

Huellas digitales ambientales: isótopos del oxígeno

Palabras clave: indicadores ambientales-isótopos del oxígeno-agua.
Keywords: environmental indicators-oxygen isotopes-water.

A partir de la tecnología desarrollada durante la segunda guerra mundial, y el interés de los científicos por la obtención de nuevas formas de «energía destructiva», tuvo lugar el desarrollo de equipamiento capaz de analizar a los átomos por sus masas. A partir de aquel entonces, dichos equipos –espectrómetros de masas- han tenido importantes mejoras en la electrónica, su sensibilidad y precisión, sin haber variado sustancialmente en los aspectos físicos. A través de los isótopos es mucha la información que se puede obtener, desde edades radiométricas con isótopos radiactivos (Uranio, Thorio, Plomo, Rubidio, Potasio, etc.) presentes en diferentes materiales naturales, como así también alcanzar el conocimiento de variables ambientales con el uso de isótopos estables (Oxígeno –tema del presente artículo-, Carbono, Nitrógeno, Deuterio, etc.). El análisis por oxígeno de diferentes materiales permite reconocer el origen de una lluvia, el área de aporte de un acuífero, con lo cual es posible tener una idea de cual es la recarga del mismo, y de esta forma sus posibilidades de explotación, condiciones paleoambientales sobre rocas sedimentarias, como así también saber si un vino se encuentra «bautizado».

■ Claudio A. Parica

Profesor Geología Ambiental.
Universidad Nacional de General San Martín. CONICET
cparica@unsam.edu.ar

Ante todo es necesario introducirse en el concepto de isótopo, el cual lo definiremos de la siguiente manera:

«Un isótopo es una forma de un elemento químico cuyo núcleo atómico contiene un número específico de neutrones, además del número de protones que son los que definen el elemento. Los núcleos de la mayoría de los átomos contienen a los neutrones así como los protones. (Una excepción es la forma común de hidrógeno cuyo núcleo consiste en un solo protón.) Cada elemento químico tiene más de un isótopo. Para cualquier elemento, uno de los isótopos es más abundante en la naturaleza que cualquiera de los otros.»

Los isótopos pueden dividirse en dos grupos, *estables* e *inestables* o *radiactivos*. A los fines de este artículo, solamente nos dedicaremos a los isótopos estables, en particular a los denominados ambientales, y de ellos a los isótopos del oxígeno.

Los análisis isotópicos ambientales más frecuentes en la naturaleza son los que comprenden al oxígeno y al carbono. El desarrollo de las técnicas isotópicas tuvo lugar principalmente a partir de la segunda guerra mundial, tiempos en los que se desarrollaron los

primeros espectrómetros de masas. A partir de ese momento constituyen una de las principales herramientas en la geología y la hidrología entre varias líneas de investigación.

El principio en el que se basan los estudios isotópicos se lo denomina *fraccionamiento isotópico*. Que no es ni más ni menos que la respuesta de un isótopo con una masa determinada frente a un fenómeno físico. Es tan simple de entender como que aquello que es más pesado requiere de más fuerza para ser movilizado. Los efectos cinéticos son los responsables del fraccionamiento isotópico. Por ejemplo, en una fase gaseosa las moléculas que contienen un isótopo liviano se mueven más rápidamente que aquellas con un isótopo más pesado. Las velocidades de traslación de las moléculas gaseosas son inversamente proporcionales a la raíz cuadrada del promedio de los pesos moleculares. Por ejemplo, se puede describir para el CO_2 :

$$\frac{\text{velocidad}({}^{12}\text{C}{}^{16}\text{O}{}^{16}\text{O})}{\text{velocidad}({}^{13}\text{C}{}^{16}\text{O}{}^{16}\text{O})} = \sqrt{45/4} = 1.011$$

Esto significa que la velocidad del CO_2 de masa 44 es 1.1% mayor que el CO_2 de masa 45. Tal velocidad diferencia la separación isotópica durante la difusión.

■ EL OXÍGENO

El oxígeno es el elemento más abundante en la tierra. Aparece en compuestos gaseosos, líquidos y sólidos, la mayoría de los cuales son térmicamente estables en un amplio rango de temperaturas. Estos hechos, hacen que el oxígeno sea uno de los elementos más interesantes en la geoquímica isotópica.

El oxígeno tiene tres isótopos estables con las siguientes abundancias:

$$\begin{aligned} 16\text{-O} &= 99.763\% \\ 17\text{-O} &= 0.0375\% \\ 18\text{-O} &= 0.1995\% \end{aligned}$$

A los efectos de las mediciones relativas, la relación más apropiada, tanto por las abundancias como por la diferencia de masas es la relación ${}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}$ (Panarello y Parica, 1984).

