

Reseteo termal de las unidades volcánicas del Cretácico Inferior de Isla Low, Islas Shetland del Sur, Antártica

*Joaquín Bastías-Silva^{1,2}, Paula Silva³, Sebastián Inzulza²

¹ Institute of Geochemistry and Petrology, ETH Zürich, CH-8092 Zürich, Switzerland.
j.bastias.silva@gmail.com

² Carrera de Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Andrés Bello, Sazié 2119, Santiago, Chile.
seba.inzulza@gmail.com

³ Escuela de Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Santo Tomás, Ejército 146, Santiago, Chile.
p.silvacruces@gmail.com

* Autor de correspondencia: j.bastias.silva@gmail.com

RESUMEN. El Miembro Albatross Hill es una secuencia volcánica y volcanoclástica del Cretácico Inferior que sobreyace a rocas sedimentarias del Miembro Pencil Beach. Estas unidades, en conjunto, forman los Estratos de Cabo Wallace, ubicados en la Isla Low, Islas Shetland del Sur y Antártica (63°15' S, 62°12' O). Junto con otras unidades volcánicas contemporáneas en la Isla Livingston, el Miembro Albatross Hill representa los primeros productos del arco luego de su reanudación durante el Cretácico. Las rocas de este miembro están dominadas por dacitas con una extensa presencia de mineralogía secundaria, la cual se observa como reemplazo parcial de fenocristales, relleno de vetas y vetillas y, en menor medida, en la masa fundamental o matriz. Los análisis $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ obtenidos en fenocristales de plagioclasa de dos dacitas de biotita para esta secuencia entregaron edades *plateau* entre ~111 y 109 Ma, las cuales son ~31 a 26 millones de años más jóvenes que las edades *plateau* $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ recolectadas en la masa fundamental de estas mismas muestras. Esta diferencia estaría asociada a la mineralogía secundaria, la cual está más intensamente desarrollada en los fenocristales de la secuencia, lo que perturba los análisis $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$.

Palabras clave: Alteración, Ar/Ar, Dacitas, Antártica, Bajo grado.

ABSTRACT. Thermal resetting of the Early Cretaceous volcanic rocks of Low Island, South Shetland Islands, Antarctica. The Albatross Hill Member is an Early Cretaceous volcanic and volcanoclastic succession, which overlays the sedimentary rocks of the Pencil Beach Member and together constrain the Cape Wallace Beds in Low Island, South Shetland Islands, Antarctica (63°15' S, 62°12' W). Along with other coeval volcanic units present in nearby Livingston Island, the Albatross Hill Member represents the first products of the magmatic arc after its resumption during the Cretaceous. The Albatross Hill Member is dominated by dacites with a widespread occurrence of secondary minerals, of which the latter occur partially replacing phenocrysts, filling veins and veinlets and, to a lesser degree, in the groundmass/matrix. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analyses on plagioclase phenocrysts from two biotite dacites yield plateau ages between ~111 and 109 Ma, which are ~31 to 26 Myr younger than the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ groundmass plateau ages for the same samples. We suggest that this difference is associated with the presence of secondary minerals, which greatly affected the phenocrysts of the sequence and disturbed the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analyses.

Keywords: Alteration, Ar/Ar, Dacites, Antarctica, Low-grade.

1. Introducción

La Isla Low se encuentra en el extremo suroeste del archipiélago de las Islas Shetland del Sur (Fig. 1). Este grupo de islas se ubican al noroeste de la Península Antártica y se extienden por ~300 km a través de numerosas islas e islotes, las que están casi totalmente cubiertas por una capa de hielo permanente. Las Islas Shetland del Sur son particulares debido a que presentan un buen registro de la evolución meso-cenozoica del antearco e intrarco de la Península Antártica (*e.g.*, Bastías *et al.*, 2023).

Este archipiélago se encuentra separado de la Península Antártica a través del desarrollo de una cuenca marginal, que hoy hospeda al Estrecho de Bransfield (Fig. 1). Esta cuenca se desarrolló desde el Plioceno (<5 Ma) como resultado de la extensión de trasarco que afectó al sector noroeste de la Península Antártica (*e.g.*, Baker, 1982) durante la ralentización de la subducción (*e.g.*, Burton-Johnson *et al.*, 2023; Gao *et al.*, 2023). La Península Antártica es, a su vez, parte de Antártica Occidental (*e.g.*, Riley

et al., 2023); y su basamento consiste en rocas metamórficas del Paleozoico Superior y Mesozoico Inferior (*e.g.*, Millar *et al.*, 2002; Bastías *et al.*, 2020) y rocas metasedimentarias del Paleozoico Superior-Mesozoico Inferior (*e.g.*, Castillo *et al.*, 2015). Este basamento se encuentra sobreyacido por rocas volcánicas y sedimentarias del Jurásico (*e.g.*, Smellie *et al.*, 1984; Gao *et al.*, 2018; Bastías *et al.*, 2019, 2021; Leat y Riley, 2021) e intruido por diferentes generaciones de plutones mesozoicos y cenozoicos (Leat *et al.*, 1995; Bastías *et al.*, 2020, 2021, 2022; Bastías-Silva *et al.*, 2024).

La evolución geológica de las Islas Shetland del Sur presenta tres etapas principales (Bastías *et al.*, 2023): (1) sedimentación marina profunda durante el Jurásico Medio-Tardío, cuyos depósitos están expuestos en el centro-sur del archipiélago, (2) actividad volcánica subaérea desde el Cretácico Tardío hasta el límite Eoceno/Oligoceno, cuyos depósitos son abundantes en el archipiélago y registran también la proliferación de plantas y animales en la Península Antártica, y (3) el desarrollo de depósitos

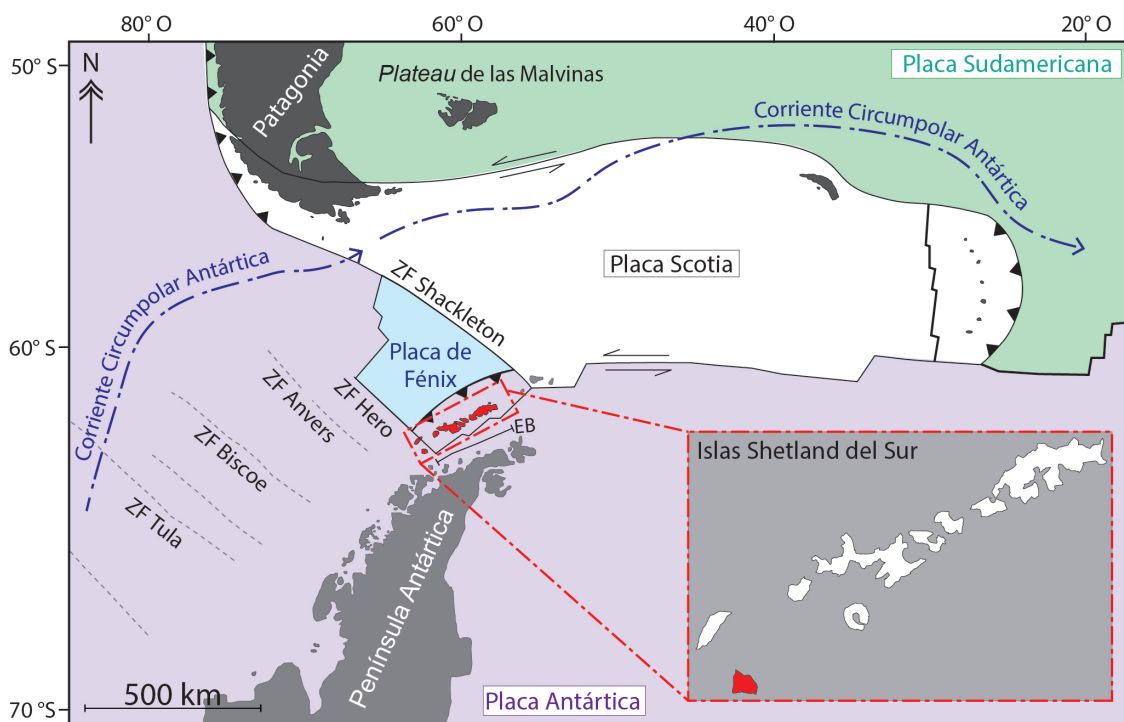


FIG. 1. Configuración tectónica de la región que comprende la Península Antártica, la Patagonia y la Placa Scotia (Modificado de Bastías *et al.*, 2023). La ubicación de las Islas Shetland del Sur, así como la Isla Low (en rojo), es también indicada. EB: Estrecho de Bransfield. ZF: zona de falla.

glaciares e interglaciares desde el límite Eoceno/Oligoceno hasta el Cuaternario, los que se encuentran exclusivamente expuestos en la Isla Rey Jorge.

