



# La Unidad de Geología Isotópica de SERNAGEOMIN y su rol en la cuantificación de la cartografía geológica.

Christian Creixell<sup>1</sup>, Felipe Llona<sup>1\*</sup>, Andrew Tomlinson<sup>2</sup>, Adán Ramírez<sup>1</sup>, Adrián Valeria<sup>1</sup>, Loreto Morales<sup>1</sup>, Luis Yañez<sup>1</sup>, Marco Suarez<sup>1</sup>, Ramiro Cortés<sup>1</sup>, César Vásquez<sup>1</sup>, Carla Barra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Laboratorios, Servicio Nacional de Geología y Minería, Tiltill 1993, Ñuñoa, Santiago, Chile.

<sup>2</sup> Departamento de Geología Regional, Servicio Nacional de Geología y Minería, Av. Sta María 0104, Providencia, Santiago, Chile.

\* email: felipe.llona@sernageomin.cl; christian.creixell@sernageomin.cl

**Resumen.** La Unidad de Geología Isotópica, perteneciente al Departamento de Laboratorios de SERNAGEOMIN, ha estado en continuo crecimiento y modernización desde sus inicios a fines de la década de los '70. Actualmente la constituyen nueve profesionales y cuenta con uno de los más completos y modernos equipamientos en el campo de la geocronología de alta precisión y geología isotópica. El equipamiento actual de la unidad lo constituyen un espectrómetro de masas MS 10S y dos líneas de extracción de Argón para dataciones K-Ar, dos espectrómetros de masas de gases nobles equipados con láser de CO<sub>2</sub> (MAP 215-50 y Argus VI de última generación) para dataciones <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar, un equipo de espectrómetro de masas y ablación láser (LA-ICP-MS), tipo sector magnético para realizar dataciones U-Pb in-situ, además de un espectrómetro de masas para isótopos estables capaz de analizar razones de isotópicas de fluidos y sólidos en términos de δD, δ<sup>18</sup>O, δ<sup>13</sup>C y δ<sup>34</sup>S. Las amplias capacidades de la unidad permiten resolver problemas geológicos asociados a determinaciones de edad de eventos intrusivos, volcánicos, metamórficos y de alteración hidrotermal en un amplio espectro de tiempo geológico (Ga – ka), además de reconocer la composición y origen de fluidos asociados a fuentes de aguas superficiales y subterráneas y fluidos de origen geotermal.

**Palabras Claves:** Geología isotópica, espectrómetro de masas, U-Pb, <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar.

## 1 Introducción

Los primeros intentos de realizar análisis geocronológicos en Chile se remontan a la década de los '60, con la adquisición de un espectrómetro de masas para edades Rb-Sr por parte del Instituto de Investigaciones Geológicas. Tras el fracaso de este intento, en el año 1978, se montó en esta misma institución, el actual sistema de dataciones K-Ar, activo hasta el día de hoy, gracias a la colaboración de investigadores brasileños, argentinos y británicos.

En la actualidad, la Unidad de Geología Isotópica de SERNAGEOMIN, cuenta con un espectrómetro de masas para K-Ar, y un sistema de espectrometría de masas para isótopos livianos (O, D, S, C), un espectrómetro de masas MAP 215-50 para <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar, además de los recientemente adquiridos equipos, correspondientes a un espectrómetro de masas multicolector Thermo Argus VI para <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar y

un equipo LA-ICP-MS Thermo modelo ElementXR para realizar dataciones U-Pb. Esta unidad se encarga de asistir analíticamente a los programas de investigación y cartografía geológica de la propia institución, así como realizar estudios isotópicos para empresas de exploración y universidades. Actualmente en esta unidad se desempeñan 9 personas y es liderada por el Dr. Christian Creixell, quien reemplazó al Sr. Carlos Pérez de Arce, tras más de 30 años en la institución.

## 2 Equipamiento analítico de la unidad

### 2.1 Geocronología K-Ar

Este sistema está equipado con dos líneas de extracción de gas Ar radiogénico, las cuales están alineadas con un recientemente adquirido horno de inducción Stanelco, con potencia máxima de 7.5 kW. El Ar extraído de la muestra es purificado a través de dos líneas de extracción de Ar y es analizado en un espectrómetro de masas AEI-MS10S, en que se detecta los contenidos de <sup>40</sup>Ar total en la muestra (<sup>40</sup>Ar radiogénico y <sup>40</sup>Ar atmosférico). La medición del K total de la muestra es analizada en una alícuota equivalente, a través de Fluorescencia de Rayos X en el Laboratorio Químico de SERNAGEOMIN.

