



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Estudio Geológico y Metalogenético del Basamento Precámbrico del Sáhara Occidental

Saleh Lehib Nayem

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) i a través del Dipòsit Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) y a través del Repositorio Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service and by the UB Digital Repository (diposit.ub.edu) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

8.4. LOS MAURITÁNIDES: GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL Y GEOCRONOLOGÍA

8.4.1. INTRODUCCION

Como se ha visto en el apartado de petrografía, en el dominio de los Mauritánides hay una amplia variedad de rocas ígneas, principalmente graníticas y gabroicas. A falta de recursos económicos para poder datar toda la diversidad de rocas de un área tan extensa, se ha seleccionado las rocas alcalinas; con ello, se dispone también del análisis geoquímico para estas rocas. Con todo, el peso de las muestras disponibles era muy ajustado y se apreciaba en ellas una cierta deformación y alteración. Se dispone de una sola muestra para cada uno de los intrusivos analizados, de manera que la representatividad es baja. Por ello, los resultados de la geoquímica se dan para que puedan ser de guía para tener criterios a la hora de ampliar este trabajo en el futuro, y como unos apuntes para contrastar los resultados de la petrografía, pero deberemos hacer recaer el peso de la caracterización en los datos del apartado de petrografía.

8.4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS GRANITOS ALCALINOS

Teniendo en cuenta las limitaciones que se han expuesto en el apartado anterior, se han representado los datos de tres de los granitos de afinidad alcalina del área en el diagrama TAS de Cox et al. (1979) para las

rocas plutónicas (fig. 8.4.1). Como puede apreciarse, las muestras de Lefhuda y Gleibat Tleha se representan en el campo de los granitos, concordando con la clasificación preliminar con microscopía óptica de la muestra. En cambio, los granitos de Derraman quedan fuera, lo cual no es raro si se tiene en cuenta que presentan más del 77% en peso de

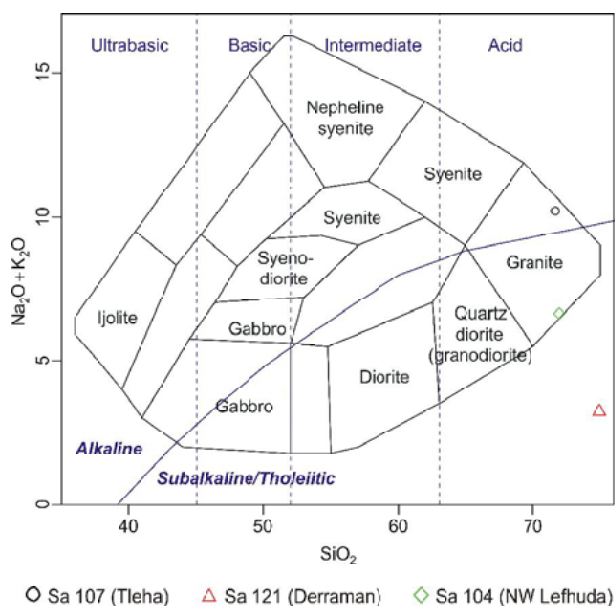


Figura 8.4.1. Representación del análisis químico de granitos alcalinos de los Mauritánides en el diagrama TAS de Cox et al. (1979).

Figure 8.4.1 Representation of the chemical analyses of some alkali granites from the Mauritanides in the TAS diagram by Cox et al. (1979).

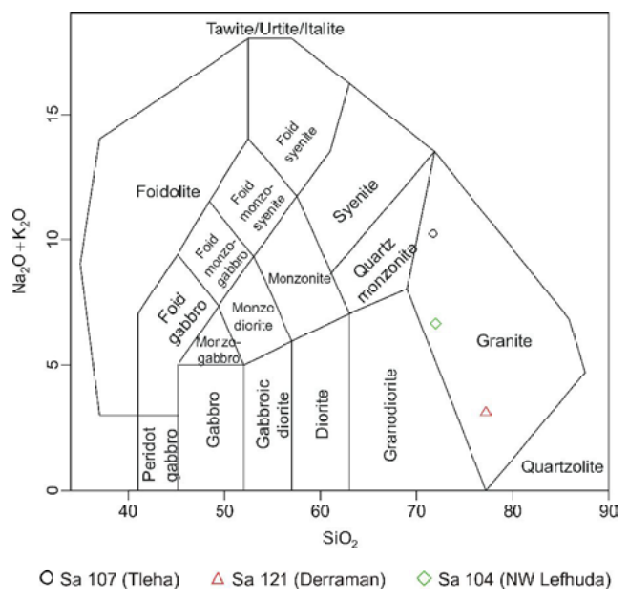


Figura 8.4.2. Representación de los análisis químicos de los granitos de afinidad alcalina de los Mauritánides en el diagrama TAS modificado por Middlemost (1994).