La geología de las Islas Shetland del Sur está dominada por rocas volcánicas basálticas y andesíticas (e.g., Smellie *et al.*, 1984; Haase *et al.*, 2012; Bastías *et al.*, 2023). Este tipo de litología representa una alta complejidad para efectuar estudios geocronológicos (e.g., Fuentes *et al.*, 2002, 2005). El problema radica en la ausencia, en rocas volcánicas básicas, de minerales que permitan una geocronología robusta, como el circón (e.g., Davis *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2008). Esta ausencia se debe a la incapacidad geoquímica de estas litologías para formar minerales en los que se pueda realizar geocronología U-Pb (e.g., Heaman, 2009; Schoene, 2014). En consecuencia, estudios geocronológicos en rocas volcánicas básicas e intermedias se reducen principalmente a dataciones mediante K-Ar (e.g., Green *et al.*, 1988; Liu *et al.*, 2001) y $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (e.g., Kelly, 2002; Zhou *et al.*, 2004). Sin embargo, estas técnicas frecuentemente evidencian dificultades adicionales, ya que las rocas volcánicas, particularmente aquellas formadas en un contexto de margen activo, se ven afectadas por procesos de alteración y metamorfismo de muy bajo grado (e.g., Aguirre *et al.*, 1989; Levi *et al.*, 1989; Alt, 1998; Oliveros *et al.*, 2006). Esto último puede afectar la abundancia del isótopo madre en sistemas como el K-Ar y $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, lo que perturba potencialmente los resultados e interpretaciones (e.g., Walker y McDougall, 1982; Roberts *et al.*, 2001).

Las unidades expuestas en las Islas Shetland del Sur representan rocas excepcionales para poder estudiar y evaluar el efecto de la alteración en la geocronología $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Esto se debe a la abundancia de rocas volcánicas con minerales de alteración en el archipiélago (Bastías *et al.*, 2016, 2023). Con el propósito de poder investigar en detalle este fenómeno, este trabajo da a conocer un estudio sobre la geocronología $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en las plagioclasas de las rocas volcánicas presentes en la Isla Low (Miembro Albatross Hill). Convenientemente, las muestras utilizadas en este estudio ya fueron analizadas mediante $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en masa fundamental por Bastías *et al.* (2019), lo que permitió comparar el efecto de la alteración en la geocronología $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ entre masa fundamental y fenocristales. La geología de esta isla es particularmente ventajosa para este estudio, ya que permite identificar en términos relativamente simples las posibles fuentes termales involucradas

en la evolución geológica del Miembro Albatross Hill y, en consecuencia, causantes de la alteración.

2. Isla Low

Ubicada en el extremo sur de las Islas Shetland del Sur (Fig. 1), la Isla Low se encuentra casi completamente cubierta por glaciares. Uno de los sectores que excepcionalmente está libre de hielo durante el verano es el Cabo Wallace, localizado al noroeste de la isla, el cual consiste en un área de cerca de 4 km² con exposiciones de afloramientos de rocas plutónicas, sedimentarias y volcánicas (Fig. 2). Los afloramientos en Cabo Wallace consisten en una sucesión marina sedimentaria de grano fino (Miembro Pencil Beach) superpuesta por coladas de lavas (Miembro Albatross Hill), las cuales, en su conjunto, se encuentran intruidas por un cuerpo granodiorítico (Granodiorita Cabo Wallace) (Araya y Hervé, 1966; Smellie, 1979; Bastías, 2014; Bastías *et al.*, 2019). Con base en estudios geocronológicos y el trabajo de terreno, Bastías *et al.* (2019) sugirieron que las unidades sedimentarias y volcánicas fueran agrupadas en la unidad Estratos de Cabo Wallace (Fig. 2). De acuerdo con Bastías *et al.* (2023), las rocas aflorantes en Cabo Wallace atestiguan la presencia de (1) sedimentación marina profunda durante al menos el Jurásico Tardío, y (2) la emergencia del arco durante el Cretácico Temprano (Fig. 2).

El Miembro Pencil Beach aflora en el sureste y noreste del Cabo Wallace (Fig. 2) y se compone de argilitas volcanoclásticas y tobas con abundantes fragmentos de lapilli. Los estratos tienen generalmente ~5-30 cm de espesor con continuidad lateral, interpretados como depósitos turbidíticos (Smellie *et al.*, 1984). Thomson (1982) reportó fósiles de afinidad Jurásica (*Epimayites* aff. *Transiens*). Estudios de proveniencia sedimentaria mediante geocronología U-Pb en circones detríticos sugieren que el Miembro Pencil Beach tiene una fuente pérmica dominante (Castillo *et al.*, 2016), afín a las secuencias sedimentarias expuestas en el norte de la Península Antártica (Grupo Península Trinidad).

El Miembro Albatross Hill se compone de coladas de lava subaéreas que sobreyacen al Miembro Pencil Beach mediante una inconformidad de bajo ángulo (Fig. 3). Las coladas de lava están formadas principalmente de andesitas y dacitas con escasos basaltos (Smellie, 1979). Bastías *et al.* (2019), con base en geocronología $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en masa fundamental,

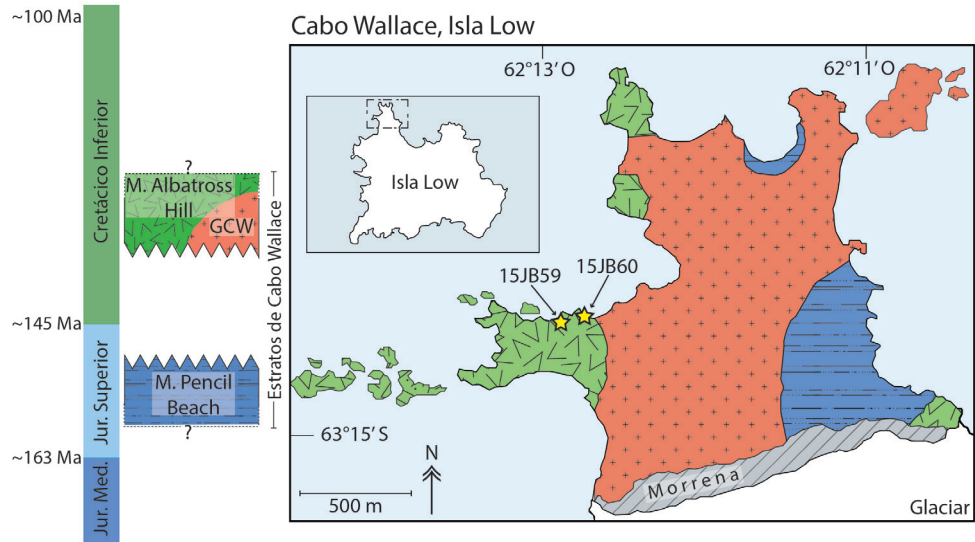


FIG. 2. Mapa geológico de Cabo Wallace, Isla Low. Modificado de Smellie (1979) y Bastías *et al.* (2023). GCW: Granodiorita Cabo Wallace. Las muestras analizadas en el presente estudio, así como sus códigos, se indican en el mapa principal.

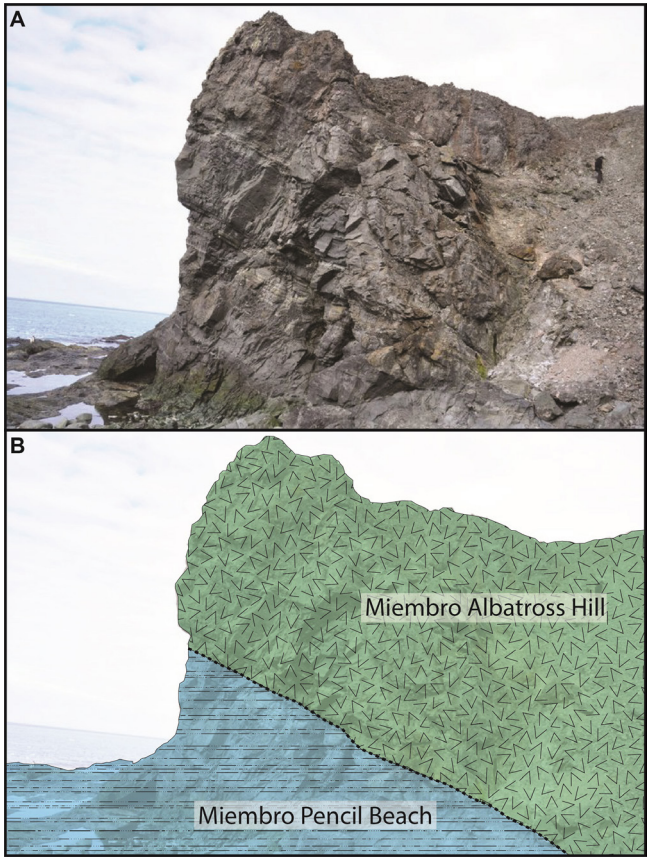


FIG. 3. Disposición de los Estratos de Cabo Wallace, Isla Low, se indican los miembros Pencil Beach y Albatross Hill. A. Fotografía tomada en terreno; persona como escala. B. Interpretación geológica según Bastías *et al.* (2019).

presentaron edades *plateau* para el Miembro Albatross Hill entre ~140 y 136 Ma, las que se interpretaron como de cristalización de las rocas que conforman esta unidad.

