

Datación de eventos termales en yacimientos

Introducción

La datación de eventos termale en yacimientos es compleja, ya que para restringir los eventos termale en el tiempo, se deben datar las rocas ígneas asociadas a la mineralización, las cuales se pueden encontrar alteradas pervasivamente al igual que las rocas de caja. Además se deben escoger muy bien las muestras de minerales a datar, tener claro si corresponden a minerales de alteración o minerales primarios.

Los primeros trabajos geocronológicos ocuparon el clásico método de K-Ar en minerales y roca total, el cual entrega resultados difíciles de interpretar, dado que este sistema es fácilmente reseteable por circulación de fluidos a altas temperaturas (alteración potásica) y sobre todo si se utiliza para roca total en brechas donde clastos y matriz registran distintos eventos hidrotermales. La sobre imposición de eventos es el segundo problema al que uno se enfrenta en éste tipo de trabajos, sobre todo en los pórfidos gigantes, por ejemplo en Teniente brechas hidrotermales asociadas a alteración potásica muestran vetillas posteriores asociadas con alteración potásica y/o sericítica, lo que evidencia superimposición de eventos hidrotermales.

La mineralización en los pórfidos gigantes de Cu-(Mo) ha sido ampliamente asumida como el producto de historias de alteración excepcionalmente prolongadas y/o historias de mineralización multifase. Sin embargo los trabajos en K-Ar no avalan este modelo. La introducción de métodos de datación ^{40}Ar - ^{39}Ar con incrementos de calor, en particular los que ocupan fusión con laser aportaron de forma importante en la precisión de los datos de alteración hidrotermal (Deckart et al.). Sin embargo el sistema Ar-Ar tiene temperaturas de cierre bajas en los minerales claves como biotita (310°C) por lo que no son ideales para datar edades de cristalización en rocas alteradas, y en el caso de existir múltiples eventos termale no registrarán todos, sino los últimos. Es por esto que los trabajos recientes combinan el método Ar-Ar en micas tanto hidrotermales y magmáticas, con dataciones U-Pb en zircones para determinar edades de cristalización en rocas muy alteradas, dada la resistencia química del zircon y ya que la T° de cierre de ese sistema es la más alta conocida (900°C). También se aplican dataciones por el método Re-Os en molibdenita para determinar edades de depositación de las menas, aparentemente éste sistema es menos perturbable que el Ar-Ar, como se observa en el caso de El Teniente (Macsaev et al.).

A continuación se revisa cómo y con qué fin se aplica cada método.

U-Pb en Zircón

Dada la alta resistencia química del zircón y su alta temperatura (900°C) de cierre para el sistema U-Pb, lo hacen ideal para datar rocas ígneas genéticamente asociadas a la alteración y mineralización de Cu y Mo (posibles aportadores de fluidos hidrotermales) y rocas de caja muy alteradas.

Las edades U-Pb usualmente se obtienen a través del método ID-TIMS (isotope dilution thermal ion mass spectrometry) y/o el método SHRIMP (sensitive high resolution ion microprobe). El primero se utiliza para datar fracciones de zircones y el segundo para datar granos individuales.

Deckart et al. Utilizan ambos métodos para estudiar la geocronología del yacimiento Rio Blanco - Los Bronces. Los datos que entrega el método ID-TIMS se procesan en diagramas de concordia tradicionales, donde se pueden interpretar tanto edades de cristalización como presencia de zircones heredados como se observa en los diagramas de concordia de la figura 1 donde se datan 2 andesitas de la Formación farellones, la cual hospeda al depósito, en la andesita 2, los 4 fragmentos son concordantes y plotan sobre la concordia, en cambio la andesita 1, cinco de siete análisis caen en la concordia y 2 dan edades más viejas indicando zircones heredados.

Con el método SHRIMP se puede analizar tanto el núcleo como márgenes del grano, de modo de establecer si el núcleo corresponde a zircones heredados, los datos se pueden estudiar en un diagrama de concordia Tera Wasserburg ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$). Además en el trabajo de Macksaev et al. en El Teniente se observa que los bordes de los zircones registran eventos termale posteriores a la cristalización del magma, lo que se evidencia en una distribución bimodal de las edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ a partir de un solo grano, es decir, no se debe a mezclas de distintos zircones (Fig 2).