Figure 8.4.2. Representation of the chemical analyses of the granites of alkaline affinity from the Mauritánides in the TAS diagram modified by Middlemost (1994).

SiO₂ y un contenido total de álcalis de sólo un 3%, lo cual puede ser explicado por una alteración hidrotermal asociada a las cizallas. Además, cabe remarcar que sólo la muestra de Tleha da valores propios de rocas del campo alcalino.

La representación de los datos en el diagrama TAS modificado por Middlemost (1994), arroja resultados más congruentes con los datos de la petrografía, pudiéndose caracterizar todas estas rocas como granitos (fig. 8.4.2).

Por otra parte, la representación de los mismos análisis en el diagrama R1-R2 de De la Roche et al. (1980) de nuevo ofrece clasificaciones dispares. De acuerdo con este diagrama, el granito de Tleha es el único claramente alcalino, mientras que los de Lefhuda se podrían clasificar como granodioritas. Este enriquecimiento en Ca puede deberse a la alteración epidótica muy tardía que se da en estas muestras, y que puede estar asociada con la circulación de fluidos hidrotermales por las cizallas. Esta misma

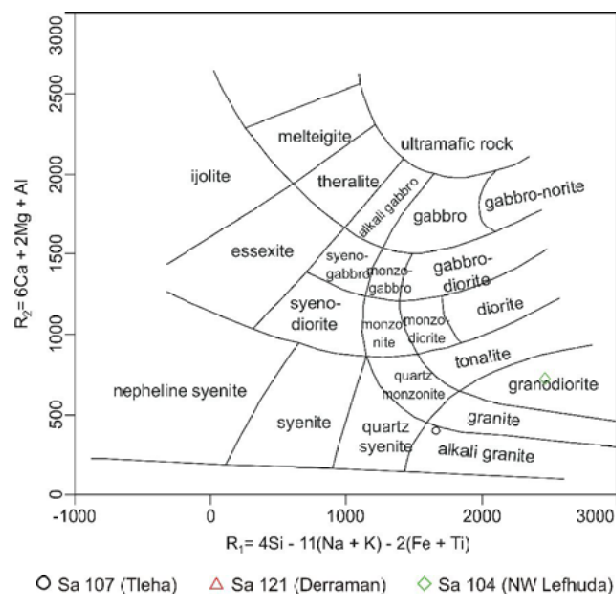


Figura 8.4.3. Representación de los análisis químicos de los granitos de afinidad alcalina de los Mauritánides en el diagrama de milicaciones R1-R2 de De la Roche et al. (1980).

Figure 8.4.3 Representation of the chemical analyses of the granites of alkaline affinity from the Mauritánides in the milication R1-R2 diagram of De la Roche et al. (1980).

explicación puede aplicarse a los granitos alcalinos gneisificados de Derramán, puesto que su proporción de sílice muy alta, posiblemente relacionada con silicificación, los aleja del campo de los granitoides normales.

8.4.3. GEOQUIMICA DE LOS GRANITOS DE AFINIDAD ALCALINA

8.4.3.1. Geoquímica de elementos mayores

Por otra parte, se ha realizado los análisis normativos de los granitos de afinidad alcalina de los Mauritánides a partir de la norma CIPW calculada mediante las hojas de cálculo GCDkit 4.00 (Janoušek et al., 2015).

La discriminación geoquímica de los granitoides disponible se ha realizado mediante los diagramas convencionales. En primer lugar, los granitos de afinidad alcalina son metalumínicos (aunque el de Tleha se encuentra en el borde del dominio peralcalino) según el diagrama $A/CNK-A/NK$ en los campos