La Granodiorita Cabo Wallace intruye los Estratos de Cabo Wallace en conjunto con otros cuerpos aplíticos menores (Fig. 2). Mientras Smellie *et al.* (1984) reportaron una edad K-Ar de 120 ± 4 Ma en este plutón, Bastías *et al.* (2019) indicaron una edad U-Pb SHRIMP en circón de 137 ± 2 Ma. Esto sugiere que la intrusión habría ocurrido poco tiempo después de la depositación de los Estratos de Cabo Wallace.

3. Metodología

3.1. Petrografía

Dos muestras del Miembro Albatross Hill se utilizaron para elaborar láminas transparentes: 15JB59 ($63^{\circ}14,52'$ S, $62^{\circ}12,67'$ O) y 15JB60 ($63^{\circ}14,40'$ S, $62^{\circ}12,12'$ O) (ver ubicación en Fig. 2). Las descripciones petrográficas y el conteo modal se realizaron en los laboratorios de microscopía de la Universidad Santo Tomás y la Universidad Andrés Bello, ambas ubicadas en Santiago, Chile. Se utilizó un microscopio de polarización Leica DM2700 P. La descripción se centró en el estudio de la mineralogía primaria y secundaria, texturas y estructuras. Datos completos del conteo modal se encuentran en el material suplementario en Bastías *et al.* (2024).

3.2. Análisis $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

Las mismas rocas analizadas petrográficamente fueron también seleccionadas para estudios de geocronología $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Estas muestras fueron previamente estudiadas mediante geocronología $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en masa fundamental por Bastías *et al.* (2019), por lo que el presente estudio complementa esos resultados con las nuevas edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en fenocristales de plagioclasa.

Los análisis $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ fueron realizados en el Noble Gas Laboratory de la Universidad de Ginebra, Suiza. Los fenocristales de plagioclasa fueron concentrados mediante susceptibilidad magnética (amagnéticas a 1,2 amperios) y luego seleccionados a mano. Posteriormente, estos fueron enjuagados en agua desionizada con 5% HNO_3 mediante ultrasonido. Consecutivamente, se empaquetaron en cobre puro y fueron irradiados en el reactor nuclear de la Universidad de Oregon

State, Estados Unidos, acompañados con sanidina de la Toba de Fish Canyon (edad de $28,21 \pm 0,04$ Ma; Kuiper *et al.*, 2008) para monitorear la fluencia. Las muestras fueron desgasificadas con un láser CO_2 -IR, lo que permitió su calentamiento escalonado. El gas fue extraído por una línea de acero inoxidable UHV, luego de pasar a través de una trampa fría a ~150 K. Los isótopos de argón se analizaron con un espectrómetro de masa GV Instruments Argus V, equipado con cuatro detectores Faraday de 10^{12} ohms y un detector Faraday de 10^{11} ohms (^{40}Ar). Los datos fueron corregidos usando medidas de blancos, discriminación de masa, decaimiento isotópico de ^{39}Ar y ^{37}Ar e interferencia con nucleógenos de isótopos de Ca-, K- y Cl-derivados. La reducción de datos se realizó con el programa ArArCALC (Koppers, 2002) y las edades fueron calculadas usando la constante de decaimiento de ^{40}K de Steiger y Jager (1977). Las edades *plateau* fueron determinadas con el criterio de Lanphere y Dalrymple (1978). Información analítica adicional está disponible en Bastías *et al.* (2024).

4. Resultados

4.1. Petrografía del Miembro Albatross Hill

El conteo modal revela que la muestra 15JB59 corresponde a una dacita de biotita. Su mineralogía primaria está compuesta principalmente por fenocristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico, inmersos en una masa fundamental constituida por biotita, feldespato potásico, cuarzo y vidrio (Fig. 4A, B). Se observan también, aunque en menor cantidad, fenocristales de anfíbol y biotita (Fig. 4C). Los fenocristales de plagioclasa presentan dimensiones que varían entre los 0,2 y 1,3 mm, algunos exhiben maclas polisintéticas y de Carlsbad (Fig. 4A-H). Los fenocristales de cuarzo tienen tamaños que varían entre 0,2 y 0,7 mm y son comúnmente anhedrales (Fig. 4A, B, D, F), mientras que los fenocristales de feldespato potásico tienen tamaños entre 0,3 y 0,9 mm (Fig. 4C, D, F). Los minerales máficos consisten en biotitas y anfíboles, los que exhiben variados tamaños que fluctúan entre 0,1 y 0,8 mm (Fig. 4C, F, G). El análisis petrográfico revela también una ubicua presencia de mineralogía secundaria, dominada por arcillas y posiblemente por sericita y carbonatos (Fig. 4). Los fenocristales de plagioclasa se encuentran pervasivamente alterados con agrupaciones de arcillas y posiblemente sericita, las que usualmente siguen las zonaciones presentes en

