

# Composición isotópica de Lu–Hf en circones de las metabasitas ordovícicas del Sistema Central Español

## *Zircon Lu-Hf isotopic composition of Ordovician metabasites from the Spanish Central System*

David Orejana<sup>1</sup> y Carlos Villaseca<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM), España. dorejana@ucm.es

<sup>2</sup>Instituto de Geociencias IGEO (UCM, CSIC), Madrid, España. granito@ucm.es

### ABSTRACT

*The zircon Lu-Hf isotopic composition of the Ordovician metabasites from the Spanish Central System provides slightly to moderately depleted values and highlights the existence of significant differences between the Tenzuela and Revenga-El Caloco areas. Metagabbros from this latter area show a subtle decoupling between  $\epsilon\text{Hf}$  and  $\epsilon\text{Nd}$  ( $\epsilon\text{Hf}$  above the mantle array) as well as older Hf and Nd model ages. This likely implies that pelagic sediments were recycled in the mantle source of Revenga-El Caloco metabasites during the Cadomian cycle. The isotopic similitude with respect to Variscan basic rocks indicates that juvenile components were not added to the mantle below the Spanish Central System, which did not experience significant modifications from the Ordovician to the end of the Variscan orogeny.*

**Key-words:** Lu-Hf isotopes, model ages, ordovician metabasites, Spanish Central System.

### RESUMEN

*La composición isotópica Lu-Hf de los circones de las metabasitas ordovícicas del Sistema Central Español proporciona valores entre ligeramente y moderadamente empobrecidos y señala diferencias entre el sector de Tenzuela y los de Revenga-El Caloco. Los metagabbros de estos últimos sectores poseen un ligero desajuste entre los valores de  $\epsilon\text{Hf}$  y  $\epsilon\text{Nd}$  ( $\epsilon\text{Hf}$  por encima de la alineación del manto), así como edades modelo de Hf y Nd mayores. Esta característica probablemente implica que cierto reciclaje de sedimentos pelágicos se produjo dentro del área fuente mantélica de las metabasitas de Revenga-El Caloco durante el ciclo orogénico Cadomiense. La semejanza isotópica respecto a materiales básicos variscos parece indicar que el manto bajo el Sistema Central Español no se rejuveneció ni experimentó cambios importantes desde el Ordovícico hasta el final de la orogenia Varisca.*

**Palabras clave:** Isótopos Lu-Hf, edades modelo, metabasitas ordovícicas, Sistema Central Español.

*Geogaceta*, 65 (2019), 31-34  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Revisión: 23 de octubre de 2018  
Aceptación: 23 de noviembre de 2018  
Aceptación: 23 de octubre de 2018

## Introducción

La resistencia del circón tanto al metamorfismo en condiciones de elevada P-T como a la alteración deutérica, junto con sus altas concentraciones de Hf, hacen de este mineral el objetivo idóneo para el análisis de las relaciones isotópicas del sistema Lu-Hf. En rocas magmáticas, estos datos son de gran utilidad a la hora de evaluar el grado de contaminación de los magmas y caracterizar el tipo de área fuente (e.g., Chauvel *et al.*, 2008).

La combinación de los resultados del sistema Lu-Hf y los de Sm-Nd en roca total (con el que muestra una especial afinidad geoquímica), junto con las dataciones U-(Th)-Pb del circón, permite asignar edades

precisas a los procesos magmáticos estudiados y aporta robustez a la interpretación sobre la naturaleza de los fundidos. No obstante, se ha observado que los sistemas Lu-Hf y Sm-Nd no siempre muestran una correlación perfecta, sino que cierto grado de desconexión es posible por causas diversas (e.g., Vervoort y Kemp, 2016).