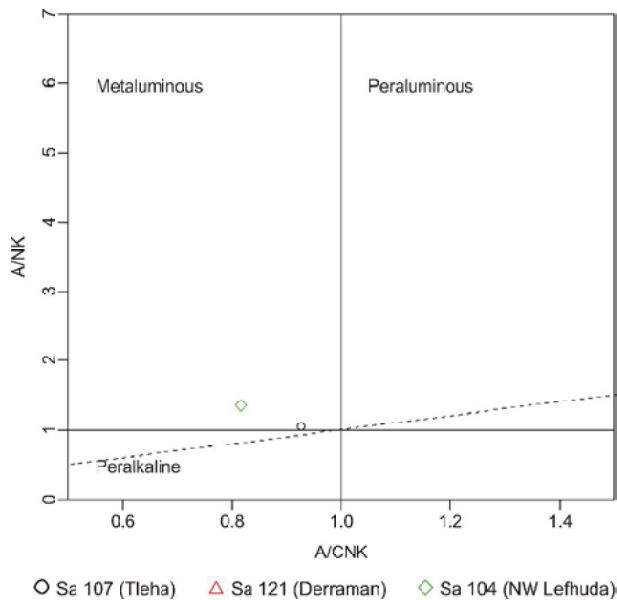


Figura 8.4.4. Representación binaria de los datos geoquímicos de los granitos de afinidad alcalina de los Mauritánides en el diagrama A/CNK-A/NK de Shand (1943).

Figure 8.4.4. Binary plot of the geochemical data of the granites of alkaline affinity from the Mauritánides in the normative diagram A/CNK-A/NK (Shand, 1943).

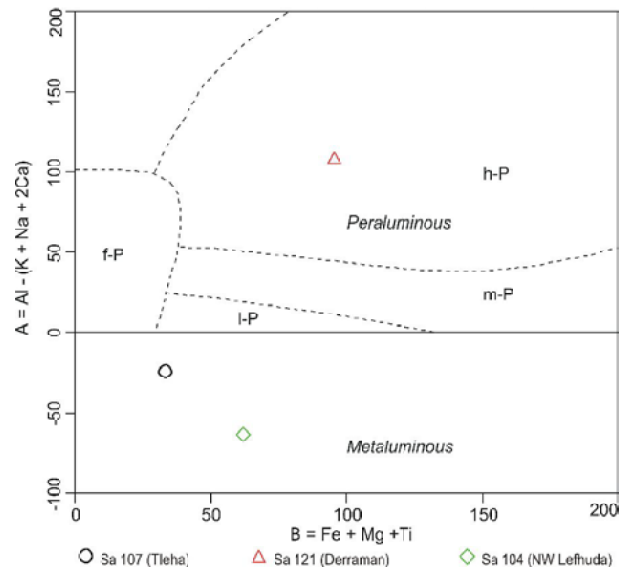


Figura 8.4.5. Representación binaria de los datos geoquímicos de los granitos de afinidad alcalina de los Mauritánides en el diagrama A-B de Villaseca et al. (1998).

Figure 8.4.5. Binary plot of the geochemical data of the granites of alkaline affinity from the Mauritánides in the normative diagram B-A of Villaseca et al. (1998).

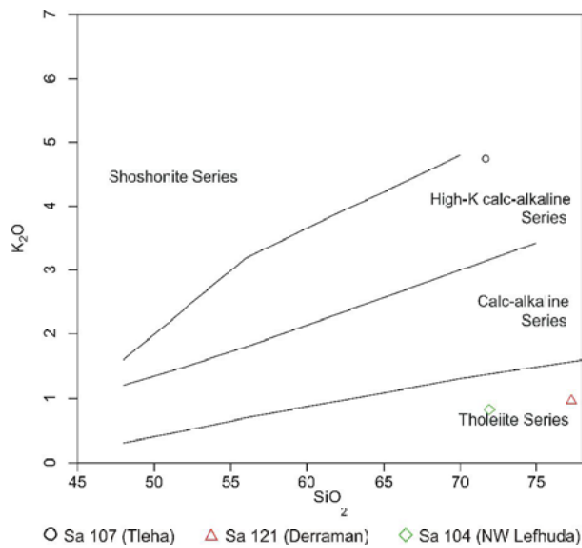


Figura 8.4.6. Representación de los análisis de SiO₂ y K₂O of the granites of alkaline affinity from the Mauritánides en el diagrama de Peccerillo y Taylor (1976) para la discriminación de series tholeiíticas, calcoalcalinas y shoshoníticas.

Figure 8.4.6. Representation of the analyses of SiO₂ and K₂O of some of the granites of alkaline affinity from the Mauritánides in the diagram of Peccerillo and Taylor (1976) used for the discrimination between tholeiitic, calc-alkaline and shoshonitic series.