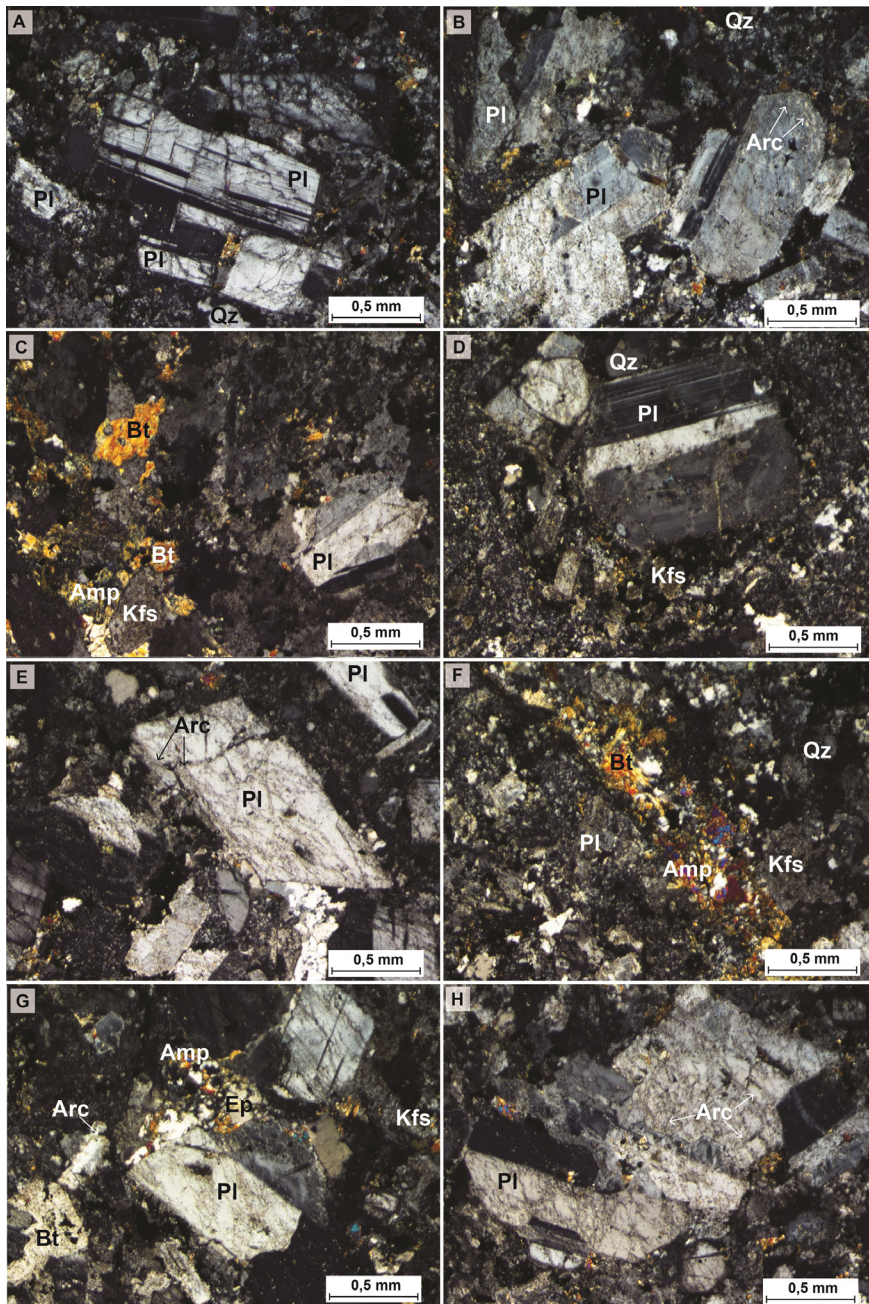


FIG. 4. Fotomicrografías de la muestra 15JB59, correspondiente a una dacita de biotita del Miembro Albatross Hill. **A.** Fenocristales de plagioclasea y cuarzo inmersos en una masa fundamental compuesta de biotita, feldespato potásico, cuarzo y vidrio. **B.** Fenocristales de plagioclasea alterados a arcilla y posiblemente sericita, rodeados por una masa fundamental con cristales de cuarzo, biotita y anfíboles. **C.** Fenocristales de plagioclasea, anfíbol, biotita y feldespato potásico, los primeros alterados a arcillas. **D.** Fenocristales de cuarzo, plagioclasea y feldespato potásico inmersos en una masa fundamental de cuarzo equigranular y plagioclaseas tabulares; las plagioclaseas presentan zonación y maclas polisintéticas. **E.** Fenocristales de plagioclasea con alteración profusa de arcillas y posiblemente sericita. **F.** Vetilla rellena de biotitas y anfíboles en donde algunas biotitas se presentan alteradas a filosilicatos máficos, probablemente clorita. **G.** Fenocristales de plagioclasea, feldespato potásico, biotita y anfíbol con alteración a epidota en los anfíboles y arcillas en las plagioclaseas. **H.** Fenocristales de plagioclasea inmersos en masa fundamental; las plagioclaseas se presentan alteradas a arcillas y posiblemente sericita. **Amp:** anfíbol. **Arc:** arcilla. **Bt:** biotita. **Ep:** epidota. **Kfs:** feldespato potásico. **Pl:** plagioclasea. **Qz:** cuarzo. Abreviaciones de minerales extraídas de Warr (2021).

las plagioclasas (Fig. 4A-G). Las biotitas y anfíboles también están afectados por alteración secundaria, la que corresponde mayormente a filosilicatos máficos y posiblemente epidota (Fig. 4C, F, G).

El conteo modal realizado en la muestra 15JB60 indica que corresponde a una dacita de biotita, lo que coincide en mineralogía primaria con la muestra 15JB59. La muestra 15JB60 tiene una textura predominantemente porfírica (Fig. 5A-H), compuesta principalmente de fenocristales de plagioclasa inmersos en una masa fundamental microgranular (Fig. 5D). Los fenocristales de plagioclasa varían en tamaño entre los 0,7 y 1,5 mm y presentan texturas glomeroporfídicas, de zonación, así como maclas de Carlsbad. Se identifican también fenocristales de cuarzo, biotita y anfíbol, los que tienen tamaños que en su mayoría no superan los 0,8 mm y se encuentran comúnmente rellenando espacios entre las plagioclasas (Fig. 5A-C, G, H). De este grupo, las biotitas y los anfíboles son euhedrales, mientras que el cuarzo es comúnmente anhedral. La masa fundamental está compuesta principalmente de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y vidrio. Es relevante también mencionar que la muestra 15JB60 presenta un mayor desarrollo de mineralogía secundaria comparada con la 15JB59. La mineralogía secundaria está presente de forma ubicua y se puede observar particularmente en fenocristales de plagioclasa alterados a arcillas con posible calcita y sericita (Fig. 5B-G). En las plagioclasas, esta alteración afecta los bordes y centros de los cristales. En biotitas y anfíboles, en tanto, se presenta alteración a filosilicatos máficos, probablemente clorita (Fig. 5B, C, H), así como a minerales opacos.

4.2. Análisis $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en plagioclasa

Los espectros con las edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en plagioclasa para las muestras 15JB59 y 15JB60 del Miembro Albatross Hill son presentados en la figura 6. Las incertidumbres se reportan con $\pm 2\sigma$. Todas las razones interpoladas de $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}_i$ se superpusieron con el valor atmosférico de 295,5 (Steiger y Jager, 1977). Las tablas con el detalle de los datos recolectados se encuentran en Bastías et al. (2024), así como los gráficos con las isócronas inversas y los archivos de base.

Los fenocristales de plagioclasa de la muestra 15JB59 definieron una edad *plateau* de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $109,3 \pm 2,0$ Ma (MSWD=0,55), con un ~81% del

^{39}Ar liberado (Fig. 6A). Este *plateau* presenta una leve diferencia (~0,8 millones de años más joven) en comparación con la edad calculada inicialmente en el laboratorio en 2016 (ver material suplementario en Bastías et al., 2024). Esto es una consecuencia de la reconsideración de ciertos criterios para la obtención de una edad más consistente, particularmente para la obtención de un mejor intercepto de $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}_i$. Adicionalmente, la edad de la isócrona inversa es de 113 ± 7 Ma. Los dos primeros análisis (pasos uno y dos) corresponden a baja temperatura y entregaron edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ más antiguas que la edad obtenida en el *plateau* (entre ~225 y 172 Ma). Estos resultados pueden deberse al exceso de ^{40}Ar o bien a un retroceso de ^{39}Ar .

Los fenocristales de plagioclasa de la muestra 16JB60, en tanto, definieron una edad *plateau* de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $110,7 \pm 1,0$ Ma (MSWD=2,3), con un ~50% del ^{39}Ar liberado (Fig. 6B). Si bien el ^{39}Ar liberado en este *plateau* es levemente inferior (49,6%) al 50% sugerido por Lanphere y Dalrymple (1978), así como también recientemente por Schaen et al. (2021), se aproxima al 50% y, en consecuencia, se considera en este trabajo como válido. De la misma forma que lo descrito para la muestra 15JB59, también la edad de la muestra 16JB60 fue recalculada con el fin de obtener un *plateau* más consistente, y se obtuvo una edad de ~0,6 millones de años más joven (ver material suplementario en Bastías et al., 2024). Por otro lado, la edad de la isócrona inversa corresponde a 121 ± 7 Ma. Los análisis de baja temperatura registran edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ escalonadas, que se incrementan a medida que la temperatura aumenta. Particularmente, en los pasos uno al cinco la edad aumenta de ~27 a ~106 Ma, lo que tentativamente se asocia a la pérdida de Ar durante un enfriamiento lento o un recalentamiento posterior a la cristalización, o alternativamente a la pérdida de Ar en los bordes de los cristales.

5. Discusión

5.1. Mineralogía primaria

La sucesión volcánica del Miembro Albatross Hill está principalmente compuesta por dacitas que contienen abundantes fenocristales de plagioclasa, cuarzo y en menor medida feldespato potásico (Figs. 4 y 5). Fenocristales máficos también están presentes, pero en menor cantidad, corresponden

