

Registro de eventos metasomáticos en los xenolitos peridotíticos del volcán de Los Tormos (Campo de Calatrava, España).

Peridotite xenoliths from the Los Tormos volcano as records of metasomatic events (Calatrava Volcanic Field, Spain).

C. Pérez-Soba¹, C. Villaseca^{1,2} y J. García Serrano¹

¹ Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. c/ José Antonio Novais, 12, 28040 Madrid. pesoa@ucm.es, granito@ucm.es, jgserrano@ucm.es

² Instituto de Geociencias (CSIC, UCM), c/ Doctor Severo Ochoa, 7, 28040 Madrid.

Resumen: En el volcán de Los Tormos (Campo de Calatrava) se han distinguido dos grupos principales de xenolitos mantélicos en función del análisis modal, presencia de anfíbol y composición química del clinopiroxeno, lo que permite deducir al menos dos sectores del manto ligados a eventos metasomáticos de diferente naturaleza. El grupo más abundante son lherzolitas con espinela, formados por minerales con contenidos altos de Mg, y clinopiroxeno con bajo contenido en elementos traza incompatibles y espectros normalizados relativamente planos, que evidenciaría afinidad con un manto empobrecido tipo MORB, el manto más primitivo del conjunto. Sin embargo, las anomalías negativas en Nb-Ta y enriquecimiento variable en los elementos más incompatibles (Th, U, Pb, tierras raras ligeras) y elementos móviles (Sr, K, Ba) en dichos espectros indicarían la interacción con fluidos metasomáticos derivados de zonas de subducción, que actuarían con distinta intensidad. Las wehrlitas con anfíbol destacan por la riqueza en hierro de sus minerales, así como por la composición del clinopiroxeno, con espectros de elementos traza normalizados enriquecidos en los elementos medianamente incompatibles, todo lo cual sugiere el paso de fundidos metasomáticos de naturaleza silicatada alcalina rica en carbónico. Este mismo metasomatismo afectaría a algunos xenolitos lherzoliticos con espectros similares.

Palabras clave: Xenolitos peridotíticos, metasomatismo, Campo de Calatrava.

Abstract: In xenoliths from the Los Tormos volcano (Calatrava volcanic field), two main mantle xenolithic groups have been distinguished according to modal analysis, amphibole occurrence and clinopyroxene chemical composition. These features suggest different origins for each xenolith group, evidencing mantle sectors metasomatized by different agents. The spinel-bearing lherzolite xenoliths define the most abundant group, showing high magnesium and low trace-element contents in the rock-forming minerals, with nearly flat clinopyroxene trace element pattern, suggesting affinity to depleted mantle sources (MORB type). The well-pronounced Nb-Ta negative anomaly in these patterns indicates later variable interaction with subduction-related metasomatic agents. The amphibole-bearing wehrlite group shows Fe-rich mineralogy and clinopyroxene normalized trace-element spectra enriched in the most incompatible elements, defining typical metasomatism by carbonate-rich silica under-saturated alkaline melt. The other xenoliths showing similar trace element patterns than hydrous wehrlites are also affected by silica-undersaturated alkaline metasomatism.

Keywords: Peridotite xenolith, metasomatism, Calatrava volcanic field.

INTRODUCCIÓN

El campo volcánico de Calatrava (CVC) comprende alrededor de doscientos centros volcánicos neógenos situados en el centro meridional de España (Ancochea, 1982). Algunos de estos centros volcánicos trajeron a la superficie xenolitos del manto que, en cada uno de los centros estudiados hasta ahora, presentan marcadas diferencias texturales y, principalmente, de composición mineral. Todo ello evidencia una compleja y larga historia de eventos de fusión parcial y metasomatismo que hacen de este sector del manto litosférico subcontinental una zona muy heterogénea (ver referencias en Villaseca *et al.*, 2019). Uno de los volcanes de más reciente estudio es el volcán de Los Tormos (LT) (Pozuelo de Calatrava, Ciudad Real), un cono de

escoria formado por piroclastos de caída de composición nefelinita olivínica y que incluyen lapilli de xenolitos mantélicos (Andía *et al.*, 2018). Éstos son pequeños (2-4 cm), fundamentalmente lherzolitas con espinela y en menor proporción wehrlitas con un variable contenido de anfíbol. La composición química de elementos mayores y trazas de las fases minerales de las lherzolitas y wehrlitas, especialmente del clinopiroxeno y del anfíbol, ponen de manifiesto que cada uno de estos tipos litológicos puede subdividirse en otros, sugiriendo procedencias de diferentes sectores del manto. En este estudio pretendemos aproximarnos a los posibles agentes que dieron lugar a esta diversidad petrológica de peridotitas.