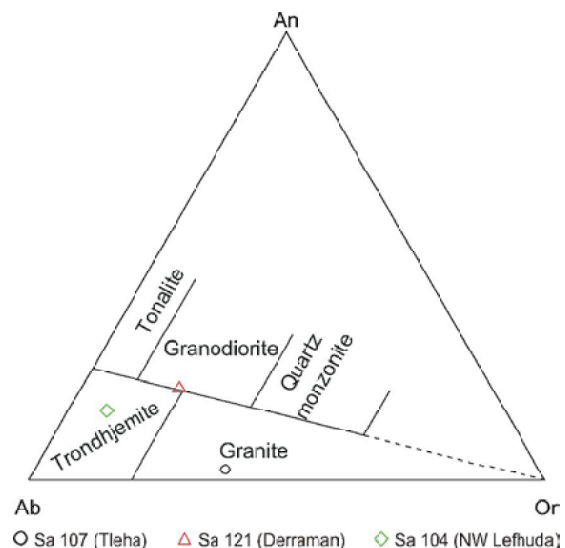


Figura 8.4.7. Representación ternaria de los datos normativos de los granitos de afinidad alcalina de los Mauritánides en el diagrama An-Or-Ab de O'Connor (1965) para la diferenciación de las rocas trondhjemíticas del resto de granitoides.

Figure 8.4.7. Ternary representation plot of the normative data of the granites of alkaline affinity from the Mauritánides in the An-Or-Ab diagram by O'Connor (1965) for the identification of trondhjemitic rocks.