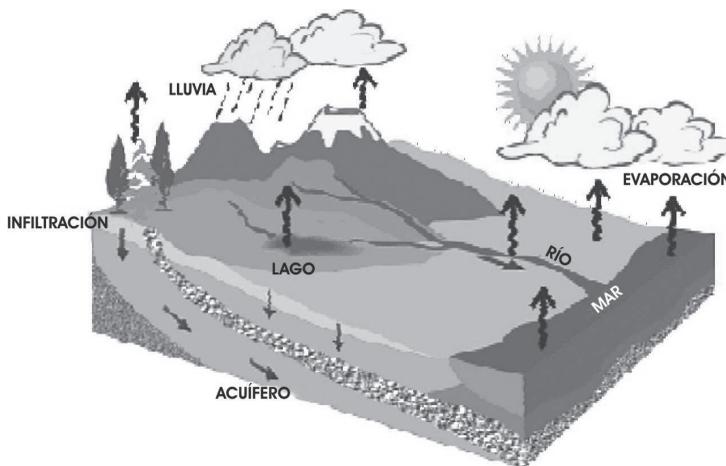


Figura 1: Esquema simplificado del ciclo hidrológico

■ EL CICLO DEL AGUA

Ya en la Biblia se esboza el concepto de lo que es el ciclo hidrológico: «*Todos los ríos van al mar y este nunca se llena...*».

Así viaja el agua en el ambiente:

- Todo comienza, en el mar. La superficie del mar queda expuesta a la acción de los rayos del sol, evaporándose en la atmósfera, siendo aquí donde las gotas de agua toman otra forma natural que es el cambio físico de líquido a vapor.
- El ascenso será constante y con apoyo del viento, el vapor alcanza algunos kilómetros más arriba, donde sufre la pérdida de calor que lo detiene hasta formar otra vez gotas de agua o pequeños cristales de hielo, aquí el vapor ayudado con la baja temperatura se convierte nuevamente en agua.
- Millones de gotas o cristales darán origen, poco a poco, a las nubes suspendidas en el aire hasta que nuevos descensos de la temperatura multipliquen la unión de las gotas o cristales de hielo y provoquen así su caída en forma de lluvia.
- El agua en forma de nieve puede caer en las zonas elevadas de las montañas, y en forma de lluvia en las zonas más bajas, en la ciudad, en los ríos y en el mar, pero es hasta que llegue a su lugar de origen donde completa el ciclo hidrológico para iniciarlo nuevamente.

¿Qué pasa si las gotas de agua en forma de nieve caen en alguna montaña?

Es solo un capítulo de su historia, porque pasará a formar parte de las aguas dulces o continentales. El propio peso de la nieve hará que esta descienda resbalando las laderas, o quizá después lo haga en época de deshielo, hasta desembocar en un río y a través de éste llegar al mar.

¿Qué pasa si las gotas de agua en forma lluvia caen en el mar?

El viaje de las gotas de agua por el ambiente es más corto, porque el agua cae directamente en el lugar donde termina y comienza otra vez el Ciclo Hidrológico.

¿Existen otros caminos para las gotas de agua?

Por ejemplo en la tierra, su filtración en un terreno y su integración en los caudales de agua subterránea, donde permanecerá por muchos años y será aprovechada por las plantas y animales. En el caso de que las gotas de agua vayan a parar en las raíces de una planta puede ser aprovechada y con la ayuda de la energía solar se obtiene el oxígeno y el bióxido de carbono y dentro de su proceso de transformación se libera el agua en forma de vapor, tanto por la respiración de la planta como por la fotosíntesis.

¿El ciclo del agua puede ser modificado por el hombre?

Los grupos humanos intentan adaptar o modificar en lo posible algunas de las etapas del ciclo hidrológico para

hacerlo más útil a sus necesidades. Los inventos para acelerar las lluvias, la desalinización del agua de mar para hacerla potable o la construcción de presas y embalses para controlar el flujo de los ríos son otros ejemplos de la injerencia humana en el ciclo natural del agua.