PETROGRAFÍA

La composición modal de los 49 xenolitos muestreados en el volcán LT se ha realizado sólo en aquellas láminas delgadas con una superficie representativa de peridotita ($>1\text{-}2\text{ cm}^2$). En dicha selección, la mayoría de ellos ($n=16$) son lherzolitas con espinela (olivino: 40-78 vol%; ortopiroxeno: 10-50 vol%; clinopiroxeno: 6-20 vol%; espinela: 1-5 vol%), y sólo tres son wehrlitas (olivino: 63-72 vol%; clinopiroxeno: 20-35 vol%; ortopiroxeno: 0-3 vol%; espinela: 0-3 vol%).

Para facilitar la identificación de las muestras con sus litotipos, se antecede al número una L para las lherzolitas, una W para las wehrlitas y Am cuando tienen anfíbol en contenido significativo ($>1\%$). Las lherzolitas presentan una textura protogranular, mientras que las wehrlitas muestran una textura granular alotriomórfica con límites de granos curvilíneos (Fig. 1a). El clinopiroxeno tiende a tener menor tamaño de grano (1-3 mm) entre los granos mayores (2-5 mm) de olivino y ortopiroxeno. Las wehrlitas presentan los bordes de cristales de clinopiroxeno con textura cribosa. La espinela en las lherzolitas es intersticial, mientras que en las wehrlitas sólo aparece en las muestras con anfíbol. En las wehrlitas el anfíbol aparece con contenidos variables (desde <1 hasta un 7 vol%), disperso como pequeñas inclusiones en clinopiroxeno o en cristales de grano medio (a veces formando agregados) englobando un cristal más o menos céntrico de espinela (Fig. 1b). En la lherzolita AmL5607 el anfíbol aparece tanto en parches irregulares formados por vidrio y neoblastos de clinopiroxeno y olivino fundamentalmente (Fig. 1c), como en una doble microinclusión en clinopiroxeno (Fig. 1d).

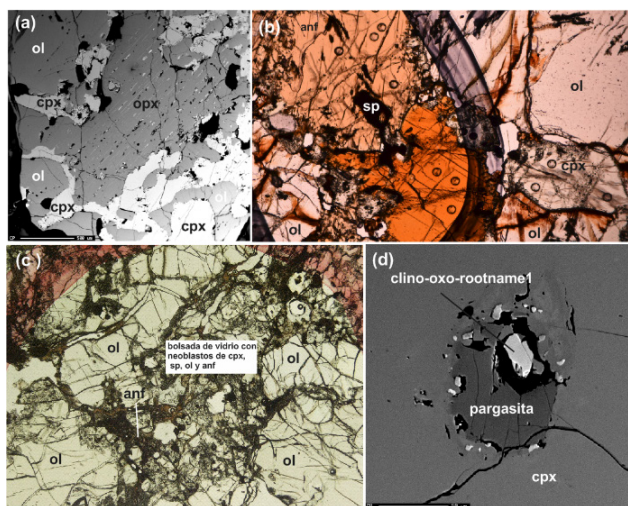


FIGURA 1. Aspectos texturales en xenolitos mantélicos del volcán de Los Tormos (CVC). a) Textura granular alotriomorfa de bordes curvilíneos entre olivino y clinopiroxeno en wehrlita (AmW6610); b) granos de anfíbol alrededor de espinela (AmW6610); c) bolsa de vidrio con neoblastos, entre los cuales crece el anfíbol (AmL5607); d) doble inclusión de anfíbol en clinopiroxeno con borde criboso.

