Bulletin Bureau de Recherches Géologiques et Minières (IIème. série) 4, 177-210.
- Galán, G.**, 2004. *Partial melting and metasomatism in the subcontinental lithospheric mantle of NE Spain*. Geochimica et Cosmochimica Acta 68 (11), A723-A723.
- Gelabert, J.**, 1904. *Los volcanes extinguidos de la provincia de Gerona*. Octavio Viader impresor, Sant Feliu de Guíxols, Girona, 120 pp + 1 mapa.
- Gimeno, D.**, 1995. *Las rocas de textura traquítica de Vilacolum (Girona). Una corrección del Catálogo de la colección de rocas grandes-bloques, del Museo del Parque de Barcelona basada en la revisión de la paragénesis mineral y la geoquímica*. Treballs del Museu de Geologia de Barcelona 4, 211-223.
- Gisbert, G.**, 2006. *Estudi dels mecanismes eruptius del volcà Puig de la Garrinada (Olot)*. Treball de Final de Carrera inèdit, Universitat de Barcelona, 81 pp.
- Gisbert, G.**, Gimeno, D., Fernández-Turiel, J.L., (en revisió). *Eruptive mechanisms of the Puig de la Garrinada volcano (Olot, Garrotxa volcanic province, Northeastern Spain): a methodological study based on proximal pyroclastic deposits*. Journal of Volcanology and Geothermal Research.
- Guérin, G.**, Benhamou, G., Mallarach, J.M., 1985. *Un exemple de fusió parcial en medi continental. El vulcanisme quaternari de Catalunya*. Vitrina 1, 19-26, Olot.
- Le Maitre, R.W.**, Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmidt, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Wooley, R.A., Zanettin, B., 1989. *Classification of igneous rocks and glossary of terms. Recommendation of the International Union of Geological Sciences. Subcomission on the Systematics of Igneous Rocks*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, 193 pp.
- Lechler, P.J.**, Desilets, M.O., 1987. *A review of the use of loss on ignition as a measurement of total volatiles in whole-rock analysis*. Chemical Geology 63, 341-344.
- Llobera, P.**, 1983. *Petrologia de los enclaves del volcán Roca Negra (Olot, NE España)*. Acta Geològica Hispànica 18 (1), 19-25.
- Llovet, X.**, Galán, G., 2003. *Correction of secondary X-ray fluorescence near grain boundaries in electron microprobe analysis: application to thermobarometry of spinel ilmenites*. American Mineralogist 88, 121-130.
- López Ruiz, J.**, Rodríguez Badiola, E., 1985. *La región volcánica mio-pleistocena del NE de España*. Estudios Geológicos 41, 105-126.
- Losantos, M.**, Aragonès, E., Berástegui, X., Palau, J., Puigdefabregàs, C., 1989. *Mapa Geològic de Catalunya 1:250.000*. Institut Cartogràfic de Catalunya
- Losantos, M.**, Planagumà, L., 2007. *Carta vulcanològica de la Zona Volcànica de la Garrotxa*. Institut Cartogràfic de Catalunya.
- Lyell, C.**, 1833. *Principles of Geology* 3, 183-193, London, John Murray, Albermarle-Street.
- Mallarach, J.M.**, Riera, M., 1981. *Els volcans olotins i el seu paisatge*. Editorial Serpa, Barcelona, 250 pp.
- Martí, J.**, Mitjavila, J., Roca, E., Aparicio, A., 1992. *Cenozoic magmatism of the Valencia trough (western Mediterranean): relationship between structural evolutions and volcanism*. Tectonophysics 203, 145-165.
- Martí, J.**, Mallarach, J.M., 1987. *Erupciones hidromagmáticas en el vulcanismo cuaternario de Olot (Girona)*. Estudios geológicos 43, 31-40.
- Martí, J.**, Pujadas, A., Ferrés, D., Planagumà, L., Mallarach, J.M., 2000. *El vulcanisme. Guia de camp de la Zona Volcànica de la Garrotxa*, Guies del Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa, Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, Barcelona, 106 pp.
- Middlemost, E.A.K.**, 1975. *The basalt clan*. Earth Science Reviews 11, 337-364.
- Middlemost, E.A.K.**, 1989. *Iron oxidation ratios, norms and the classification of volcanic rocks*. Chemical Geology 77, 19-26.
- Morimoto, N.** (chairman), 1989. *Nomenclature of Pyroxenes*. Canadian Mineralogist 27, 143-156.
- Neumann, E.R.**, Martí, J., Mitjavila, J., Wulff-Pedersen, E., 1999. *Origin and implications of mafic xenoliths associated with the cenozoic extension-related volcanism in the València Trough, NE Spain*. Mineralogy and Petrology 65 (1-2), 113-139.
- Peccerillo, R.**, Taylor, S.R., 1976. *Geochemistry of the Eocene calcalkaline volcanic rocks from Kastamonu area, northern Turkey*. Contributions to Mineralogy and Petrology 58, 63-81.
- San Miguel de la Cámara, M.**, 1918. *El vulcanismo en España*. Boletín de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, 244-254.

San Miguel de la Cámara, M., Marcet Riba, J., 1926. *Región Volcánica de Olot, Extracto de la Guía "Cataluña"* Excursión C-4, XIV Congreso Geológico Internacional, Imprenta Sobrinos de López Robert y Cia., Barcelona, 39-214.

San Miguel de la Cámara, M., 1936. *Estudio de las rocas eruptivas de España*. Vol. 6 Serie de Ciencias Naturales, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, 660 pp.

Solé Sabarís, L., 1982. *Pre-descobrimient de la regió volcànica d'Olot*. Ciència 13 (6-9), Barcelona.

Tournon, J., 1968. *Le volcanisme de la province de Gérone (Espagne). Études des basalts quaternaires et de leurs enclaves*. Thèse 3ème Cycle, Laboratoire de Pétrographie de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, inédita, 128 pp.

Tournon, J., 1969. *Basaltic lavas from North-Eastern Spain (Gerone area) – Leucite-basanites and analcite-basanites*. Bulletin de la Société Française de Mineralogie et de Cristallographie 92 (4), 376-379.

Washington, H.S., 1907. *The catalan volcanoes and their rocks*. T. American Journal of Science XXIV, 217-242, Washington.

Whilliams-Thorpe, O., Thorpe, R.S, 1985. *Els orígens geològics del molins romans depedra del nord-est de Catalunya I l'ús de les laves de la regió volcànica d'Olot*. Vitrina 1, 137-146.

Yoder, H.S., Tilley, C.E., 1962. *Origin of basalt magmas: an experimental study of natural and synthetic rock systems*. Journal of Petrology 3, 342-532.