Las capacidades de este equipo permiten analizar concentrados de minerales que contienen K, tales como biotita, anfíbola, sericita, muscovita, plagioclasa, jarosita, alunita, adularia, glauconita, celadonita, además de concentrados de roca total y masa fundamental. Este amplio rango de minerales utilizables, hace de este método una herramienta muy útil en la datación de eventos de alteración hidrotermal. Dado que no necesita irradiar las muestras en un reactor nuclear, se pueden analizar minerales con granulometría tan fina como 100 mallas.

### 2.2 Geocronología Ar-Ar

Actualmente se cuenta con dos equipos de geocronología <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar, instalados el año 1998 y 2013. El más antiguo de ellos corresponde a un espectrómetro de masas de gases nobles MAP 215-50, acoplado a un sistema de láser de CO<sub>2</sub> para fundir muestras, que alcanza una potencia máxima de 30 Watt (Pérez de Arce *et al.*, 2003). Este

equipo es de alta precisión y permite medir muestras con precisión de hasta 10.000 años, ya sea por calentamiento por pasos (“step-heating”) o por fusión total. La ventaja de este método respecto a K-Ar, es que los contenidos de los diferentes isótopos de Ar (40, 39, 38, 37, 36) son medidos directamente en un único equipo, a través del espectrómetro con un detector Faraday y un multiplicador de electrones de alta precisión.

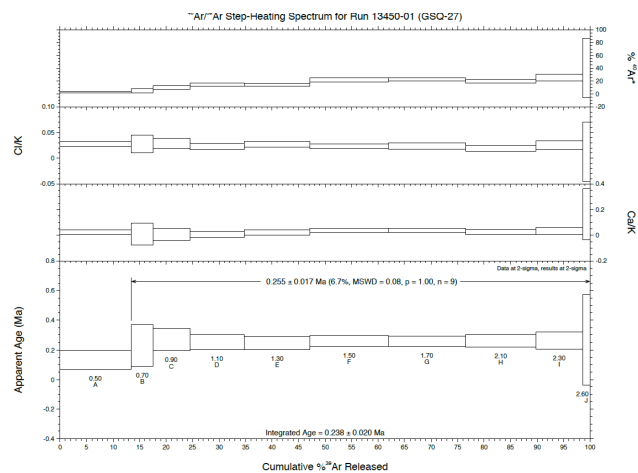
El nuevo equipo de geocronología  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  corresponde a un espectrómetro de masas de gases nobles Argus VI, que entre sus características más relevantes, es un equipo multicolector, en que en su óptima configuración, puede medir simultáneamente los contenidos de isótopos de  $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ ,  $^{38}\text{Ar}$  y  $^{37}\text{Ar}$  a través de copas Faraday y medir con mayor precisión el contenido de  $^{36}\text{Ar}$  a través de recuento de iones. Estas características se traducen en una mayor capacidad del espectrómetro Argus VI en medir muestras con bajo contenido de Ar (p.e. muestras < 1 Ma) y necesidad de una menor cantidad de muestra por análisis, respecto al espectrómetro MAP 215-50. El espectrómetro Argus VI está equipado con un láser de  $\text{CO}_2$  Photon Machines, que alcanza hasta 40 Watt de potencia, además de bombas de vacío y 3 getter para purificación de la línea de extracción de gas. Como muestras estándar se están utilizando la sanidina Fish Canyon (28,01 Ma, Renne *et al.*, 1998) y sanidina Alder Creek (1,18 Ma, Phillips y Matchan, 2013).

Dentro de las aplicaciones geológicas de ambos espectrómetros, se pueden analizar gran parte de los minerales que contienen K, por ejemplo, biotita, anfíbola, plagioclasa, sericita, muscovita, alunita, adularia, sanidina, jarosita y ocasionalmente piroxeno, además de concentrados de masa fundamental. Este amplia variedad de minerales permite la aplicación del método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  para conocer, especialmente en el caso del Argus VI, con precisión del orden de 10 ka (Fig. 1), la edad de eventos volcánicos, de alteración hidrotermal (hipógena y supérgena), eventos metamórficos y edades de enfriamiento de rocas plutónicas y metamórficas (250°-550° C). Pruebas de datación utilizando ambos espectrómetros sobre el estándar de roca total BB-24 (Wang *et al.*, 2008), han entregado edades que reflejan que la capacidad del espectrómetro Argus VI en obtener edades con errores porcentualmente menores que MAP 215-50. De todas maneras, en ambos equipos se detecta un comportamiento poco homogéneo para esta muestra, tal como fue señalado por Wang *et al.* (2008).