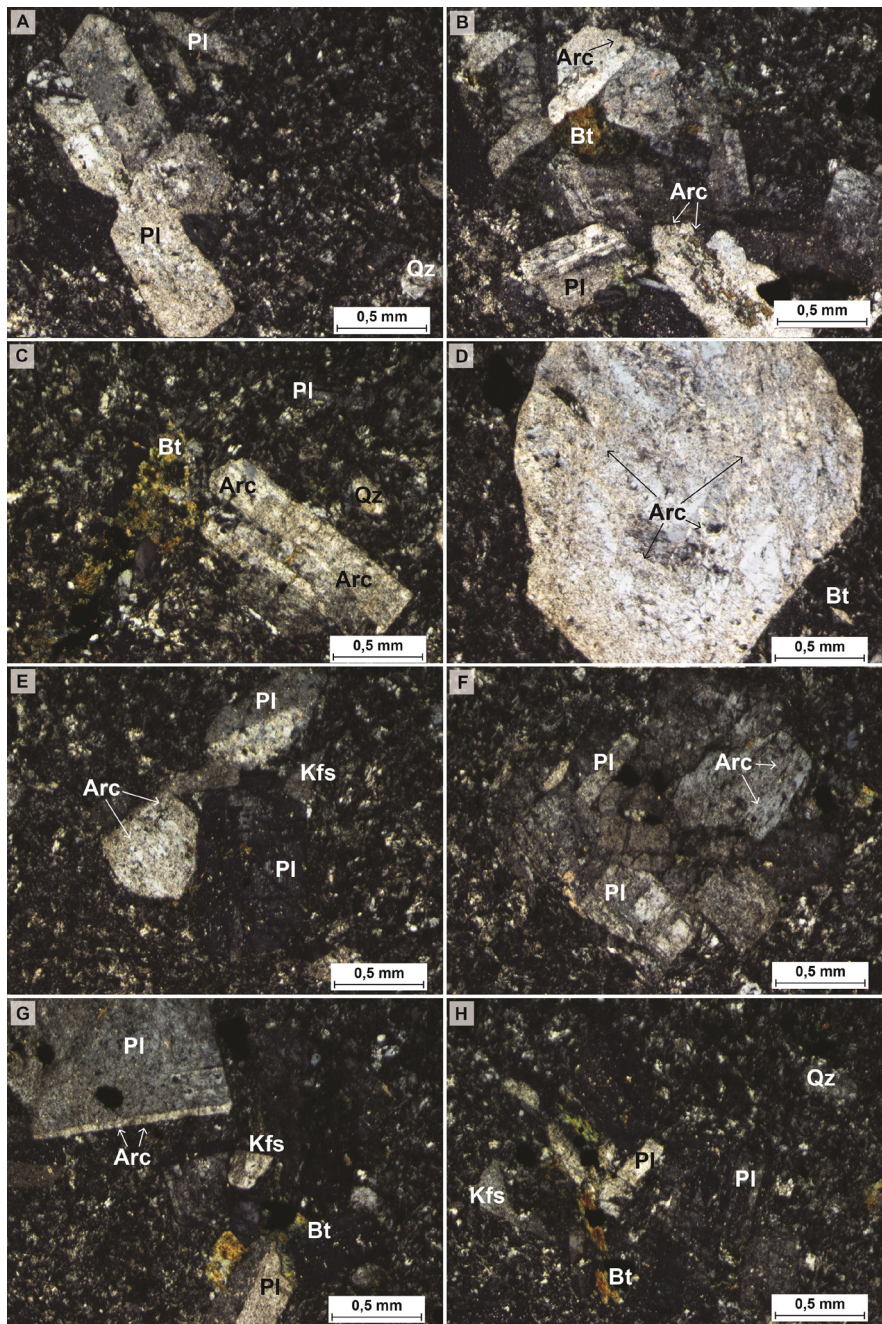


FIG. 5. Fotomicrografías de la muestra 15JB60, correspondiente a una dacita de biotita del Miembro Albatross Hill. **A.** Fenocristales de plagioclasea inmersos en una masa fundamental compuesta de biotita, feldespato potásico, cuarzo y vidrio. **B.** Fenocristales de plagioclasea y biotita, donde las plagioclaseas se presentan alteradas a arcillas y sericita en su centro y borde, respectivamente. **C.** Fenocristales de plagioclasea, cuarzo y biotita; las biotitas se encuentran alteradas a filosilicatos máficos, posiblemente clorita, mientras que las plagioclaseas a arcillas y sericita en su centro y borde, respectivamente. **D.** Fenocristal de plagioclasea alterado a arcilla y posiblemente sericita. **E.** Fenocristales de plagioclasea y feldespato potásico inmersos en una masa fundamental de cuarzo, biotita, plagioclasea y feldespato potásico; plagioclaseas alteradas a arcillas tanto en el centro como en el borde del cristal. **F.** Fenocristales de plagioclasea alterados a arcillas. **G.** Fenocristales de plagioclasea, feldespato potásico y biotita; plagioclaseas alteradas a arcillas y biotitas alteradas a filosilicatos máficos, posiblemente clorita. **H.** Cúmulo de plagioclasea, feldespato potásico y biotita. **Arc:** arcilla. **Bt:** biotita. **Kfs:** feldespato potásico. **Pl:** plagioclasea. **Qz:** cuarzo. Abreviaciones de minerales extraídas de Warr (2021).

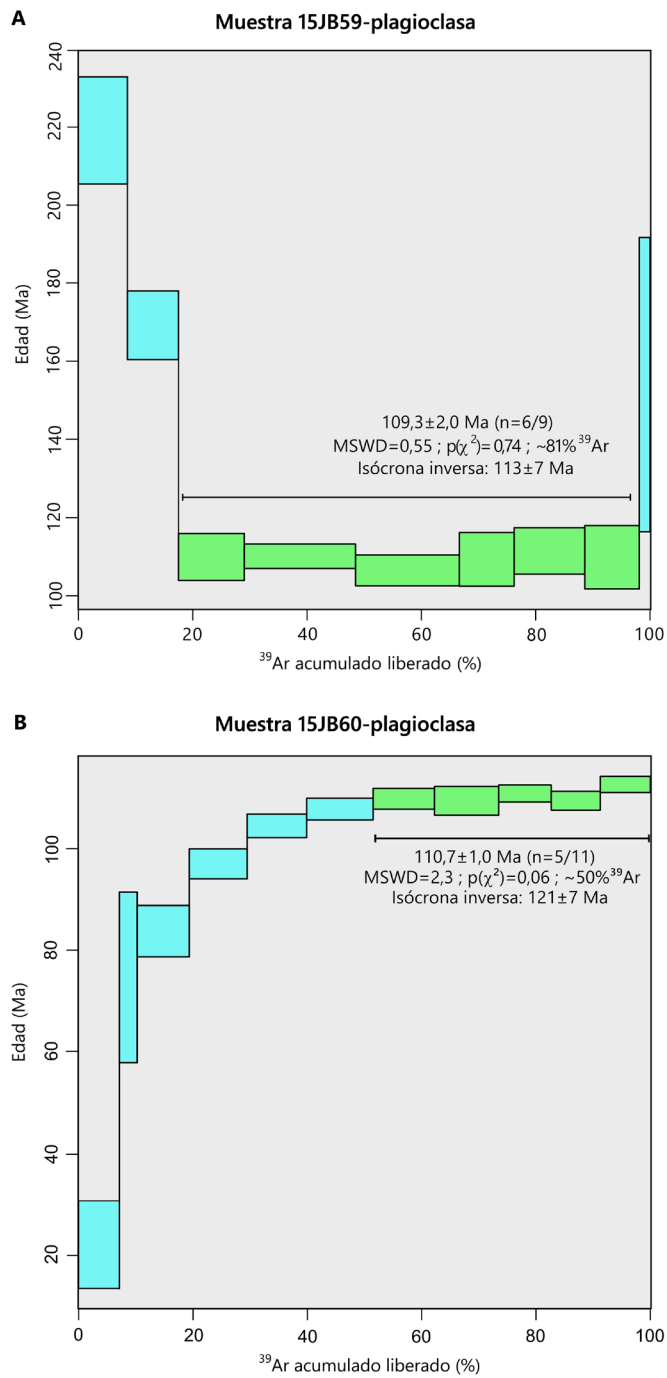


FIG. 6. Espectro de desgasificación y edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, se muestran las edades *plateau* de las plagioclasas de las muestras 15JB59 (A) y 15JB60 (B) del Miembro Albatross Hill. La incertidumbre se reporta con $\pm 2\sigma$. El detalle con la información analítica original se encuentra disponible en Bastías *et al.* (2024), así como también las recirculaciones y los archivos utilizados en IstoplotR (Vermeesch, 2018).

en su mayoría a biotita y anfíbol. Esto corrige las observaciones anteriores en estas rocas, las que sugerían una composición con afinidad andesítica (Smellie, 1979; Bastías *et al.*, 2019); sin embargo, coincide en composición con respecto a otras unidades volcánicas formadas durante el Cretácico Temprano en las Islas Shetland del Sur, presentes en Isla Livingston (Formación Cerro Negro; Hathway, 1997). Esto es relevante, ya que (1) durante el Cretácico, el volcanismo félsico fue relativamente escaso en la Península Antártica (*e.g.*, Burton-Johnson y Riley, 2015; Bastías *et al.*, 2022; Burton-Johnson *et al.*, 2022;), y (2) durante la mayoría del Cenozoico, el volcanismo ha sido principalmente andesítico-basáltico (Smellie *et al.*, 1984; Bastías *et al.*, 2023). Este evento de volcanismo félsico ha sido interpretado como la evidencia del inicio de la subducción durante el Cretácico Temprano (Bastías *et al.*, 2022, 2023) y da comienzo a un ciclo caracterizado por volcanismo subaéreo acompañado de la proliferación de fauna y flora en la región (*e.g.*, Bastías *et al.*, 2023). En consecuencia, los estudios petrográficos aquí presentados, junto con aquellos provistos por Hathway (1997), sugieren que el volcanismo asociado al inicio de la subducción en las Islas Shetland del Sur fue dominado por un pulso de composición félsica.

5.2. Mineralogía secundaria

La mineralogía de alteración en la secuencia volcánica es evidente a través de la presencia de vetas, vetillas, amígdalas y el reemplazo general de la mineralogía primaria (Figs. 4 y 5). Los fenocristales y la masa fundamental se observan parcial y ubicuamente reemplazados por minerales asociados a eventos de alteración o metamorfismo de bajo o muy bajo grado (Figs. 4 y 5). Estos corresponden a arcillas, sericita, filosilicatos máficos, epidota, carbonatos y minerales opacos. El trabajo precursor de Smellie (1979) describe en detalle la petrografía de estas rocas en Cabo Wallace, en donde también se reporta una profusa presencia de minerales de alteración. Ahí se constata, por ejemplo, cristalización de albita en los fenocristales de plagioclasa y feldespato potásico. Bastías *et al.* (2016) estudiaron los minerales de alteración en Punta Hannah, Isla Livingston y, coincidentemente, también reconocieron una relevante albitización de los fenocristales de plagioclasa en las rocas volcánicas del Cretácico Superior, además de

indicar la existencia de otros minerales de alteración. Esto corrobora las observaciones realizadas para las Islas Shetland del Sur por Smellie *et al.* (1984) y Bastías *et al.* (2023), donde se sugiere una presencia abundante de minerales de alteración de bajo o muy bajo grado tanto en las sucesiones volcánicas como en las rocas sedimentarias. Si bien la petrografía en este trabajo no indica inequívocamente la presencia de albita, su existencia es esperable. Otras técnicas complementarias a la petrografía y válidas a escalas más pequeñas, como la microsonda electrónica, podrían revelar la presencia de albita u otras fases de alteración.