El objetivo de este trabajo es describir la composición isotópica (Lu-Hf) de los circones ya datados de las metabasitas ordovícicas del Sistema Central Español (SCE; Villaseca *et al.*, 2015; Orejana *et al.*, 2017). Se establecerá el grado de correlación que poseen las relaciones isotópicas iniciales de  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  respecto a datos previos de  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ . Asimismo, se discutirá la información que estos datos aportan respecto a

la naturaleza y evolución del área fuente mantélica que originaron estos magmas toleíticos.

## Contexto geológico

El Sistema Central Español está compuesto por intrusiones de granitos variscos emplazados en rocas metamórficas. Este encajante puede corresponder con metasedimentos del Neoproterozoico superior a Cámbrico inferior, acompañados de ortogneises metagraníticos post-cadomienses, o con metasedimentos del Ordovícico a Devónico (e.g., Rubio Pascual *et al.*, 2013; Villaseca *et al.*, 2016). Las rocas básicas pre-variscas son escasas y aparecen en forma de pequeños cuerpos (sills, diques o

lacolitos, Fig. 1), intrusivos en los metasedimentos o en los ortogneises glandulares de edades comprendidas en el rango 477-500 Ma (Villaseca *et al.*, 2016).

Las metabasitas del SCE aparecen en tres sectores principales: Tenzuela, Revenga y El Caloco (Fig. 1). El grado de transformación metamórfica durante el ciclo Varisco es variable, alcanzándose condiciones de alta P-T en Tenzuela, lo que dio lugar a la formación de términos retroeclogíticos, granulitas de presión intermedia y anfibolitas a leucoanfibolitas graníferas (Barbero y Villaseca, 2000). En los otros sectores la transformación es menor, se reconocen las texturas magmáticas primarias y en Revenga llegan a encontrarse litologías con olivino y otros minerales ígneos preservados.

Los estudios más recientes en estas litologías han establecido su edad de cristalización entre 453 y 473 Ma (Villaseca *et al.*, 2015; Orejana *et al.*, 2017) y han proporcionado un numeroso conjunto de datos de geoquímica de roca total de elementos mayores, trazas e isotópicos (Sr-Nd). Este magmatismo ordovícico es toleítico y por lo tanto desligado del plutonismo félsico fuertemente peralumínico que le antecede (gneises glandulares en los que se emplazan). Los datos geoquímicos indican la participación de dos fuentes de manto diferentes, una más empobrecida y otra que muestra cierto grado de reciclaje de componentes de corteza (Orejana *et al.*, 2017).

## Resultados: isótopos Lu-Hf

Las relaciones isotópicas de Lu-Hf fueron determinadas en el Departamento de Geociencias de la Universidad de Oslo mediante un espectrómetro de tipo Nu Plasma HR MC-ICP-MS con sistema de ablación láser acoplado. Los análisis se realizaron en los mismos puntos donde se midieron previamente las relaciones U-Pb para la datación, o dentro de la misma zona textural del circón. Se han excluido de este estudio los circones heredados. El número total de análisis ha sido de 70 puntos, con una distribución por muestras como sigue (Fig. 1): 110406 (n=12), 110407 (n=20), 110410 (n=18), 114793 (n=6) y 114796 (n=14).

Los valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  calculados a la edad U-Pb determinada en cada punto son positivos en todos los casos pero muestran cierta heterogeneidad, encontrándose en su conjunto entre +0,5 y +10,7 (Fig. 2A). La

dispersión de datos hacia edades más jóvenes de las correspondientes a la edad de cristalización implican cierta pérdida de Pb (Orejana *et al.*, 2017) debido al metamorfismo varisco (Fig. 2A), que no suele afectar de igual manera al sistema Lu-Hf (Amelin *et al.*, 2000). De ahí que los valores de  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  en dichas muestras se mantengan relativamente constantes, independientemente de la edad U-Pb.