Otra importante alteración al ciclo del agua es aquella que se produce por la deforestación de grandes extensiones de bosques y zonas selváticas. Ya el agua que originalmente era consumida por las plantas en su ciclo de vida, pasa a circular libremente por la superficie en algunos casos, se producen sustanciales erosiones del terreno, en otros se elevan las cotas de los niveles freáticos e inundaciones, o bien el fenómeno opuesto, como es la sequía, sobre todo en ambientes con suelos muy impermeables, donde la humedad que las plantas aportaban a la atmósfera al extraer agua del nivel freático dejan de hacerlo. La deforestación asimismo contribuye en alguna medida al conocido efecto invernadero, aunque debe tenerse en cuenta que son los océanos, a través de la actividad del plancton los principales reguladores a escala global del contenido de CO₂ en la atmósfera.

El desarrollo de la industria y la urbanización tienen un mayor consumo de agua. La urbanización crea una situación que interrumpe la infiltración normal del agua en el terreno, provoca el deslizamiento de la misma, agiliza los procesos normales de erosión, y la aceleración del ciclo hidrológico. Todo

esto ocasiona que se reduzcan las posibilidades de que el agua continúe su ciclo y que en forma de vapor se integre a las nubes.

El agua de lluvia va directamente a los drenajes y desemboca en los ríos en grandes cantidades. Este tipo de agua, al no tener oportunidad de ser tratada, se contamina.

El oxígeno en el ciclo hidrológico funciona como un «trazador natural», por lo tanto resulta además de «infinito», barato y no contaminante.

Las moléculas de agua están constituidas por hidrógeno¹ y oxígeno, con sus diferentes masas, originando moléculas de diferentes masas también, que son presentadas en la tabla I.

El fenómeno de fraccionamiento isotópico se produce tanto a través de la evaporación como de la condensación. La composición isotópica del agua es producto de estos fenómenos y se encuentra directamente relacionada con la temperatura.

A los efectos de definir la composición isotópica del agua se pueden establecer los siguientes fenómenos:

1. de evaporación:

El agua es evaporada de la superficie del mar con un empobrecimiento promedio del 9‰ en 18-O para conformar una nube.

- **Efecto latitud.**

De acuerdo a la latitud en la que se produce la evaporación, la composición isotópica del vapor será diferente. A latitudes menores (próximas

al Ecuador), el vapor de agua será más pesada que una región polar.

- **Efecto estacional.**

De acuerdo a la estación del año en la que se produce la evaporación, la composición isotópica del vapor será diferente. A mayor temperatura (verano), el vapor que forma una nube será más pesado isotópicamente que una nube formada en épocas invernales.

2. de condensación:

- **Efecto continental.**

A medida que una nube avanza en el continente y descarga sucesivas lluvias, en las primeras la tendencia siempre es a que descargue las moléculas más pesadas, por eso a medida que las lluvias se producen hacia «tierra adentro», serán más livianas isotópicamente.

- **Efecto altitud.**

De forma similar al caso anterior, en las lluvias que se producen en las zonas más bajas de regiones montañosas, serán más ricas en oxígeno 18 que en aquellas que se producen en zonas más altas.

Cada ambiente, de acuerdo a las lluvias, tendrá una composición isotópica característica, que de acuerdo a su dinámica, dejará su impronta en el ambiente y en el agua subterránea. Así se podrán analizar cuales son las fuentes de recarga de un acuífero, y sus potenciales volúmenes de extracción de acuerdo a la recarga. Asimismo se debe tener en cuenta que los organismos que habitan y los sedimentos en un determinado ambiente también guardan esa composición isotópica en «su composición». De allí, que el análisis de la relación 18-O/16-O, constituye un excelente paleotermómetro.

Los organismos de una determinada zona, como así también las rocas sedimentarias que allí tengan su origen guardarán la información isotópica como una huella digital imborrable y característica.

Anecdóticamente es posible saber gracias a los isótopos del Oxígeno si

O→ H-H↓	16	17	18
1-1	18	19	20
2-2	20	21	22
3-3	22	23	24
2-1	19	20	21
3-1	20	21	22
3-2	21	22	23

Tabla I. Composiciones isotópicas del agua y sus respectivas masas.

¹ El hidrógeno posee tres isótopos, el Propio, de masa 1, el Deuterio, masa 2, y el Tritio, masa 3. En la tabla se expresa el hidrógeno con H, pero en la columna respectiva se detallan las masas correspondientes.

un vino ha sido «bautizado» fuera de su lugar de origen. Un vino producido en San Juan, Mendoza, Catamarca, Río Negro, La Rioja o Salta, tiene su huella isotópica particular, que será muy distinta a la del «vino» que se pueda producir en Buenos Aires o más bien al agua que se le pueda agregar. De hecho, el Instituto Nacional de Vitivinicultura ha reconocido, a través de la Resolución C. 24/2003 al método de análisis de los isótopos del oxígeno como un instrumento válido para establecer si el vino tiene algún tipo de adulteración con agua.