5.3. Análisis $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

Las edades *plateau* $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ obtenidas en los fenocristales de plagioclasa varían entre ~111 y 109 Ma, lo que sugiere que las plagioclasas presentes en el Miembro Albatross Hill se formaron en un periodo relativamente breve. Sin embargo, estas edades difieren de aquellas obtenidas en la masa fundamental para las mismas muestras empleando idéntica metodología. En efecto, Bastías *et al.* (2019) reportaron edades *plateau* $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en la masa fundamental de estas muestras de $139,6 \pm 0,3$ y $137,1 \pm 0,7$ Ma. Esto indica que las edades *plateau* $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en los fenocristales de plagioclasa son de ~26-30 millones de años más jóvenes comparadas con las edades obtenidas en la masa fundamental para las mismas rocas. La profusa presencia de minerales de alteración en el Miembro Albatross Hill, la cual también se encuentra en la totalidad de las Islas Shetland del Sur (Smellie *et al.*, 1984; Bastías *et al.*, 2023), podría explicar la diferencia observada entre las edades *plateau* $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de las plagioclasas y la masa fundamental.

El método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ es una herramienta versátil que permite estudiar diversos geocronómetros debido a su capacidad para poder realizar mediciones en materiales que incorporen K en su red cristalina (*e.g.*, Schaen *et al.*, 2021). El sistema $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ha sido utilizado para entender procesos metalogénicos (*e.g.*, Chiaradia *et al.*, 2013), emplazamiento de cuerpos volcánicos (*e.g.*, Jiang *et al.*, 2021), estudios planetarios (*e.g.*, Jourdan, 2012), evolución metamórfica (*e.g.*, Halama *et al.*, 2018), termocronología (*e.g.*, Spikings y Popov, 2021), edades de unidades estratificadas (*e.g.*, Prevosti *et al.*, 2021) e incluso asentamientos humanos primitivos (*e.g.*, Matchan *et al.*, 2020); no obstante, ha sido relativamente poco explotado

para determinar temporalidades asociadas a eventos de alteración de bajo o muy bajo grado. Algunos trabajos han explorado este problema, por ejemplo, Fuentes *et al.* (2005), quienes reportaron diferencias de ~23 millones de años entre plagioclasas prístinas y alteradas en rocas volcánicas cretácicas de Chile Central, lo que atribuyeron a la presencia de minerales de alteración de muy bajo grado. Verati y Jordan (2014), Gomes *et al.* (2021) y Jiang *et al.* (2021) sugirieron que solo se necesitaría una pequeña cantidad de minerales derivados de alteración sericitica para que las edades de *plateau* $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sean considerablemente más jóvenes. Jiang *et al.* (2021), en particular, estimaron que la presencia de sericita de alteración en un ~0,01% para muestras pobres en K y de ~0,1% en muestras ricas en K sería suficiente para que las edades *plateau* obtenidas en plagioclasa sean 3-4% más jóvenes comparadas con aquellas obtenidas en cristales no alterados. Antoine *et al.* (2022), al estudiar flujos de lava basálticos en el sur de África, sugirieron que la presencia de dos o más fases de plagioclasa puede generar análisis $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ complejos de interpretar, por lo que se requeriría un amplio apoyo de técnicas petrológicas complementarias para una mejor comprensión de las edades. De estos estudios se desprende que, para aquellas rocas volcánicas con mineralogía secundaria, es probable que las edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ estén alteradas, *i.e.*, que se obtengan edades más jóvenes que el evento primario que formó las fases minerales primarias.

Esta contribución da a conocer nueva evidencia para dilucidar potenciales discrepancias en los análisis $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en presencia de minerales de alteración. Los resultados muestran que las rocas volcánicas con afinidad félsica también pueden registrar diferencias significativas con respecto a las edades obtenidas en minerales primarios (fenocristales) con aquellas realizadas en la masa fundamental. Se ha sugerido que a medida que las rocas volcánicas son más antiguas (*e.g.*, >30 Ma), la masa fundamental no es el mejor material para realizar análisis $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ con el fin de determinar la edad del volcanismo, dado que usualmente entregan edades más jóvenes que el evento primario (*e.g.*, Jourdan *et al.*, 2007; Jiang *et al.*, 2021). Sin embargo, en el caso del Miembro Albatross Hill, la masa fundamental opera como un mejor geocronómetro para determinar la edad primaria. Esto se puede deber a la preparación mecánica que se le realizó a la muestra, ya que el tamaño de los minerales puede haber contribuido a esta diferencia

de edades, dado que los fenocristales de plagioclasa son más grandes y los minerales secundarios se encontrarían ahí en una cantidad proporcionalmente mayor que en la masa fundamental.

6. Conclusiones

El Miembro Albatross Hill, unidad superior de los Estratos de Cabo Wallace, es una secuencia volcánica que se formó durante el Cretácico Temprano. Si bien los reportes en esta unidad sugerían una mineralogía con afinidad andesítica, nuevos antecedentes petrográficos reportados en este estudio indican que esta sería más bien dacítica. Al considerar que esta unidad, en conjunto con otras en Isla Livingston, son la evidencia del restablecimiento de la subducción durante el Cretácico Temprano, se sugiere que este evento estuvo dominado por un volcanismo félsico.

La secuencia volcánica que forma el Miembro Albatross Hill tiene una abundante presencia de mineralogía secundaria de baja temperatura. Estos minerales son principalmente arcillas, sericita, filosilicatos máficos (dominantemente clorita), minerales opacos y epidota, los que se encuentran en los fenocristales, así como en fracturas (vetas y vetillas), amígdalas y, en menor medida, en la masa fundamental. Esta característica está en concordancia con otras observaciones hechas en diferentes localidades de las Islas Shetland del Sur, lo cual sugiere que este archipiélago está afectado ubicuamente por alteración secundaria de bajo o muy bajo grado.

Los análisis $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ realizados en los fenocristales de plagioclasa del Miembro Albatross Hill son ~31 a 26 millones de años más jóvenes que aquellos obtenidos en la masa fundamental para las mismas muestras. Estas edades menores se asocian a la presencia de minerales de alteración. Estos resultados también proporcionan mayores antecedentes para la utilización del método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, en particular como herramienta para determinar la edad de eventos de alteración/metamorfismo de baja o muy baja temperatura. Finalmente, se sugiere tomar consideraciones cuando el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sea utilizado para determinar la edad de formación de rocas volcánicas de arco.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los dos revisores anónimos y al editor, Dr. D. Bertin, cuyas valiosas sugerencias y comentarios contribuyeron significativamente a mejorar esta

contribución. Este trabajo fue financiado por los proyectos Swiss National Science Foundation (P5R5PN_217947), RT-01-22 y ACT-105 del Instituto Antártico Chileno. Los autores agradecen a R. Spikings y D. Miletic (Universidad de Ginebra, Suiza), quienes proporcionaron asistencia para la recolección de los análisis $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Asimismo, a P. Castillo (Universidad de Münster, Alemania) y F. Poblete (Universidad de Chile), quienes participaron del trabajo de terreno en Isla Low, 2011.