Pese a que el conjunto de datos analizados proporciona un rango composicional continuo, se puede apreciar que las muestras del sector de Tenzuela (110406, 110407 y 110410) poseen valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  mayores (+3,9 a +10,7) con respecto a las muestras de los sectores de Revenga (114793) y El Caloco (114796) (+0,5 a +3,7), estando los valores de la leucoanfibolita 110410 en un punto intermedio (Fig. 2A). Como cabría esperar, estas diferencias en el sistema Lu-Hf se correlacionan con los datos de Sm-Nd en roca total:

valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  más bajos implican valores menores de  $\epsilon_{\text{Nd}}$  (Fig. 2B). Se observa que los valores de las muestras de Tenzuela están centrados sobre la línea de evolución del manto (*mantle array*), mientras que las dos muestras más enriquecidas (Revenga-El Caloco), poseen valores ligeramente más radiogénicos de Hf de lo que teóricamente les correspondería.

Se han calculado las edades modelo de Hf ( $T_{\text{DMC}}$ ) con la intención de establecer la antigüedad del área fuente en relación a su extracción del Manto Empobrecido. Dicho cálculo se ha hecho usando valores de  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$  de referencia en la evolución corteza-manto (0,015 y 0,022), dado que la relación Lu/Hf del área fuente no se conoce. Las muestras de Tenzuela dan lugar a un rango de edades modelo (usando el valor de  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,022$ ) más joven (864-1282 Ma) respecto a las muestras de Revenga y El Caloco (~1485-1800 Ma, Fig. 3). De nuevo, la muestra félsica 110410 de

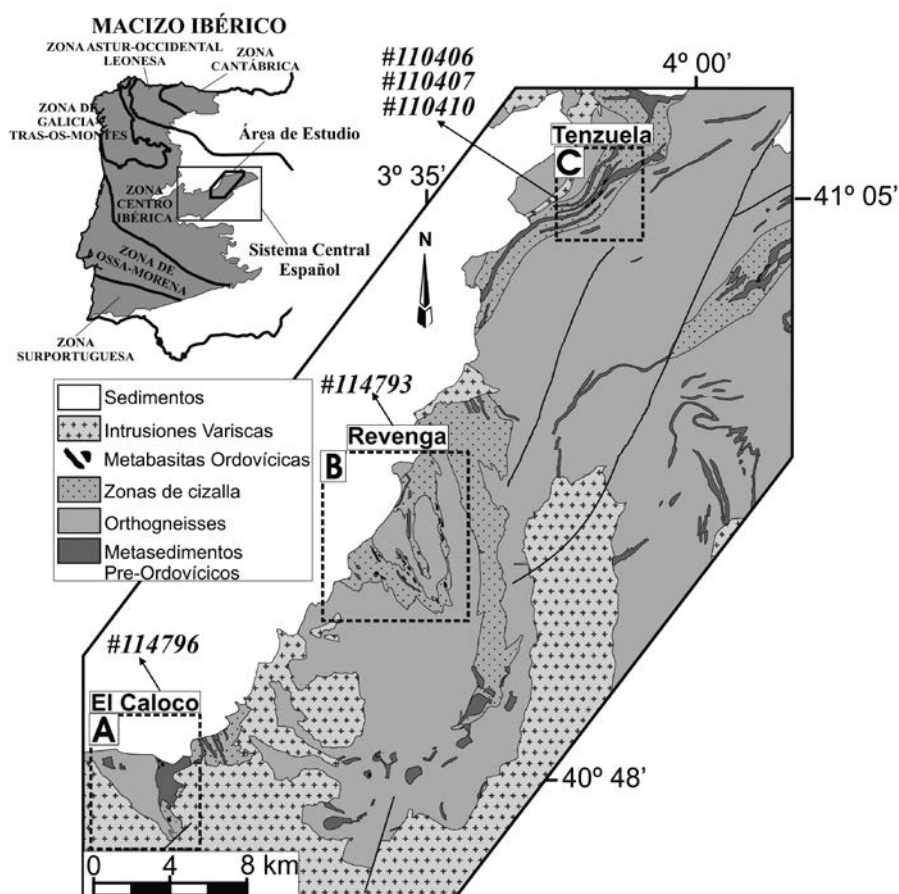


Fig. 1. Mapa con los principales sectores del Sistema Central Español en los que aparecen metabasitas de edad Ordovícica: El Caloco (A), Revenga (B) y Tenzuela (C). Se indica, para cada sector, los números de muestra (en cursiva y negrita).