La mayor parte de los xenolitos presentan minerales con bordes de reacción en contacto con la roca volcánica ultralcalina, estando más extensamente desarrollados en el ortopiroxeno. Éste puede llegar a estar totalmente transformado a un agregado de neoblastos de clinopiroxeno y olivino. En los bordes del enclave el clinopiroxeno desarrolla un borde de tonalidad más oscura, similar a los desarrollados en la mayor parte de los fenocristales de la nefilinita olivínica. En el olivino es mucho menos frecuente encontrar zonas de reacción.

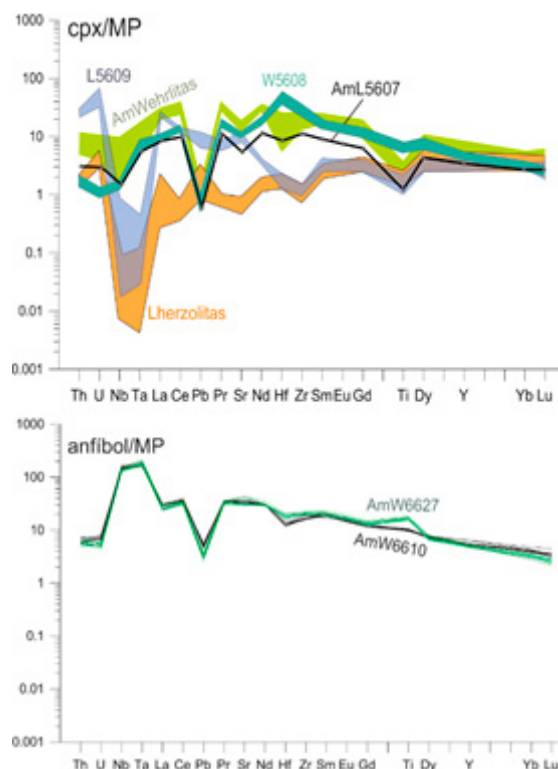


FIGURA 2. Elementos traza normalizados al manto primordial (MP) para el clinopiroxeno (superior) y el anfíbol (inferior) en xenolitos del volcán de Los Tormos (CVC).

COMPOSICIÓN QUÍMICA MINERAL

Los procesos metasomáticos y procesos de fusión parcial en el manto quedan bien reflejados en la composición de elementos traza del clinopiroxeno. Es por ello por lo que este mineral se describe primero, ya que su composición da pautas para agrupar los xenolitos estudiados. En la Figura 2 se incluyen los diagramas de elementos traza del clinopiroxeno normalizados al manto primordial (MP) de los diferentes xenolitos agrupados según pautas similares. El clinopiroxeno de la mayoría de las lherzolitas presenta un espectro relativamente plano (1-10x MP) jalonado por anomalías negativas de Nb y Ta, y menores de Ce, Sr Zr y Ti. Dos xenolitos difieren de este grupo. La muestra L5609 tiene un espectro del Hf al Lu similar al grupo anterior, pero con contenidos más altos en el grupo de los elementos más incompatibles, dando una ligera pendiente negativa. Es la única muestra con anomalía positiva de Sr y ausencia de anomalía en Pb, pero también con fuertes

anomalías negativas de Nb-Ta y menos acusadas de Zr y Ti. El otro grupo principal lo constituyen las wehrlitas y lherzolitas con anfíbol. El clinopiroxeno de las wehrlitas muestra un espectro de elementos traza normalizados que se caracteriza por una forma ligeramente convexa hacia arriba (alcanza los valores más altos en los elementos medianamente incompatibles, del Nd al La), con enriquecimientos moderados en U y Th, anomalía negativa en Nb mucho menor que en el grupo de las lherzolitas (y casi inexistente en Ta) y anomalía negativa en Pb y Ti. Dentro de este grupo entraría el xenolito AmL5607 por su clinopiroxeno con un espectro subparalelo al del grupo de las wehrlitas con anfíbol, pero con contenidos algo menores. El clinopiroxeno del xenolito wehrlítico con anfíbol accesorio (W5608) muestra pautas intermedias entre el de las wehrlitas con anfíbol y el de la muestra AmL5607, pero se diferencia en que no hay enriquecimiento en U y Th, tiene una marcada anomalía positiva de Hf y no tienen anomalía de Ti.