Referencias

- Aguirre, L.; Levi, B.; Nyström, J.O. 1989. The link between metamorphism, volcanism and geotectonic setting during the evolution of the Andes. *In* Evolution of metamorphic belts (Daly, J.S.; Cliff, R.A.; Yardley, B.W.D.; editors). Geological Society, Special Publication 43: 223-232. London. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.043.01.15>
- Alt, J.C. 1998. Very low-grade hydrothermal metamorphism of basic igneous rocks. *In* Low-grade metamorphism (Frey, M.; Robinson, D.; editors). Wiley: 169-201. <https://doi.org/10.1002/9781444313345.ch6>
- Antoine, C.; Spikings, R.A.; Miletic, D.; Marsh, J.S.; Gaynor, S.P.; Schaltegger, U. 2022. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Drakensberg continental flood basalts: Understanding large argon isotopic variations in mafic groundmass and plagioclase size fractions. *Chemical Geology* 610. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2022.121086>
- Araya, R.; Hervé, F. 1966. Estudio geomorfológico y geológico en las islas Shetland del Sur, Antártica. Instituto Antártico Chileno, Publicación 8: 76 p.
- Barker, P.F. 1982. The Cenozoic subduction history of the Pacific margin of the Antarctic Peninsula: ridge crest-trench interactions. *Journal of the Geological Society* 139: 787-801. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.139.6.0787>
- Bastías, J. 2014. Mineralogía y geocronología U-Pb en las Islas Shetland del Sur, Antártica, un multienfoque para Punta Hannah, Isla Livingston y Cabo Wallace, Isla Low. M.Sc. thesis (Unpublished), Universidad de Chile: 149 p.
- Bastías, J.; Fuentes, F.; Aguirre, L.; Hervé, F.; Demant, A.; Deckart, K.; Torres, T. 2016. Very low-grade secondary minerals as indicators of palaeo-hydrothermal systems in the Upper Cretaceous volcanic succession of Hannah Point, Livingston Island, Antarctica. *Applied Clay Science* 134 (3): 246-256. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.07.025>
- Bastías, J.; Calderón, M.; Israel, L.; Hervé, F.; Spikings, R.; Pankhurst, R.; Castillo, P.; Fanning, M.; Ugalde, R. 2019. The Byers Basin: Jurassic-Cretaceous tectonic and depositional evolution of the forearc deposits of the South Shetland Islands and its implications for the northern Antarctic Peninsula. *International Geology Review* 62 (11): 1467-1484. <https://doi.org/10.1080/00206814.2019.1655669>
- Bastías, J.; Spikings, R.; Ulianov, A.; Riley, T.; Burton-Johnson, A.; Chiaradia, M.; Baumgartner, L.; Hervé, F.; Bouvier, A.-S. 2020. The Gondwanan margin in West Antarctica: insights from Late Triassic magmatism of the Antarctic Peninsula. *Gondwana Research* 81: 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.10.018>
- Bastías, J.; Spikings, R.; Riley, T.; Ulianov, A.; Grunow, A.; Chiaradia, M.; Hervé, F. 2021. A revised interpretation of the Chon Aike magmatic province: active margin origin and implications for the opening of the Weddell Sea. *Lithos* 386-387. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106013>
- Bastías, J.; Spikings, R.; Riley, T.; Chew, D.; Grunow, A.; Ulianov, A.; Chiaradia, M.; Burton-Johnson, A. 2022. Cretaceous magmatism in the Antarctic Peninsula and its tectonic implications. *Journal of the Geological Society* 180 (1): jgs2022-067. <https://doi.org/10.1144/jgs2022-067>
- Bastías, J.; Chew, D.; Villanueva, C.; Riley, T.; Manfroí, J.; Trevisan, C.; Leppe, M.; Castillo, P.; Poblete, F.; Tetzner, D.; Giuliani, G.; López, B.; Chen, H.; Zheng, G.-G.; Zhao, Y.; Gao, L.; Rauch, A.; Jaña, R. 2023. The South Shetland Islands, Antarctica: Lithostratigraphy and geological map. *Frontiers in Earth Science* 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.1002760>
- Bastías, J.; Silva, P.; Inzulza, S. 2024. Supplementary Material: Thermal resetting of the Early Cretaceous volcanic rocks of Low Island, South Shetland Islands, Antarctica. Zenodo. Dataset. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13730154>
- Bastías-Silva, J.; Burton-Johnson, A.; Chew, D.; Riley, T.; Jara, W.; Chiaradia, M. 2024. A temporal control on the isotopic compositions of the Antarctic Peninsula arc. *Communications Earth & Environment* 5 (157). <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01301-1>
- Burton-Johnson, A.; Riley, T.R. 2015. Autochthonous v. accreted terrane development of continental margins: a revised *in situ* tectonic history of the Antarctic Peninsula. *Journal of the Geological Society* 172: 822-835. <https://doi.org/10.1144/jgs2014-110>
- Burton-Johnson, A.; Riley, T.R.; Harrison, R.J.; Mac Niocaill, C.; Muraszko, J.R.; Rowley, P.D. 2022. Does tectonic deformation control episodic continental arc magmatism? Evidence from granitic magnetic fabrics (AMS). *Gondwana Research* 112: 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.09.006>

- Burton-Johnson, A.; Bastías, J.; Kraus, S. 2023. Breaking the Ring of Fire: How ridge collision, slab age, and convergence rate narrowed and terminated the Antarctic continental arc. *Tectonics* 42 (5). <https://doi.org/10.1029/2022TC007634>
- Castillo, P.; Lacassie, J.P.; Augustsson, C.; Herve, F. 2015. Petrography and geochemistry of the Carboniferous-Triassic Trinity Peninsula Group, West Antarctica: implications for provenance and tectonic setting. *Geological Magazine* 152 (4): 575-588. <https://doi.org/10.1017/S0016756814000454>
- Castillo, P.; Fanning, C.M.; Hervé, F.; Lacassie, J.P. 2016. Characterisation and tracing of Permian magmatism in the south-western segment of the Gondwanan margin; U-Pb age, Lu-Hf and O isotopic compositions of detrital zircons from metasedimentary complexes of northern Antarctic Peninsula and western Patagonia. *Gondwana Research* 36: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2015.07.014>
- Chiaradia, M.; Schaltegger, U.; Spikings, R.; Wotzlaw, J.-F.; Ovtcharova, M. 2013. How accurately can we date the duration of magmatic-hydrothermal events in porphyry systems? - An invited paper. *Economic Geology* 108 (4): 565-584. <https://doi.org/10.2113/econgeo.108.4.565>
- Davis, D.W.; Krogh, T.E.; Williams, I.S. 2003. Historical development of zircon geochronology. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 53 (1): 145-181. <https://doi.org/10.2113/0530145>
- Fuentes, F.; Vergara, M.; Aguirre, L.; Féraud, G. 2002. Relaciones de contacto de unidades volcánicas terciarias de los Andes de Chile central (33° S): una reinterpretación sobre la base de dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. *Revista Geológica de Chile* 29 (2): 207-225. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-02082002000200004>
- Fuentes, F.; Féraud, G.; Aguirre, L.; Morata, D. 2005. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of volcanism and subsequent very low-grade metamorphism in a subsiding basin: example of the Cretaceous lava series from central Chile. *Chemical Geology* 214 (1-2): 157-177. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.09.001>
- Gao, L.; Zhao, Y.; Yang, Z.; Liu, J.; Liu, X.; Zhang, S.-H.; Pei, J. 2018. New paleomagnetic and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological results for the South Shetland Islands, West Antarctica, and their tectonic implications. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 123 (1): 4-30. <https://doi.org/10.1002/2017JB014677>
- Gao, L.; Zhao, Y.; Yang, Z.; Pei, J.; Zhang, S.-H.; Liu, X.; Tong, Y.; Liu, J.-M.; Bastías, J. 2023. Plate rotation of the Northern Antarctic Peninsula since the Late Cretaceous: implications for the tectonic evolution of the Scotia Sea region. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth* 128 (2). <https://doi.org/10.1029/2022JB026110>
- Gomes, A.S.; Vasconcelos, P.M.; De Oliveira Carmo, I. 2021. Quantifying the effects of alteration and acid treatment for whole-rock basalt $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology. *Chemical Geology* 560. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119998>
- Green, N.L.; Armstrong, R.L.; Harakal, J.E.; Souther, J.G.; Read, P.B. 1988. Eruptive history and K-Ar geochronology of the late Cenozoic Garibaldi volcanic belt, southwestern British Columbia. *Geological Society of America Bulletin* 100 (4): 563-579. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1988\)100%3C0563:EHAKAG%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1988)100%3C0563:EHAKAG%3E2.3.CO;2)
- Haase, K.M.; Beier, C.; Fretzdorff, S.; Smellie, J.L.; Garbe-Schönberg, D. 2012. Magmatic evolution of the South Shetland Islands, Antarctica, and implications for continental crust formation. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 163: 1103-1119. <https://doi.org/10.1007/s00410-012-0719-7>
- Halama, R.; Glodny, J.; Konrad-Schmolke, M.; Sudo, M. 2018. Rb-Sr and in situ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of exhumation-related shearing and fluid-induced recrystallization in the Sesia zone (Western Alps, Italy). *Geosphere* 14 (4): 1425-1450. <https://doi.org/10.1130/GES01521.1>
- Hathway, B. 1997. Nonmarine sedimentation in an Early Cretaceous extensional continental-margin arc, Byers Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands. *Journal of Sedimentary Research* 67 (4): 686-697. <https://doi.org/10.1306/D4268617-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Heaman, L.M. 2009. The application of U-Pb geochronology to mafic, ultramafic and alkaline rocks: an evaluation of three mineral standards. *Chemical Geology* 261 (1-2): 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.10.021>
- Jiang, Q.; Jourdan, F.; Olierook, H.K.H.; Merle, R.E.; Verati, C.; Mayers, C. 2021. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of basaltic rocks and the pitfalls of plagioclase alteration. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 314: 334-357. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2021.08.016>
- Jourdan, F. 2012. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating technique applied to planetary sciences and terrestrial impacts. *Australian Journal of Earth Sciences* 59 (2): 199-224. <https://doi.org/10.1080/08120099.2012.644404>
- Jourdan, F.; Féraud, G.; Bertrand, H.; Watkeys, M.K.; Renne, P.R. 2007. Distinct brief major events in the Karoo large igneous province clarified by new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages on the Lesotho basalts. *Lithos* 98 (1-4): 195-209. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.03.002>