Un ejemplo con una muestra de vino en el que se verifica la adulteración con agua (se define el δ18-O, más adelante, en Hablando el mismo idioma):

Vino sin adulteración: δ18-O= 6,6245 ‰.
 Agua de adulteración: δ18-O= -8,22 ‰.
 Vino + 20 % de agua: δ18-O= 3,59 ‰
 Vino + 5 % de agua: δ18-O= 6,02 ‰
 Vino + 10 % de agua: δ18-O= 5,19 ‰

Otros productos, también pueden ser analizados a través de análisis isotópicos aunque en estos casos por cuestiones analíticas se utilizan isótopos estables del Carbono (que será tema de otra entrega) es factible determinar si una miel ha sido adulterada con melaza. Las mieles legítimas, producto de la actividad de las abejas registran valores de δ13-C entre -24 y -28 ‰, en tanto que las adulteradas con melaza tienen valores de -23 hasta -11 ‰.

■ LOS ISÓTOPOS DEL OXÍGENO Y LA CONTAMINACIÓN

En muchas oportunidades, con el fin de conocer el origen de una contaminación, se introducían trazadores radiactivos, o bien colorantes en un sistema natural, con el fin de «rastrear la contaminación». Actualmente, si bien estas técnicas se siguen utilizando, son de por sí también contaminantes, además de costosas.

Actualmente, las técnicas de análisis isotópico permiten el reconocimiento de fugas en diques, puesto que el espejo de agua de un dique en un sistema, sujeto a evaporación, con la consecuente variación en la relación 18-O/16-O. El agua de un dique, por evaporación aparecerá enriquecida en 18-Oxígeno respecto de la del entorno, y más aún del agua subterránea.

Un dique en sí resulta en un «caldo de cultivo» de bacterias y microorganismos, esto sin contar desechos que muchas veces son arrojados a estos espejos de agua. Al presentar pérdidas, contaminan el sistema hidrogeológico. De allí que al encontrar acuíferos contaminados, a través de los isótopos del oxígeno, puede efectuarse un seguimiento de la contaminación por las diferencias en las composiciones isotópicas.

■ HABLANDO EL MISMO IDIOMA LOS PATRONES DE MEDICIÓN

Quando se analizan isótopos estables, jamás se expresan sus concentraciones en valores absolutos, sino que se expresan en relaciones isotópicas, si bien no es que no se pueda hacer, de hecho se podría, pero resulta que de los análisis efectuados en un espectrómetro de masas se obtienen relaciones de un isótopo respecto de otro, las que a su vez son expresadas respecto de un lenguaje común, y esto es un patrón internacional. En el caso del Oxígeno, este se expresa en su gran mayoría respecto del agua de mar, patrón conocido como V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water). El agua de mar resulta un patrón prácticamente infinito, y es la Agencia Internacional de Energía Atómica con sede en Viena

la encargada de la distribución del patrón a nivel mundial. A su vez, cada laboratorio cuenta con patrones propios económicos y de fácil recolección, que son contrastados periódicamente versus el V-SMOW.

$$\delta O^{18} = \frac{(O^{18}/O^{16})_{muestra} - (O^{18}/O^{16})_{patrón}}{(O^{18}/O^{16})_{patrón}} \times 1000$$

Los análisis de Oxígeno en carbonatos por lo general son expresados versus otro patrón conocido con el nombre de PDB, (Pee Dee Belemnite), que es la comparación de un belemnite de edad cretácica de la Formación Pee Dee en el estado de Colorado, Estados Unidos. Este patrón está agotado, pero su conversión desde el V-SMOW es simple:

$$\delta O^{18} PDB = \frac{\delta O^{18} SMOW - 30,4}{1,03}$$

Igualmente, en tanto y en cuanto se exprese el resultado de un análisis, no hay inconvenientes respecto de tal o cual patrón internacional se encuentren los resultados.

En figura 2 se presentan los rangos de los δO18 SMOW en diferentes materiales en la naturaleza tomado de Hoefs, 1986.