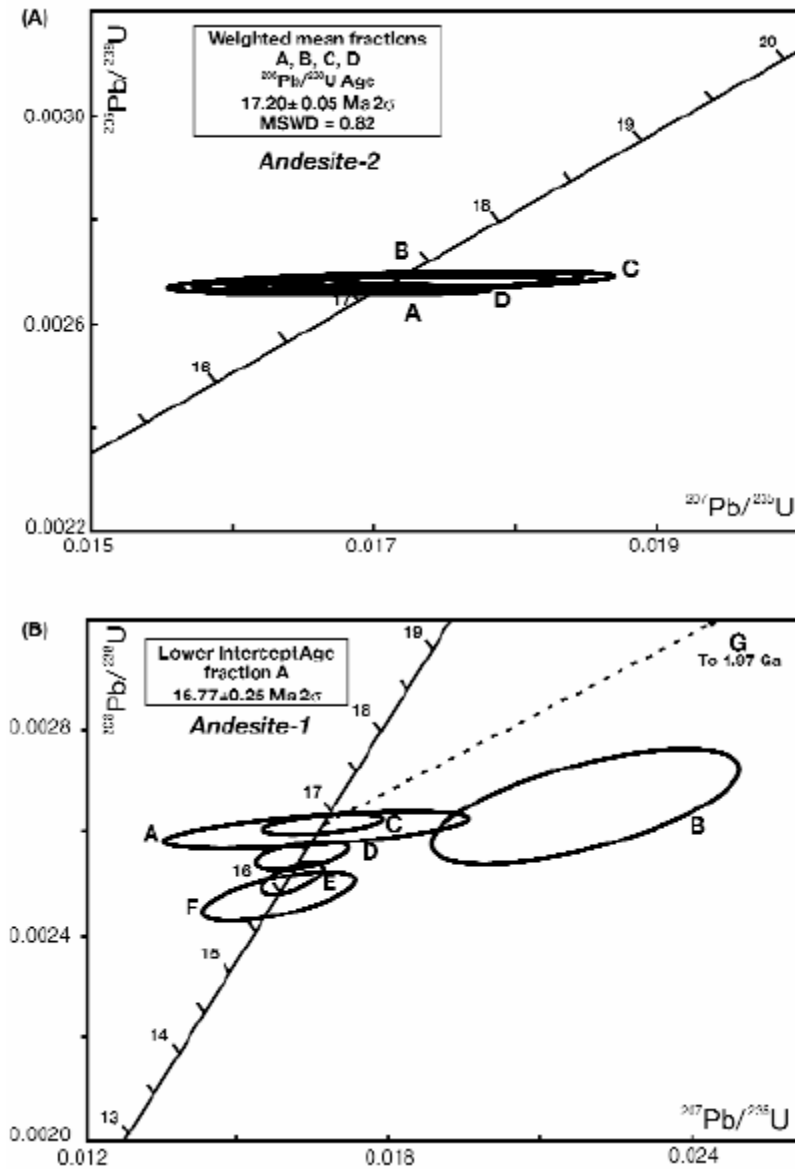


FIG. 1. $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ vs. $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ concordia plots for the Farellones Formation andesites. A. Andesite-2 (4 zircon fractions), Río Blanco sector. B. Andesite-1 (7 zircon fractions), Don Luis sector. (Deckart et al.)

En la figura dos se muestran los resultados de zirrones de 2 cuerpos porfíricos mineralizados de El Teniente que muestran una distribución bimodal de las edades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, los autores infieren 2 posibles interpretaciones: los grupos de edades más antiguas indican que los zirrones fueron heredados de una intrusión previa más profunda o de una cámara

magmática en cristalización y que las edades más jóvenes corresponden a pérdida de plomo o sobrecrecimiento durante cristalización de los magmas, o las edades más antiguas corresponden al crecimiento del zircón durante la cristalización y los grupos más jóvenes pueden representar pérdida de plomo y/o sobrecrecimientos durante alteración potásica.