- Kelley, S. 2002. Excess argon in K-Ar and Ar-Ar geochronology. *Chemical Geology* 188 (1-2): 1-22. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00064-5](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00064-5)
- Koppers, A.A.P. 2002. ArArCALC-software for $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age calculations. *Computers & Geosciences* 28 (5): 605-619. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(01\)00095-4](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(01)00095-4)
- Kuiper, K.F.; Deino, A.; Hilgen, F.J.; Krijgsman, W.; Renne, P.R.; Wijbrans, A.J. 2008. Synchronizing rock clocks of Earth history. *Science* 320 (5875): 500-504. <https://doi.org/10.1126/science.1154339>
- Lanphere, M.A.; Dalrymple, G.B. 1978. The use of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ data in evaluation of disturbed K-Ar systems. *In* Short Papers of the Fourth International Conference, Geochronology, Cosmochronology, Isotope Geology (Zartman, R.E.; editor). Geological Survey, Open-File Report 78-701: 241-243.
- Leat, P.T.; Riley, T.R. 2021. Antarctic Peninsula and South Shetland Islands: Volcanology. *In* Volcanism in Antarctica: 200 million years of subduction, rifting and continental-break-up (Smellie, J.L.; Panter, K.S.; Geyer, A.; editors). Geological Society Memoir 55: 185-212. <https://doi.org/10.1144/M55-2018-52>
- Leat, P.T.; Scarrow, J.H.; Millar, I.L. 1995. On the Antarctic Peninsula batholith. *Geological Magazine* 132 (4): 399-412. <https://doi.org/10.1017/S0016756800021464>
- Levi, B.; Aguirre, L.; Nyström, J.O.; Padilla, H.; Vergara, M. 1989. Low-grade regional metamorphism in the Mesozoic-Cenozoic volcanic sequences of the Central Andes. *Journal of Metamorphic Geology* 7 (5): 487-495. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1989.tb00611.x>
- Liu, J.; Han, J.; Fyfe, W.S. 2001. Cenozoic episodic volcanism and continental rifting in northeast China and possible link to Japan Sea development as revealed from K-Ar geochronology. *Tectonophysics* 339 (3-4): 385-401. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00132-9](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00132-9)
- Matchan, E.L.; Phillips, D.; Jourdan, F.; Oostingh, K. 2020. Early human occupation of southeastern Australia: New insights from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of young volcanoes. *Geology* 48 (4): 390-394. <https://doi.org/10.1130/G47166.1>
- Millar, I.L.; Pankhurst, R.J.; Fanning, C.M. 2002. Basement chronology of the Antarctic Peninsula: recurrent magmatism and anatexis in the Palaeozoic Gondwana margin. *Journal of the Geological Society* 159: 145-157. <https://doi.org/10.1144/0016-764901-020>
- Oliveros, V.; Féraud, G.; Aguirre, L.; Fornari, M.; Morata, D. 2006. The Early Andean Magmatic Province (EAMP): $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating on Mesozoic volcanic and plutonic rocks from the Coastal Cordillera, northern Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 157 (4): 311-330. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2006.04.007>
- Prevosti, F.J.; Romano, C.O.; Forasiepi, A.M.; Hemming, S.; Bonini, R.; Candela, A.M.; Cerdeño, E.; Madozzo, M.C.; Ortiz, P.E.; Pujos, F.; Rasia, L.L.; Schmidt, G.I.; Taglioretti, M.; MacPhee, R.D.E.; Pardiñas, U.F.J. 2021. New radiometric ^{40}Ar - ^{39}Ar dates and faunistic analyses refine evolutionary dynamics of Neogene vertebrate assemblages in southern South America. *Scientific Reports* 11 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89135-1>
- Riley, T.R.; Burton-Johnson, A.; Flowerdew, M.J.; Poblete, F.; Castillo, P.; Hervé, F.; Leat, P.T.; Millar, I.L.; Bastías, J.; Whitehouse, M.J. 2023. Palaeozoic-Early Mesozoic geological history of the Antarctic Peninsula and correlations with Patagonia: Kinematic reconstructions of the proto-Pacific margin of Gondwana. *Earth-Science Reviews* 236. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104265>
- Roberts, H.J.; Kelley, S.P.; Dahl, P.S. 2001. Obtaining geologically meaningful ^{40}Ar - ^{39}Ar ages from altered biotite. *Chemical Geology* 172 (3-4): 277-290. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(00\)00255-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(00)00255-2)
- Schaen, A.J.; Jicha, B.R.; Hodges, K.V.; Vermeesch, P.; Stelten, M.E.; Mercer, C.M.; Phillips, D.; Rivera, T.A.; Jourdan, F.; Matchan, E.L.; Hemming, S.R.; Morgan, L.E.; Kelley, S.P.; Cassata, W.S.; Heizler, M.T.; Vasconcelos, P.M.; Benowitz, J.A.; Koppers, A.A.P.; Mark, D.F.; Niespolo, E.M.; Sprain, C.J.; Hames, W.E.; Kuiper, K.F.; Turrin, B.D.; Renne, P.R.; Ross, J.; Nomade, S.; Guillou, H.; Webb, L.E.; Cohen, B.A.; Calvert, A.T.; Joyce, N.; Ganerød, M.; Wijbrans, J.; Ishizuka, O.; He, H.; Ramírez, A.; Pfänder, J.A.; López-Martínez, M.; Qiu, H.; Singer, B.S. 2021. Interpreting and reporting $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronologic data. *Geological Society of America Bulletin* 133 (3-4): 461-487. <https://doi.org/10.1130/B35560.1>
- Schoene, B. 2014. U-Th-Pb geochronology. *In* Treatise on Geochemistry (Second Edition) (Holland, H.D.; Turekian, K.K.; editors). Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences 4: 341-378. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00310-7>
- Smellie, J.L. 1979. The geology of Low island, South Shetland Islands, and Austin rocks. *British Antarctic Survey Bulletin* 49: 239-257.
- Smellie, J.L.; Pankhurst, R.; Thomson, M.R.A.; Davies, R.E.S. 1984. The geology of the South Shetland Islands: VI. Stratigraphy, geochemistry and evolution. *British Antarctic Survey, Scientific Reports* 87: 85 p.
- Spikings, R.A.; Popov, D.V. 2021. Thermochronology of alkali feldspar and muscovite at $T > 150^\circ\text{C}$ using the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method: a review. *Minerals* 11 (9). <https://doi.org/10.3390/min11091025>

- Steiger, R.H.; Jager, E. 1977. Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry. *Earth and Planetary Science Letters* 36 (3): 359-362. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(77\)90060-7](https://doi.org/10.1016/0012-821X(77)90060-7)
- Thomson, M.R.A. 1982. Late Jurassic fossils from Low Island, South Shetland Islands. *British Antarctic Survey Bulletin* 56: 25-35.
- Verati, C.; Jourdan, F. 2014. Modelling effect of sericitization of plagioclase on the $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronometers: implication for dating basaltic rocks and mineral deposits. *In* *Advances in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating: from archaeology to planetary sciences* (Jourdan, F.; Mark, D.F.; Verati, C.; editors). Geological Society, Special Publication 378 (1): 155-174. London. <https://doi.org/10.1144/SP378.14>
- Vermeesch, P. 2018. IsoplotR: a free and open toolbox for geochronology. *Geoscience Frontiers* 9 (5): 1479-1493. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.04.001>
- Walker, D.A.; McDougall, I. 1982. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and K-Ar dating of altered glassy volcanic rocks: the Dabi Volcanics, P.N.G. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46 (11): 2181-2190. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(82\)90193-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(82)90193-4)
- Wang, X.-L.; Zhao, G.; Zhou, J.-C.; Liu, Y.; Hu, J. 2008. Geochronology and Hf isotopes of zircon from volcanic rocks of the Shuangqiaoshan Group, South China: implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of the eastern Jiangnan orogen. *Gondwana Research* 14 (3): 355-367. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2008.03.001>
- Warr, L.N. 2021. IMA-CNMNC approved mineral symbols. *Mineralogical Magazine* 85 (3): 291-320. <https://doi.org/10.1180/mgm.2021.43>
- Zhou, S.; Mo, X.; Dong, G.; Zhao, Z.; Qiu, R.; Guo, T.; Wang, L. 2004. ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology of Cenozoic Linzizong volcanic rocks from Linzhou Basin, Tibet, China, and their geological implications. *Chinese Science Bulletin* 49: 1970-1979. <https://doi.org/10.1007/BF03184291>