Fig. 1. Map showing the main areas within the Spanish Central System with outcrops of Ordovician metabasites: El Caloco (A), Revenga (B) and Tenzuela (C). The sample numbers are indicated in *italics and bold* for each sector.

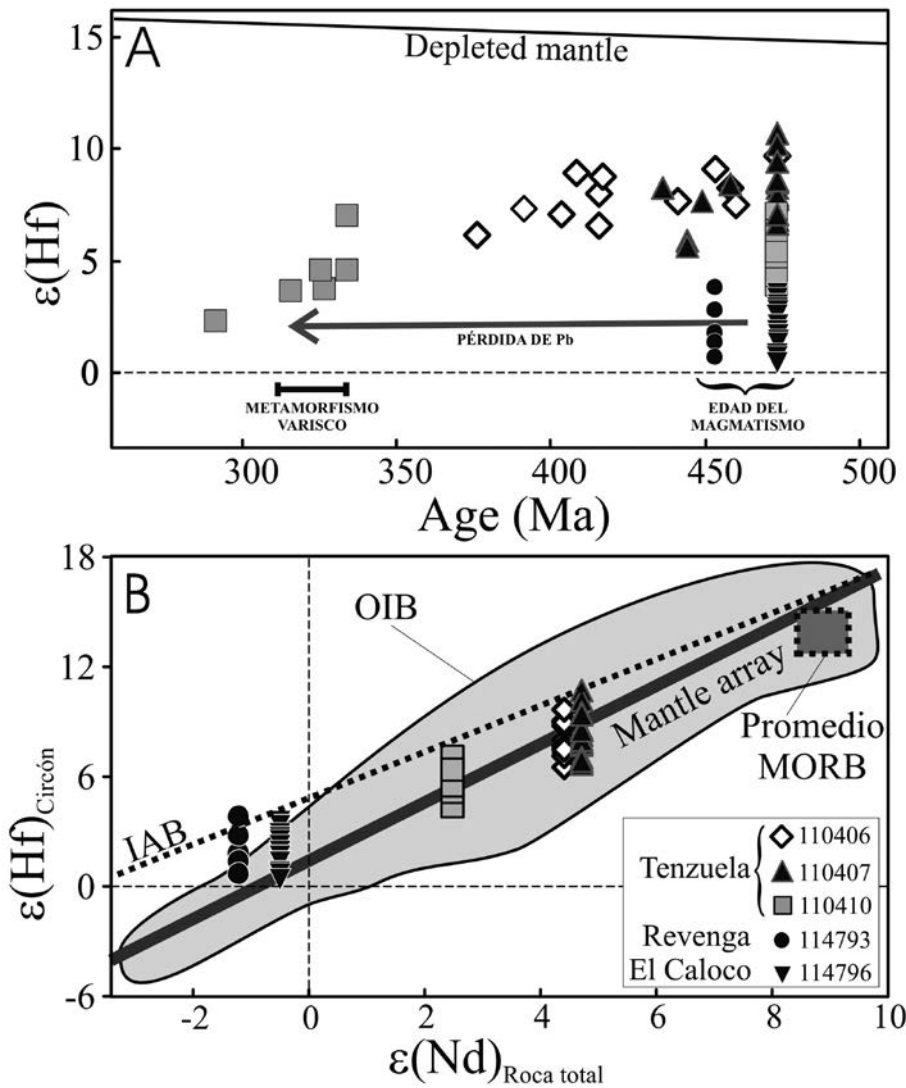


Fig. 2. (A)  $\epsilon_{\text{Hf}}$  vs. edad del circon y (B)  $\epsilon_{\text{Hf}}$  vs.  $\epsilon_{\text{Nd}}$  de las metabasitas ordovícicas del Sistema Central Español. Los valores promedio del MORB, el campo OIB y el *mantle array* están tomados de Chauvel *et al.* (2008). La línea de evolución de los IAB procede de Vervoort *et al.* (1999).