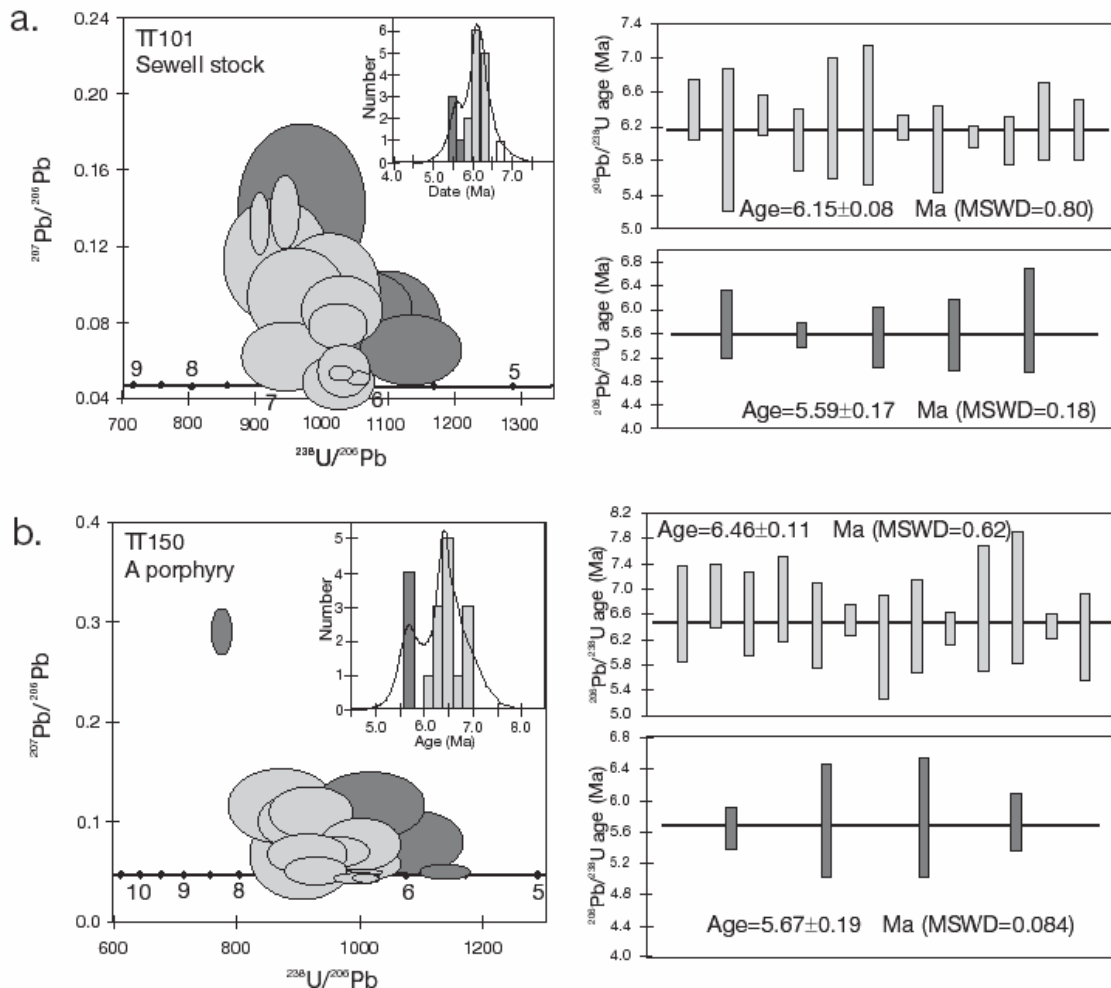


FIG. 2. Tera-Wasserburg concordia plots (Tera and Wasserburg, 1972) and weighted averages plots of SHRIMP U-Pb isotope data for (a) Sewell stock, and (b) A porphyry. Data are shown as 1σ error ellipses; error bars and U-Pb ages are $\pm 2\sigma$. Age distribution histograms shown as insets.

Los autores favorecen la segunda interpretación, ya que es consistente con estudios que indican que metasomatismo por circulación de fluidos calientes pueden resetear parcialmente el sistema U-Pb. Además los bordes de los

zircones datados se ven sobrecrecidos y tienen alto contenido de U y Th, lo que es consistente con efectos de actividad hidrotermal.

Re – Os en Molibdenita (Caso Pórfidos Cupríferos (Mo))

Este método tiene la gracia de datar directamente un mineral de mena. Macsaev et al. ocupan este método en su trabajo en El Teniente ya que la geología es compleja y existen muchos eventos superimpuestos, ocupan las edades de molibdenita para compararlas con edades de cristalización de zircones y edades de silicatos de alteración. Se elige molibdenita de vetillas y brechas hidrotermales escogidas a mano.

La mejor técnica para realizar este análisis es discutida, en el caso de Teniente se identificó variabilidad en edades de la misma muestra, lo que sugiere que los análisis deben llevarse a cabo en microescala (0.001 g) o la muestras deben homogenizarse.

Si bien algunos autores han indicado que el sistema Re-Os puede ser perturbado luego de la depositación, otros proponen que es un sistema extremadamente robusto y que metamorfismo de alto grado, deformación y fluidos hidrotermales no perturban el sistema (Mcandless et al., 1993; Suzuki et al., 2000; Stein et al., 2001; Selby y Creaser 2001, en Macsaev et al., 2004).

En Teniente las edades obtenidas con la molibdenita traslapan edades obtenidas en zircones y en micas, por lo que aparentemente el sistema no fue perturbado por la acción de fluidos a temperaturas mayores de 350°C.

Ar-Ar

El método ^{40}Ar - ^{39}Ar se puede utilizar para datar minerales que contengan K, y de este modo determinar la longevidad de sistemas magmático-hidrotermales. En general se prefieren las micas (biotita y sericita) pero también se puede aplicar a feldespato y anfíboles, ya sean magmáticos o hidrotermales. Para elegir minerales hidrotermales con seguridad, se obtienen desde vetillas cuando es posible.