### 2.3 Geocronología U-Pb

La separación y detección de minerales pesados (principalmente circón) se realiza mediante métodos tradicionales (mesa Gemini, separador magnético, líquidos densos) y especialmente mediante observación con lámpara UV (Suarez *et al.*, este congreso). A las muestras montadas sobre briquetas se les realiza estudio textural mediante imágenes de Catodoluminiscencia obtenidas en un microscopio electrónico de barrido Zeiss EVO MA-10 dotado de un detector de catodoluminiscencia Gatan

ChromaCL UV.



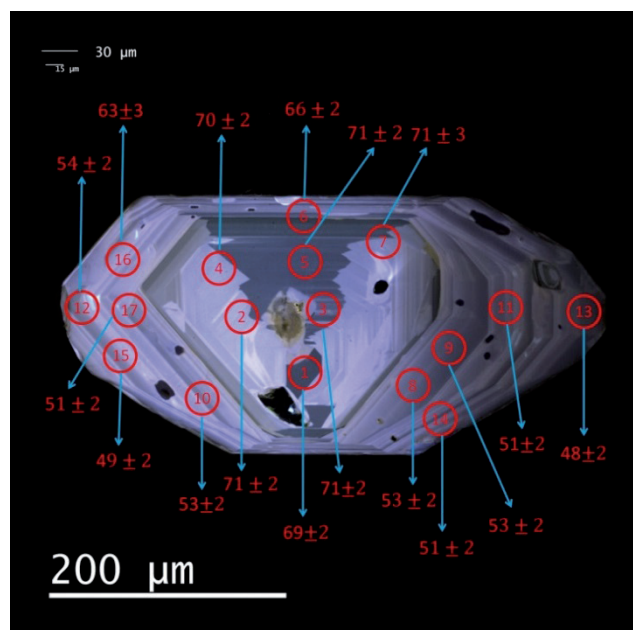
**Figura 1.** Espectro de desgasificación a través de calentamiento por pasos (“step-heating”) realizado con espectrómetro Argus VI, para una muestra de biotita, proveniente de cenizas volcánicas pleistocenas.

El análisis geocronológico se realiza mediante un espectrómetro de masas Thermo Fischer ElementXR, tipo sector magnético, con doble enfoque, equipado con un sistema de ablación in situ con láser excimer, marca PhotonMachines, modelo AnalyteG2 (LA-ICP-MS), y se analizan entre 30 y 120 puntos por muestra dependiendo del tipo de roca y objetivos de estudio. En los análisis se utiliza como estándar primario la muestra GJ1, y como estándares secundarios MudTank y Plesovice.

El método geocronológico LA-ICP-MS tiene una amplia gama de aplicaciones geológicas, a través de la datación de eventos intrusivos, volcánicos, metamórficos, cuerpos mineralizados y a través de la datación de circones detríticos en rocas sedimentarias y metasedimentarias (Fig. 2).

### 2.4 Laboratorio de Isótopos estables

El análisis de isótopos estables se realiza en forma de moléculas gaseosas como  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  o  $\text{SO}_2$  que son introducidas en el espectrómetro de masas. Para realizar el análisis isotópico de estas moléculas, se utiliza un espectrómetro de masas Isoprime, que permite conocer la composición isotópica de  $\text{O}_2$ , Deuterio, Carbono, Nitrógeno y Azufre. La composición isotópica se realiza en base a un gas de referencia, a través de un flujo de He que moviliza la muestra. Los equipos periféricos asociados al espectrómetro Isoprime corresponden a un equipo Isoprime Multiflow, con autosample, para realizar equilibrio de gases en agua y carbonatos, mediante columna cromatográfica. Este equipo permite analizar composición de  $\text{H}_2$  ( $\delta\text{D}$ ) y  $\text{CO}_2$  ( $\delta^{18}\text{O}$ ) en gases equilibrados en agua,  $\text{CO}_2$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y  $\text{CO}_2$  ( $\delta^{18}\text{O}$ ) en carbonatos sólidos y  $\text{CO}_2$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ) en Carbono inorgánico disuelto.



**Figura 2.** Múltiples determinaciones de edades U-Pb (LA-ICPMS) en muestra de circón, cuyo núcleo heredado tiene una edad media ponderada de  $70,5 \pm 0,5$  Ma y la corona una edad media ponderada de  $52,0 \pm 1,0$  Ma.