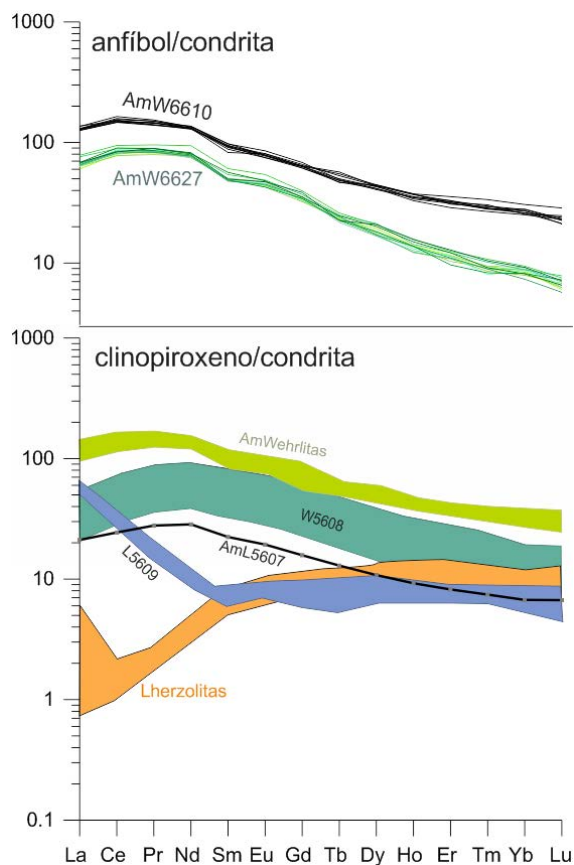


FIGURA 3. Diagramas de contenidos de tierras raras normalizados al condrito para el clinopiroxeno (inferior) y anfíbol (superior) en xenolitos mantélicos del volcán de Los Tormos (CVC).

El diagrama de tierras raras normalizado al condrito del clinopiroxeno de estos xenolitos define estos mismos grupos, incidiendo en la pendiente negativa de las tierras raras ligeras en la muestra L5609, a diferencia del resto de las lherzolitas (Fig. 3). El clinopiroxeno de las lherzolitas

es predominantemente diópsido, mientras que en las wehrlitas con anfíbol es de tipo augita y en las wehrlitas sin anfíbol es diópsido en una de ellas (W5608) y augita en la otra (W6615). El contenido en $\text{FeO}_{\text{total}}$ de los clinopiroxenos aumenta desde las lherzolitas y wehrlitas con anfíbol a la lherzolita con trazas de anfíbol AmL5607, alcanzando contenidos considerablemente mayores en las wehrlitas sin anfíbol (Fig. 4). El olivino y ortopiroxeno muestran valores más altos en FeO en aquellas muestras donde el clinopiroxeno también lo tiene (Fig. 4). Sin embargo, mientras que en el olivino el contenido en MgO y FeO muestra una buena correlación negativa, en ambos piroxenos el FeO no está correlacionado con la variación de MgO.