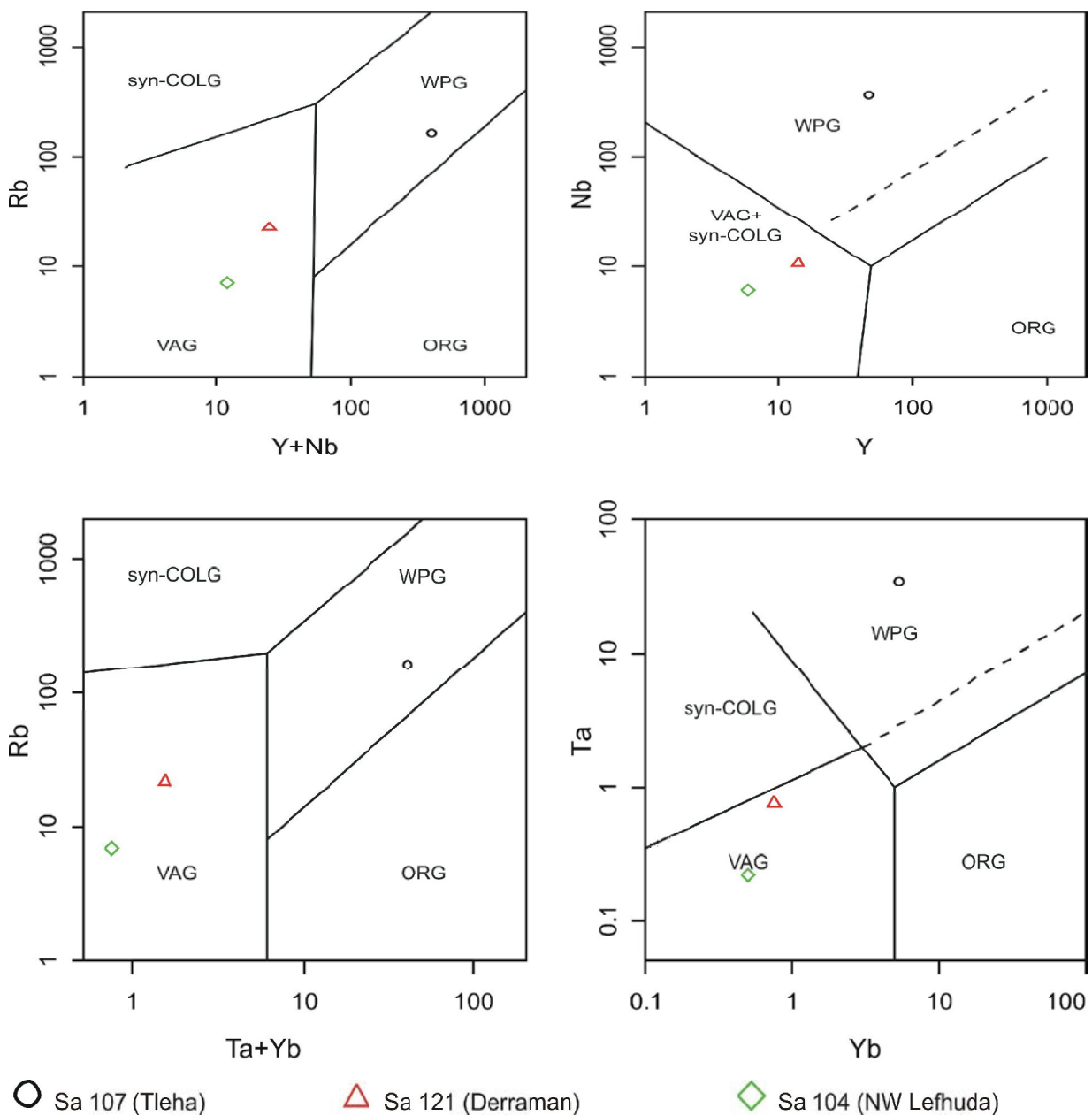


Figura 8.4.8. Representación de los análisis de los granitos de afinidad alcalina de los Mauritánides en los diagrama de discriminación tectónicas utilizables para rocas graníticas, incluso las alteradas (Pearce, 1984). WPG, granitos de intraplaca, ORG, granitos orogénicos, Syn-COLG, granitos sincolisionales, VAG, granitos de arco volcánico.

Figure 8.4.8. Representation of the analyses of the granites of alkaline affinity from the Mauritánides in the Nb-Y discrimination diagrams suitable for the granitic rocks, even those altered (Pearce, 1984). WPG, within plate granites, ORG, orogenic granites, syn-COLG, syn-colisional granites, VAG, volcanic arc granites.

definidos por Shand (1943), como puede verse en la fig. 8.4.4; similares conclusiones se encuentran representando los análisis disponibles en el diagrama B-A de Villaseca et al. (1998); véase fig. 8.4.5.

Para valorar la alcalinidad de estos granitoide también se usó el diagrama SiO_2 vs K_2O de Peccerillo y Taylor (1976), en el que sólo la muestra de Tleha se va hacia el campo más potásico, lo que indicaría como mínimo