Si bien, se pueden datar minerales magmáticos (que se encuentren dispersos, gruesos, euhedrales a subhedrales, no asociados a vetillas), la interpretación

de esa edad se debe hacer con cuidado ya que para resetear el sistema Ar-Ar basta con 300°C para las micas, por lo que es deseable compararlas con edades de zircones, ya que posiblemente las micas registren un evento termal posterior ligado a una intrusión más joven o un evento hidrotermal posterior a la cristalización de la mica, incluso cuando éstas se vean muy frescas.

Se recomienda utilizar el método de calentamiento por pasos, para obtener edades plateau. Si bien en algunos casos (por ej. Rio Blanco - Los Bronces según deckart et al.) las edades plateau son concordantes con las edades de gas total e isócronas inversas (excepto casos mayores de exceso o pérdida de Ar), en El Teniente (como se ve en el trabajo de Macsaev et al.) se observa que las edades obtenidas con gas total en roca total y sericita pueden ser mayores al igual que las edades K-Ar que las edades plateau, producto de Ar extraño que se puede alojar en inclusiones fluidas, las que pueden ser abundantes en los minerales hidrotermales. Incluso recomiendan los autores que se debe tener precaución al elegir las muestras de evitar materiales como sulfuros, sulfatos, apatito, cuarzo...que pueden contribuir con Ar extraño.

En el caso de existir muchos eventos sobreimpuestos, posiblemente las micas sólo registren los últimos eventos dado su temperatura de cierre baja para el sistema Ar-Ar, es el caso de El Teniente, donde las dataciones con Re-Os en molibdenita detectan 5 eventos y las micas solo registran los 3 últimos eventos detectados en la molibdenita.

Este es el método más aplicado ya que se puede utilizar en variados minerales, también ha sido utilizado para trabajos geocronológicos en depósitos epitermales, como en la franja El Indio - Pascua donde se han datado por este método minerales magmáticos frescos como biotita, hornblenda y sanidina, y minerales hidrotermales como sericita, illita, biotita y alunita hipógena.

Conclusiones

Son los mismos métodos tradicionales de datación, los que se utilizan para datar eventos termales en yacimientos, la diferencia está en la interpretación de los datos, para lo cual se debe conocer y comprender bien los procesos (sobre todo los hidrotermales) que pueden estar jugando roles importantes en los resultados de las dataciones, así como la geología, para poder relacionar los eventos termales detectados a través de la molibdenita o de las micas de origen hidrotermal a cuerpos intrusivos que los pudieran haber generado, lo que hace imprescindible tener un método fiable para datar edades de cristalización de cuerpos intrusivos alterados y mineralizados.

Si bien muchos trabajos geocronológicos en yacimientos en el último tiempo aplican sólo el método Ar-Ar en reemplazo del método K-Ar (e.g Bissig et al., 2001 y Pollard et al., 2005) en minerales magmáticos e hidrotermales con buenos resultados, son los trabajos que combinan el Ar-Ar con el método U-Pb en zircones y de ser posible Re-Os en molibdenita aquellos más acabados y que descifran mejor la complejidad de los eventos formadores de los depósitos de mena, sobre todo en los pórfidos gigantes, donde la geología es muy compleja.

Referencias

Macksaev V., Munizaga F., McWilliams M., Fanning M., Mathur R., Ruiz J., Zentilli, M. (2004) New Chronology for El Teniente, Chilean Andes, from U-Pb, ^{40}Ar - ^{39}Ar , Re-Os, And Fission Track Dating: Implications for the Evolution of a Supergiant Porphyry Cu-Mo Deposit. Economic Geology special publication 11, pp 0000-0000.

Pollard P. J., Taylor R. G., Peters L. (2005) Ages of Intrusion and Mineralization at the Grasberg Cu-Au Deposit, Papua Indonesia. Economic Geology v. 100, pp. 1005-1020.

Deckart K., Clark A., Aguilar C., Vargas R., Bertens A., Mortensen J., Fanning M. (2005) Magmatic and Hidrotermal Chronology of the Giant Río Blanco Porphyry Copper Deposit, Central Chile: Implications of an Integrated U-Pb and ^{40}Ar - ^{39}Ar Database. Economic Geology v. 100 pp. 905-934.

Bissig T., Lee J. K.W., Clark A. H., Heather K., B. (2001) The Cenozoic History of Volcanism and Hydrothermal Alteration in the Central Andean Flat-Slab Region: New ^{40}Ar - ^{39}Ar Constraints from the El Indio-Pascua Au (-Ag, Cu) Belt, 29°20'-30°30' S. International Geology Review v. 43 p. xxx-xxx.