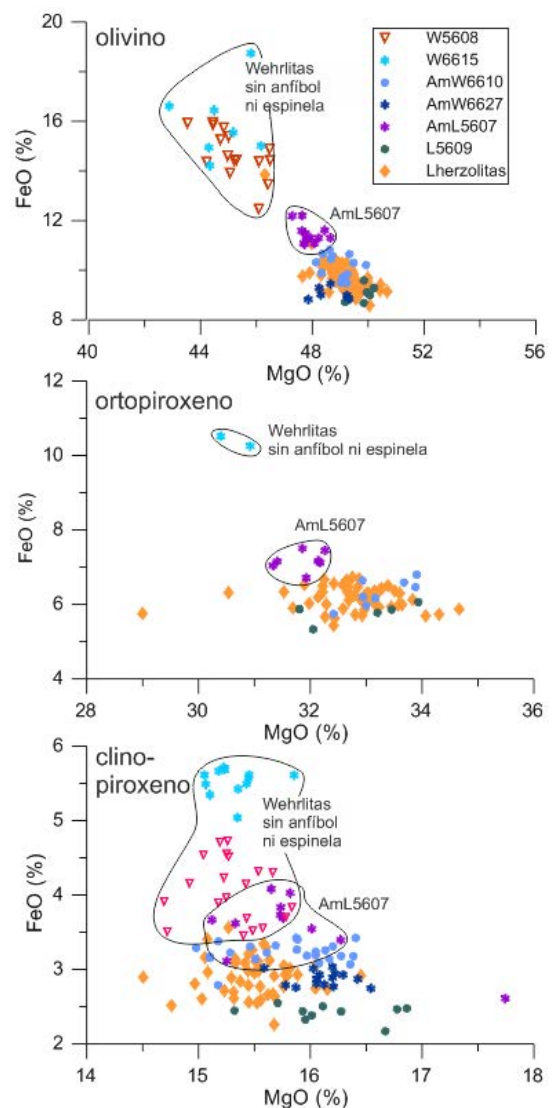


FIGURA 4. Diagramas MgO vs. $\text{FeO}_{\text{total}}$ (% en peso) para el olivino (superior), ortopiroxeno (medio) y clinopiroxeno (inferior) en xenolitos mantélicos del volcán de Los Tormos (CVC).

El anfíbol de las wehrlitas muestra una composición de pargasita rica en titanio, que evoluciona hacia magnesio-hastingsita rica en titanio en los bordes de los cristales.

les zonados. La inclusión doble de anfíbol en el clinopiroxeno de AmL5607 muestra contenidos mayores en SiO₂ y MgO, y contenidos traza en Na₂O y TiO₂. El anfíbol más interno es *clino-oxo-rootname1* (un anfíbol magnésico cálcico con sodio, intermedio entre antofilita y gedrita) y el que lo incluye es pargasita (Fig. 1d). El anfíbol en las bolsadas con vidrio es kaersutita. Sólo se han podido realizar análisis de elementos traza por LA-ICP-MS en los anfíboles de las dos wehrlitas por su mayor tamaño, obteniéndose en los diagramas de elementos traza normalizados al MP espectros similares. Éstos definen una pauta con ligera pendiente negativa, con valores bajos de U y Th, anomalía positiva en el par Nb-Ta, negativa en Pb, y anomalías significativas y variables en Hf (negativa) y Ti (positiva). El espectro de tierras raras normalizado al condrito (Fig. 3) del anfíbol define pautas ligeramente distintas, siendo similares las pautas del anfíbol y clinopiroxeno de la muestra AmW6610, mientras que el anfíbol de la muestra AmW6627 se asemeja más por contenidos al clinopiroxeno de la muestra W5608 (con trazas de anfíbol), aunque con un espectro más fraccionado.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El metasomatismo en el manto es el resultado de la interacción con fluidos/fundidos de naturaleza carbonatada, silicatada o de mezclas de ambos. En el CVC ya se ha descrito metasomatismo alcalino más o menos carbonatado, así como de fundidos/fluidos subalcalinos de subducción (p.e., Villaseca *et al.*, 2010 y 2019). Los xenolitos muestreados del volcán de LT también evidencian estas interacciones: i) presencia de anfíbol (metasomatismo modal); ii) variedad en las composiciones del clinopiroxeno, pero también del olivino y ortopiroxeno (metasomatismo críptico); y iii) variaciones en las composiciones modales desde lherzolita a wehrlita, por destrucción del ortopiroxeno y olivino. Las marcadas diferencias entre los xenolitos sugieren que son varios agentes metamórficos los que afectaron al manto muestreado por este volcán. La variación composicional del clinopiroxeno según los parámetros Ti/Eu y Zr/Hf permite adscribir el metasomatismo a los posibles agentes que pueden actuar en el manto (p.e., Coltorti *et al.*, 1999; Uenver-Thiele *et al.*, 2017). La proyección en este diagrama de la composición del clinopiroxeno de los xenolitos del volcán LT distingue claramente dos grupos (Fig. 5). Los xenolitos de lherzolitas con espinela y wehrlitas con anfíbol accesorio (W5608 y W6615) quedan inscritos en el área de metasomatismo por fluido/fundido silicatado. Los valores menores de Ti/Eu con incrementos en Zr/Hf son indicativos de mezcla con agente silicatado rico en carbónico (magmas ultraalcalinos), definiendo dicha pauta los xenolitos con anfíbol (AmL5607, AmW6610 y AmW6627).