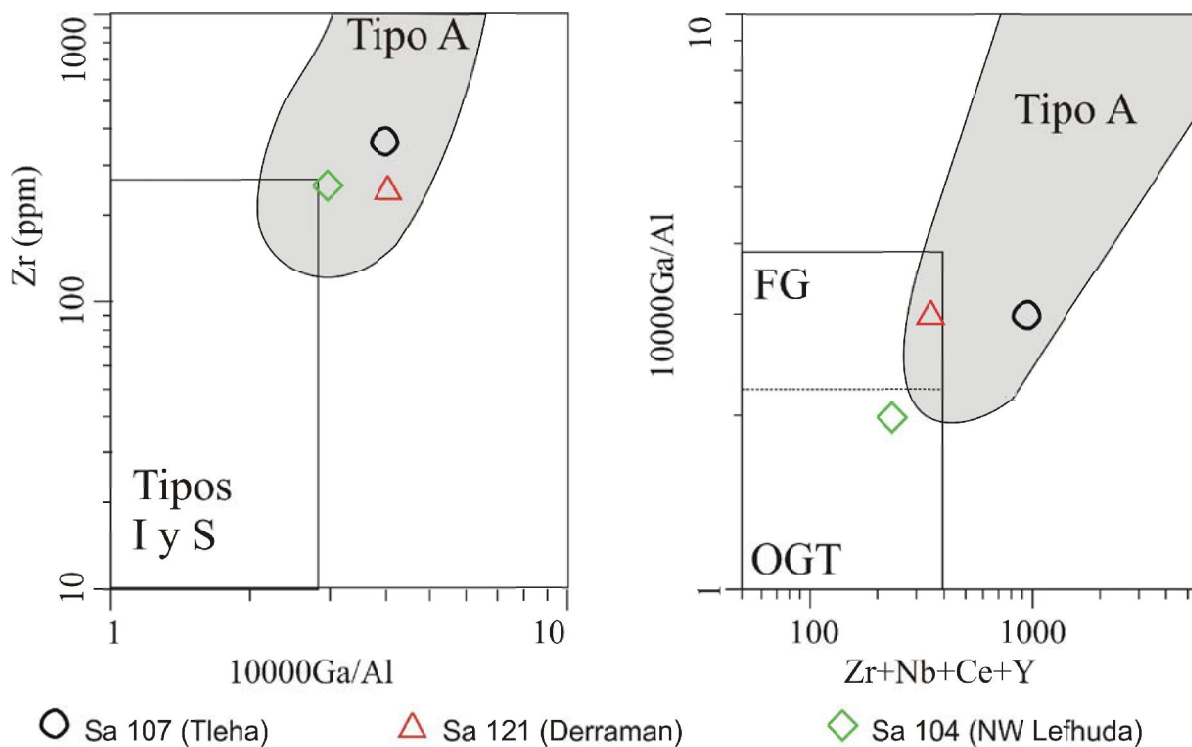


Figura 8.4.9. Representación de datos analíticos de elementos traza seleccionados de los granitos de afinidad alcalina de los Mauritánidos. a) en el diagrama de discriminación de 10000 Ga/Al vs. Zr de Whalen et al. (1987). b) en el diagrama de Zr+Nb+Ce+Y vs 10000 Ga/Al de Whalen et al. (1987). OGT es el campo de los granitos no fraccionados de tipo M, I y S; FG, el campo de los granitos félsicos fraccionados, según Whalen et al. (1987). El campo composicional de los granitos de tipo A ha sido adaptado de Eby (1990).

Figure 8.4.9. Representation of selected trace element analyses of the granites of alkaline affinity from the Mauritánids. a) in the 10000 Ga/Al vs. Zr discrimination diagram (after Whalen et al., 1987). b) in the Zr+Nb+Ce+Y vs 10000 Ga/Al plot (Whalen et al., 1987). OGT (unfractionated M-, I- and S-type granites) and FG (fractionated felsic granites) fields taken from Whalen et al. 1987. A-type granite compositional field taken from Eby (1990).

que estas rocas presentan un alto grado de alcalinidad (Fig 8.4.6).

En cambio, la representación de los datos de la norma en el diagrama An-Ab-Or de O'Connor (1965) sugiere que estos granitoides se representan en el campo de los granitos s.s. aunque cercanos al campo trondhjemítico, excepto la muestra de Lefhuda que se representaría en éste (fig. 8.4.7). Esta composición anómala y aparentemente contradictoria con los datos de la petrografía podría ser el resultado de que el feldespato alcalino es mesopertítico (posiblemente, albítico); en cambio, en Lefhuda la alteración sódico-cálcica superpuesta tardía podría explicar asimismo esta desviación.

8.4.3.2. Datos de elementos traza

Algunos de los elementos traza considerados como inmóviles se usan para discriminar el ambiente geotectónico de formación de las rocas. De entre los diagramas más usados para los granitoides destacan los gráficos binarios de Pearce (1984), y en ellos se aprecia (fig. 7.4.8) que sólo la muestra de Tleha quedaría en el campo de los granitos alcalinos de intraplaca, quedando los otros representados como granitos de arco.

En la clasificación de los granitos en términos de I, S, A o M, en los diagramas de Whalen et al. (1987) las muestras tienden a representarse en el campo A (fig. 8.4.9), si bien