Fig. 2. (A)  $\epsilon_{\text{Hf}}$  vs. zircon age and (B)  $\epsilon_{\text{Hf}}$  vs.  $\epsilon_{\text{Nd}}$  for the Ordovician metabasites from the Spanish Central System. MORB values, the OIB field and the *mantle array* are taken from Chauvel *et al.* (2008). The evolution line of IAB is from Vervoort *et al.* (1999).

Tenzuela se encontraría entre ambos rangos (~1200-1500 Ma). Las curvas de  $T_{\text{DMC}}$  calculadas usando un valor de  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,015$  dan rangos más jóvenes, y la elección del valor más apropiado se tratará en la discusión.

A modo de comparación, también se proyectan en la figura 3 las edades modelo de Nd (roca total) de cada muestra y las de rocas ígneas básicas del SCE ligadas al ciclo Varisco (franja gris). Con la excepción de las muestras 110406 y 114493, los valores de edades modelo de Hf y Nd son coincidentes, y los picos (usando el valor de  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,022$ ) coinciden con el rango de  $T_{\text{DM}}$  (Nd) observado en magmas básicos variscos.

### Discusión y conclusiones

#### Naturaleza del manto y evolución durante el Paleozoico

La composición de isótopos de Hf analizada en los circones de las metabasitas ordovícicas del SCE está de acuerdo con la generación de los magmas básicos a partir de un manto moderadamente a escasamente empobrecido, presentando las muestras del sector de Tenzuela mayores valores que el resto (Fig. 2A). Estos datos apuntan a la posible participación de dos áreas fuente ligeramente diferentes. La misma conclusión se extrae de los valores de  $\epsilon_{\text{Nd}}$ , que se correlacionan con los de Hf (Fig. 2B).

El Nd radiogénico permite una separación más clara de los datos que el Hf debido a su carácter promedio y al mayor grado de fraccionamiento entre Lu y Hf en comparación con el que se produce entre Sm y Nd (Vervoort *et al.*, 1999).

La geoquímica de roca total relaciona las metabasitas de Tenzuela con un manto ligeramente enriquecido, dentro de la línea de evolución del manto, mientras que las de El Caloco y Revenga, con contenidos más elevados de LILE (*e.g.*, Rb, Th y Pb), muestran la influencia de un componente cortical en el área fuente (Orejana *et al.*, 2017).

Se pueden diferenciar, por lo tanto, dos tipos de áreas fuente en el manto, de tal manera que las muestras 110406-110407 representarían el polo más empobrecido y las muestras 114793-114796 el polo más enriquecido (Fig. 2B). La leucanfilita 110410 posee una composición isotópica intermedia probablemente como resultado de un proceso de asimilación (Orejana *et al.*, 2017).

Los valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  de los metagabros de Revenga y El Caloco se sitúan por encima del alineamiento del manto (hasta 5 unidades de  $\epsilon$  para la muestra 114793) y próximos a la línea de evolución de los basaltos de zonas de subducción (IAB; Vervoort *et al.*, 1999) (Fig. 2B). Este comportamiento implica la participación de un componente cortical, como ya señalaba la geoquímica de elementos traza. El reciclaje en el manto de sedimentos pelágicos, cuyos valores de  $\epsilon_{\text{Hf}}$  están por encima de la línea de evolución del manto, se ha propuesto como una de las posibles causas del desajuste de los sistemas isotópicos Lu-Hf y Sm-Nd (Chauvel *et al.*, 2008). La continuada subducción oceánica bajo Gondwana durante el Cado-miense podría explicar la presencia de dicho componente cortical en el manto subcontinental.