En el contexto del CVC el metasomatismo silicatado puede provenir principalmente de dos escenarios: i) de carácter alcalino, a veces con tendencia carbónica, generados por fusión parcial del manto en sectores de intraplaca continental; ii) silíceos derivados de zonas de subducción. Las pautas descritas anteriormente pueden ligarse a cada uno

de estos fundidos con ciertas variaciones. Las lherzolitas sin anfíbol representarían las composiciones inicialmente más primitivas del conjunto, con minerales ricos en magnesio y clinopiroxeno con contenidos bajos de elementos traza incompatibles y espectros de tierras raras normalizados relativamente planos y con ligera pendiente positiva, similar al manto empobrecido (tipo MORB). Pero los enriquecimientos en los elementos más incompatibles (especialmente la lherzolita L5609), que acentúan la anomalía negativa en el par Nb-Ta, sugieren que este manto más primitivo se vio afectado por un metasomatismo derivado de zonas de subducción. El clinopiroxeno de las wehrlitas con anfíbol (AmL6610 y 6627) y de la lherzolita AmL5607 define espectros con influencia de fundidos/fluidos alcalinos ricos en carbónico, tanto por los espectros normalizados arqueados en los elementos traza medianamente incompatibles, como en una considerablemente menor anomalía Nb-Ta y mayor de Pb. Las wehrlitas con anfíbol accesorio (W5608 y W6615) definen un metasomatismo alcalino de marcado carácter máfico, con una anomalía positiva de Hf distintiva del resto..

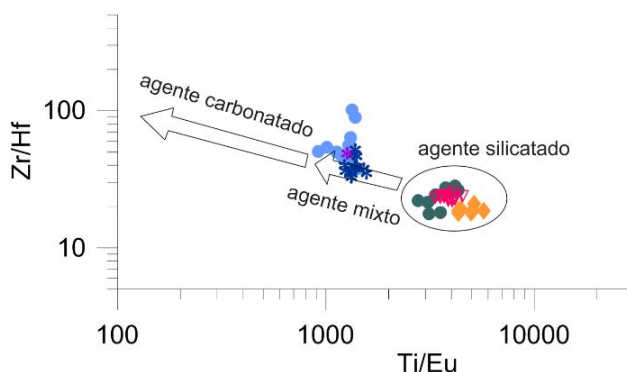


FIGURA 5. Diagrama Ti/Eu vs. Zr/Hf del clinopiroxeno en xenolitos del volcán de LT (CVC). Las flechas marcan la naturaleza del agente metamórfico (modificado de Uenver-Thiele *et al.*, 2017).

Los símbolos igual que en la Fig. 4.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se incluye dentro de los objetivos del proyecto CGL2016-78796 del Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) y del grupo UCM 9104492.

REFERENCIAS

- Ancochea, E. (1982): *Evolución especial y temporal del volcanismo reciente de España Central* (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid: 675 p.
- Andía, J., Villaseca, C., y Pérez-Soba, C. (2018): Mineralogical characterization of peridotite xenoliths from the Los Tormos volcano (Calatrava volcanic field). *Geogaceta*, 63: 99–102.
- Coltorti, M., Bonadiman, C., Hinton, R. W., Siena, F. y Upton, B. G. J. (1999): Carbonatite metasomatism of the oceanic upper mantle: Evidence from clinopyroxenes and glasses in ultramafic xenoliths of Grande Comore, Indian Ocean. *Journal of Petrology*, 40: 133–165.

Uenver-Thiele, L., Woodland, A.B., Seitz, H.-M., Downes, H., y Altherr, R. (2017): Metasomatic processes revealed by trace element and redox signatures of the lithospheric mantle beneath the Massif Central, France. *Journal of Petrology*, 58: 395–422.

Villaseca, C., Ancochea, E., Orejana, D. y Jeffries, T.E. (2010): Composition and evolution of the lithospheric mantle in central Spain: inferences from peridotite xenoliths from the Cenozoic Calatrava volcanic field. En: *Petrological Evolution of the European Lithospheric Mantle* (M. Coltorti, H. Downes, M. Grégoire y S.Y. O'Reilly, eds.).

Geological Society, London, Special Publications, 337: 125-151.

Villaseca, C., Belousova, E., Barfod, D. y González-Jiménez, J.M. (2019): Dating metasomatic events in the lithospheric mantle beneath the Calatrava volcanic field (central Spain). *Lithosphere*, 11: 192–208.