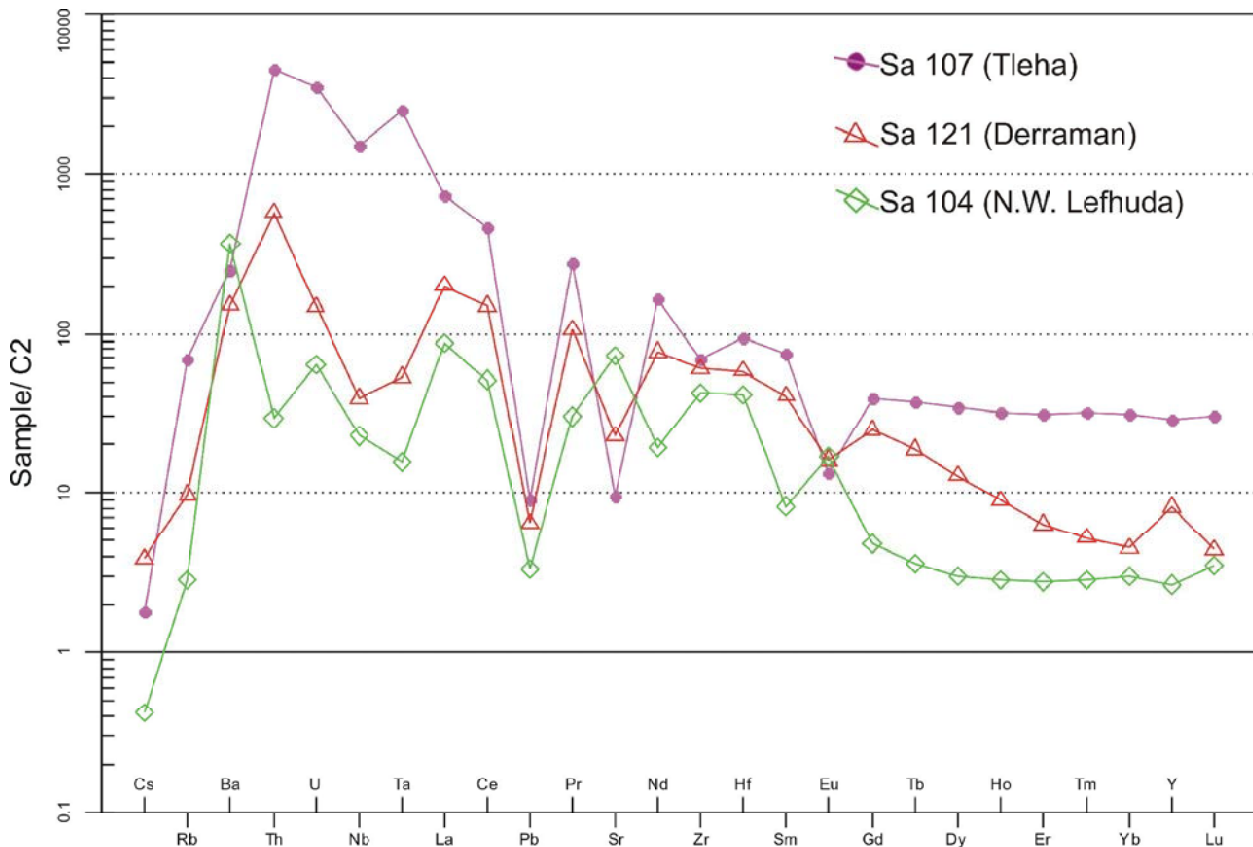


Figura 7.4.10. Representación de los análisis multielementales (spider) de los granitos de afinidad alcalina de los Mauritánides en el diagrama de normalización respecto a condritos (con los datos de Sun y Mc Donough, 1989).

Figure 7.4.10. Representation of the multielemental analyses (spider) of the granites of alkaline affinity from the Mauritánides in the chondrite normalization diagram (data from Sun and McDonough (1989)).

el granito de Lefhuda tiende a representarse en el campo de los granitos I o S evolucionados. En cualquier caso, las rocas tienen afinidad alcalina y pueden haberse formado en un contexto extensional de intraplaca. Además, el alto contenido en Zr concuerda con la presencia de abundante zircón en estos granitoides, como puede observarse en el microscopio óptico (véase capítulo de petrografía).

Por consiguiente, y a la espera de más datos, podemos avanzar en la hipótesis de que las rocas graníticas de afinidad alcalina corresponden a granitoides de tipo A, formados en un contexto de intraplaca, aunque modificados por alteración hidrotermal, de la que hay evidencias petrográficas. A falta de más datos geoquímicos, esta interpretación también concuerda a grandes rasgos con la presencia de anfíboles y piroxenos alcalinos en muchas de las rocas estudiadas.

Diagrama multielemental

El diagrama multielemental muestra una anomalía negativa en algunos elementos LILE, especialmente de Cs y Rb para todas estas rocas, lo cual no deja de ser raro teniendo en cuenta que el feldespato potásico está enriquecido en Rb. Se nota un comportamiento diferente en el Sr entre las muestras de Tleha y Derraman por un lado, y Lefhuda por el otro, pues en los dos primeros destaca una anomalía negativa en Sr, lo que puede explicarse mediante la eliminación de este elemento debido a la cristalización de plagioclasa a gran escala en una cámara magmática profunda (con cristalización, por ejemplo, de anortositas). Si se admite que estos granitos son de la misma afinidad, en cambio, en Lefhuda algún mineral puede haber reconcentrado Sr, quizás la epidota.