Las diferencias en las edades modelo de Hf entre los sectores de Tenzuela y Revenga-El Caloco refuerzan que el magmatismo básico ordovícico del SCE se produce a partir de dos componentes de manto diferentes (Fig. 3). Los valores más elevados en Revenga-El Caloco probablemente implican mezcla del manto con un componente más antiguo, lo cual favorece la hipótesis de un reciclaje de corteza continental vía subducción.

Las edades modelo de Nd son, sin embargo, más variables, y no siempre se sola-

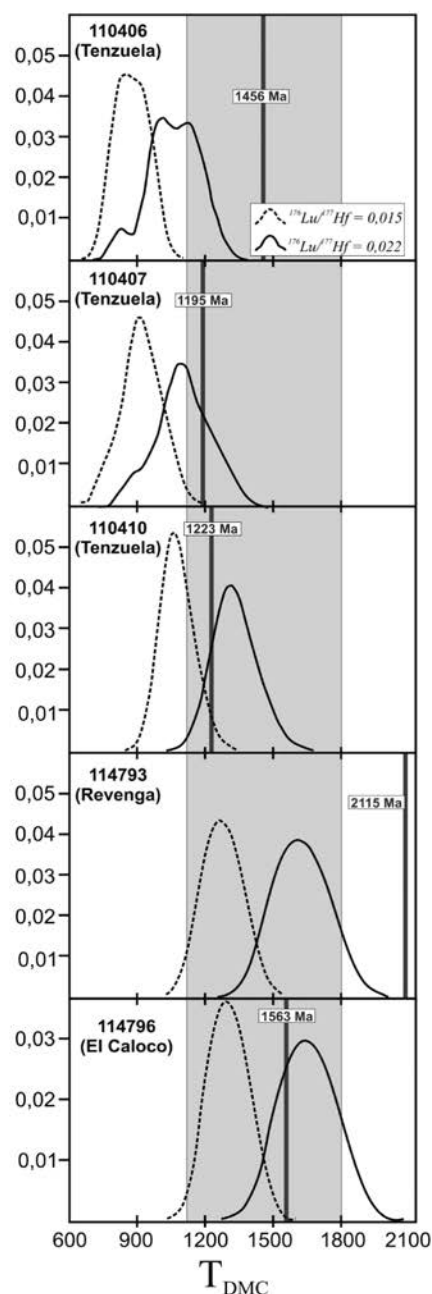


Fig. 3. Curvas de distribución de probabilidad de  $T_{DMC}$  (Hf) para  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,015$  y  $0,022$ . La línea vertical gris es el  $T_{DM}$  (Nd) (Villaseca *et al.*, 2015; Orejana *et al.*, 2017), con el valor indicado en un rectángulo. La franja gris claro es el rango de  $T_{DM}$  (Nd) de rocas básicas tardi-variscas (Villaseca *et al.*, 2004; Orejana *et al.*, 2009).

Fig. 3. Probability density plots of  $T_{DMC}$  (Hf) for  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0.015$  and  $0.022$ . The vertical grey line is the  $T_{DM}$  (Nd) (Villaseca *et al.*, 2015; Orejana *et al.*, 2017), with its value inside the rectangle. The light grey area is the range of  $T_{DM}$  (Nd) for late-Variscan basic rocks (Villaseca *et al.*, 2004; Orejana *et al.*, 2009).

pan con las curvas de los datos de Hf (Fig. 3). Esto se observa principalmente en las muestras 110406 y 114793. Ambas rocas poseen valores de  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  por encima de 0,165, pudiendo dar lugar a edades modelo erróneas (Stern, 2002). Para el resto de muestras, las edades modelo de Hf y Nd se aproximan razonablemente (considerando  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,022$ ). La semejanza en los valores de  $T_{DM}$  (Nd) del magmatismo básico ordovícico con respecto a rocas básicas e intermedias tardivariscas (Villaseca *et al.*, 2004; Orejana *et al.*, 2009) parece indicar que este último evento de colisión continental no implica un rejuvenecimiento del manto, sino un reciclaje del mismo, al menos hasta el final de la orogénica.