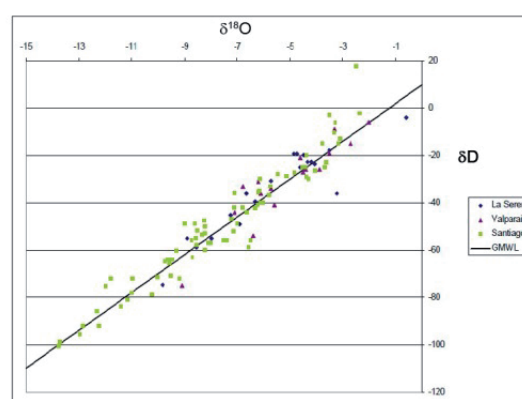
Por otra parte, el Analizador Elemental, vario PYRO, de marca ELEMENTAR, está equipado con un horno de alta temperatura, un reactor de oxidación para medición en línea de razones isotópicas de carbono, nitrógeno y azufre. Este equipo periférico permite también medir composición isotópica de  $H_2$  ( $\delta D$ ) y  $CO_2$  ( $\delta^{18}O$ ) en muestras líquidas (Fig. 3), además de  $N_2$  ( $\delta^{15}N$ ) y  $CO_2$  ( $\delta^{18}O$ ) en gases. Otros periféricos del equipo corresponden a Isoprime trace Gas, que corresponde a un pre- concentrador de gases de  $N_2O$ ,  $CH_4$  y  $CO_2$  en aire. El Dual Inlet, proporciona doble entrada de flujos viscosos de la muestra y el gas de referencia al IRMS, en términos de  $CO_2$  ( $\delta^{13}C$ ) y  $CO_2$  ( $\delta^{18}O$ ).

Este espectrómetro de isótopos estables tiene una amplia gama de aplicaciones, especialmente para conocer la composición isotópica de fluidos acuosos subterráneos y superficiales (Fig. 3), fluidos de origen geotérmico y además en el análisis de carbonatos sólidos, extiende su aplicabilidad en el estudio de zonas de alteración con carbonatos y estudios paleoambientales.

### 3 Perspectivas futuras y comentarios finales

La Unidad de Geología Isotópica de SERNAGEOMIN tiene una larga trayectoria de servicios analíticos, con usuarios internos en cartografía geológica regional,

metalogénesis y estudios de complejos volcánicos neógenos, además de usuarios externos de diversas empresas, fundamentalmente del área de la exploración geológica de yacimientos minerales. El constante crecimiento de esta unidad, la actualización de su equipamiento, además de la experiencia de su personal, permite perfilarla como una de las más modernas de Latinoamérica en el campo de la geocronología y la isotopía aplicada a la geología en general, tanto en materia de servicios como de investigación.



**Figura 3.** Ejemplo de resultados de isótopos estables ( $\delta D$  y  $\delta^{18}O$ ) en muestras de agua líquida analizadas en espectrómetro IRMS Isoprime de SERNAGEOMIN (Figura gentileza de Mariana Cervetto).

### Referencias

- Pérez de Arce, C.; Matthews, S.; Klein, J. 2003. Geochronology by the  $^{40}Ar/^{39}Ar$  method at the SERNAGEOMIN Laboratory, Santiago, Chile. In International Conference on Research Reactor Utilization, Safety, Decommissioning Fuel and Waste Management, Santiago, Chile IAEA-CN-100/50.
- Phillips, D.; Matchan, E.L. 2013. Ultra-high precision  $^{40}Ar/^{39}Ar$  ages for Fish Canyon Tuff and Alder Creek Rhyolite sanidine: new dating standards required?. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 121: 229-239.
- Renne, P.R.; Swisher, C.C.; Deino, A.L.; Karner, D.B.; Owens, T.L.; DePaolo, D.J. 1998. Intercalibration of standards, absolute ages and uncertainties in  $^{40}Ar/^{39}Ar$  dating. *Chemical Geology* 145: 117-152.
- Suárez, M.; Ramírez, C.; Cortés, R.; Llona, F.; Creixell, C.; Ramírez, A.; Vásquez. 2015. Desarrollo de una nueva técnica de separación de circones mediante la incorporación de fluorescencia en estudios de datación U-Pb. Este congreso.
- Wang, F., Zhu, R-X.; Yang, L-K.; He, H-Y.; Lo, C-H. 2008. 1998.  $^{40}Ar/^{39}Ar$  analyses on Quaternary K-Ar standard BB-24: Evaluations. *International Journal of Mass Spectrometry* 270: 16-22