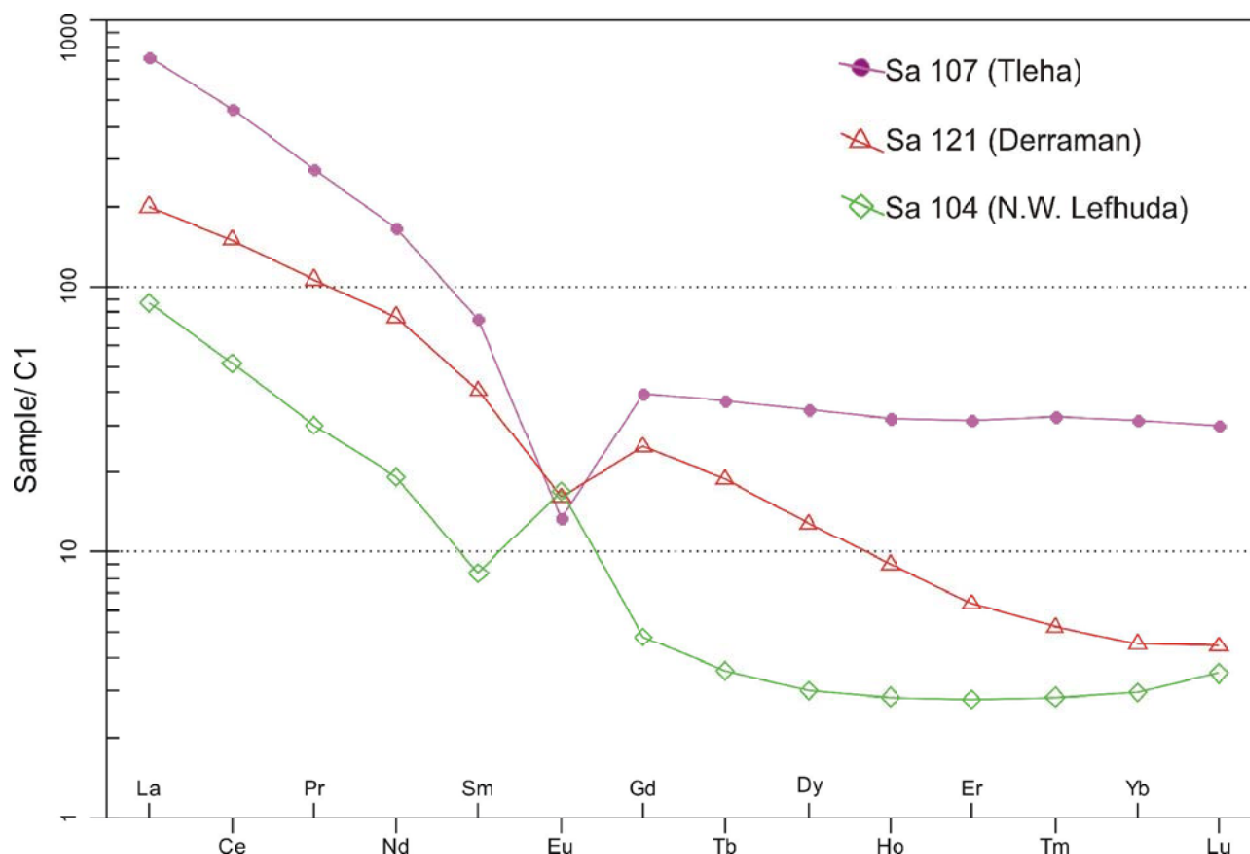


Figura 7.4.11. Representación de los análisis de REE de los granitos de afinidad alcalina de los Mauritánidos, normalizados en base a condrito según la calibración de McDonough et al. (1991).

Figure 7.4.11. Representation of the analyses of the REE of the granites of alkaline affinity from the Mauritánids, normalized on the basis of chondrite values after the calibration of McDonough et al. (1991).

En estos granitoides se registran otras anomalías negativas de Pb y otras mucho más ligeras de Nb-Ta. Como se recordará, similares comportamientos se han observado en los granitoides de afinidad alcalina de la zona de Tifariti. Las anomalías de Pb han sido citadas especialmente en medios asociados a plumas mantélicas, como por ejemplo en asociación con basaltos alcalinos (por ejemplo, Zhang et al., 2009).

Las anomalías de Nb han sido citadas como muy comunes en los procesos magmáticos de arcos volcánicos, pero en el caso que nos ocupa son muy poco acusadas, en contraste con lo que se observa en los arcos volcánicos. Como ya vimos en el capítulo 7.4, patrones multielementales relativamente parecidos a los aquí representados han sido descritos, por ejemplo, en los granitos alcalinos de Brasil (Seer y de Moraes, 2013).

Diagrama de REE

En el diagrama normalizado de REE se aprecia asimismo la anomalía muy marcada de Eu para las muestras de Tleha y Derramán, a la vez que positiva para Lefhuda.

Por otra parte, las LREE tienen una acusada pendiente negativa desde La a Sm, mientras que las HREE tienen una pendiente plana. Similares comportamientos se daban, como se recordará, en los granitoides alcalinos de la zona de Tifariti (capítulo 7.4), pero se han descrito en algunos granitos peralcalinos, como en los de Nusat el Balgum, en el desierto del SW de Egipto (Abu Elatta et al., 2013). No obstante, diagramas muy similares han sido también reportados para los granitos calcoalcalinos peraluminicos de Rio Apa en el Cratón Amazónico del Brasil (Nunes Brittes et al., 2013).