#### Incertidumbres del sistema isotópico Lu-Hf

La relación  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$  usada en el cálculo de la edad modelo es siempre arbitraria, dado que la que proporcionan los circones analizados no son los de la fuente ígnea. Con frecuencia se ha asignado un valor de 0,015 a dicho parámetro, correspondiendo a una estimación de la composición media de la corteza continental (Griffin *et al.*, 2002). Sin embargo, los valores de  $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$  de rocas básicas derivadas del manto suelen ser mayores y más variables (0,02-0,03; Vervoort y Kemp, 2016). La influencia de este dato en el cálculo final implica diferencias de varios centenares de millones de años, como demuestran los gráficos de las cinco muestras (Fig. 3). En este trabajo se ha optado por un valor de 0,022, dado su mejor ajuste a los datos de Nd más fiables (muestras 110407, 110410 y 114796). Son varios los parámetros ligados al cálculo de las edades modelo de Hf que implican cierto grado de incertidumbre (e.g., Vervoort y Kemp, 2016), por lo que se puede concluir que, en términos generales, las edades modelo de Hf pueden ser útiles a la hora de comparar muestras entre sí, pero no aportan edades absolutas y fiables de extracción a partir del manto empobrecido.

#### Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el proyecto CGL2016-78796-C2-1-P del Ministerio de Economía y Competitividad de España. La adquisición y tratamiento de datos isotópicos de Lu-Hf se ha realizado con la ayuda de Magnus Kristoffersen (Universidad de Oslo, Noruega). Agradecemos las revisiones de Pablo Valverde Vaqueiro y Richard Albert, cuyos comentarios han contribuido a mejorar el manuscrito original.

#### Referencias

- Amelin, Y., Lee, D.C. y Halliday, A.N. (2000). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64, 4205-4225.
- Barbero, L. y Villaseca, C. (2000). *Mineralogical Magazine* 64, 815-836.
- Chauvel, C., Lewin, E., Carpentier, M., Arndt, N.T. y Marini, J.-C. (2008). *Nature Geosciences* 1, 64-67.
- Griffin, W.L., Wang, X., Jackson, S.E., Pearson, N.J., O'Reilly, S.Y., Xu, X. y Zhou, X. (2002). *Lithos* 61, 237-269.
- Orejana, D., Villaseca, C., Pérez-Soba, C., López-García, J.A. y Billström, K. (2009). *Lithos* 110, 262-276.
- Orejana, D., Villaseca, C. y Merino Martínez, E. (2017). *Lithos* 284-285, 608-624.
- Rubio Pascual, F.J., Arenas, R., Martínez Catalán, J.R., Rodríguez Fernández, L.R. y Wijbrans, J.R. (2013). *Tectonophysics* 587, 207-221.
- Stern, R.J. (2002). *Journal of African Earth Sciences* 34, 109-117.
- Vervoort, J.D., Patchett, P.J., Blichert-Toft, J. y Albarède, F. (1999). *Earth and Planetary Science Letters* 168, 79-99.
- Vervoort, J.D. y Kemp, A.I.S. (2016). *Chemical Geology* 425, 65-75.
- Villaseca, C., Orejana, D., Pin, C., López García, J.A. y Andonaegui, P. (2004). *C.R. Geosciences* 336, 877-888.
- Villaseca, C., Castiñeiras, P. y Orejana, D. (2015). *Gondwana Research* 27, 392-409.
- Villaseca, C., Merino Martínez, E., Orejana, D., Andersen, T. y Belousova, E.A. (2016). *Gondwana Research* 34, 60-83.