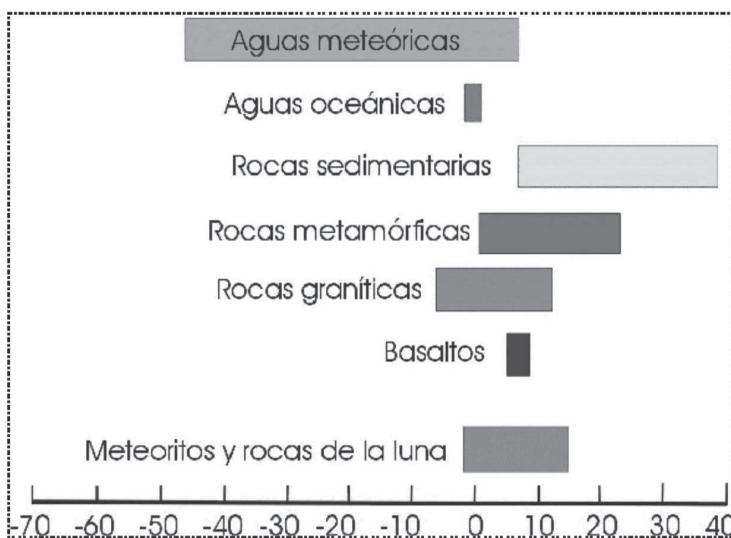


Figura 2: valores de δ 18 O expresados ‰ en distintos materiales naturales².

² Aguas meteóricas comprenden aquellas provenientes de las precipitaciones bajo forma líquida o nívea.

■ LOS ISÓTOPOS ESTABLES Y EL TIEMPO GEOLÓGICO

Tal lo expresado anteriormente, tanto las rocas como los organismos guardan la memoria isotópica, lo mismo ocurre con los glaciares, donde los niveles de hielo guardan el registro isotópico del agua que los conforma. Así, se puede reconstruir la estratigrafía isotópica, que además, de brindarnos la información ambiental, en algunos casos, al igual que los anillos de crecimiento de los árboles, o los varves³ de los fondos de los lagos, permiten ser utilizados para la medición del tiempo.

Un ejemplo del registro de las variaciones isotópicas en relación a las variaciones climáticas ha sido obtenido de los testigos del Domo Taylor, ubicado

sobre los Montes Transantárticos. Los últimos 150.000 años están registrados en esta gran acumulación de hielo, con temperaturas que oscilan entre los -40° C y los -52° C.

Otros ejemplos de las variaciones climáticas en la historia de nuestra Tierra.

La Antártida, tal como la conocemos actualmente dista mucho de ser la misma que fue para tiempos mesozoicos. Un caso estudiado sobre el paleoambiente fue realizado en la península Byers, en la isla Livingston (islas Shetland del Sur) por Cabaleri *et al.* (1996). Allí, existen registros de sedimentos jurásico-cretácicos (130-65 millones de años), portadores de amonites mal

conservados. Hacia el cretácico medio (110-90 millones de años) se implanta un régimen netamente continental, cuyos representantes son sedimentos portadores de plantas y una intensa actividad volcánica. Las rocas sedimentarias son representantes de un ambiente con ríos y lagos o lagunas con un régimen climático estacional. De las rocas sedimentarias, aquellas que contienen material carbonático han permitido establecer el régimen de temperaturas imperantes para ese ambiente en tiempos cretácico terciarios (65 millones de años), basado en el análisis de $\delta^{18}O$. Los resultados obtenidos permitieron interpretar un rango de temperaturas que oscilaba entre los 16° y los 24° C, datos coherentes asimismo

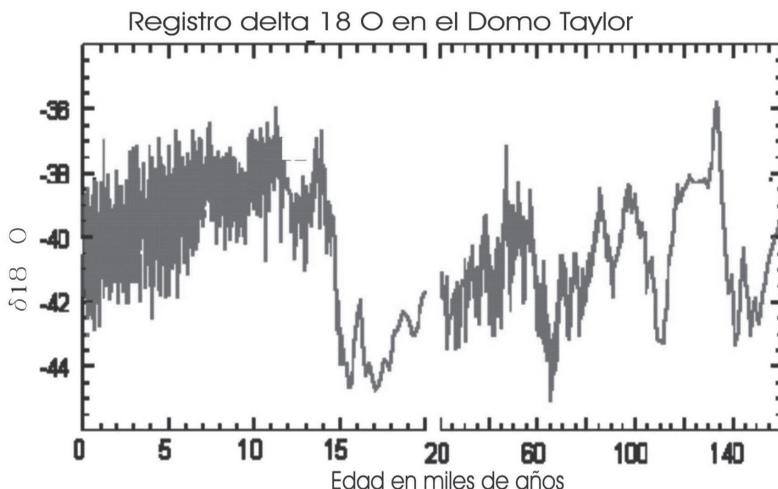


Figura 3: variación del Oxígeno 18 en perfiles de hielo en el Domo Taylor, Antártida (Steig *et al.*, 1999)

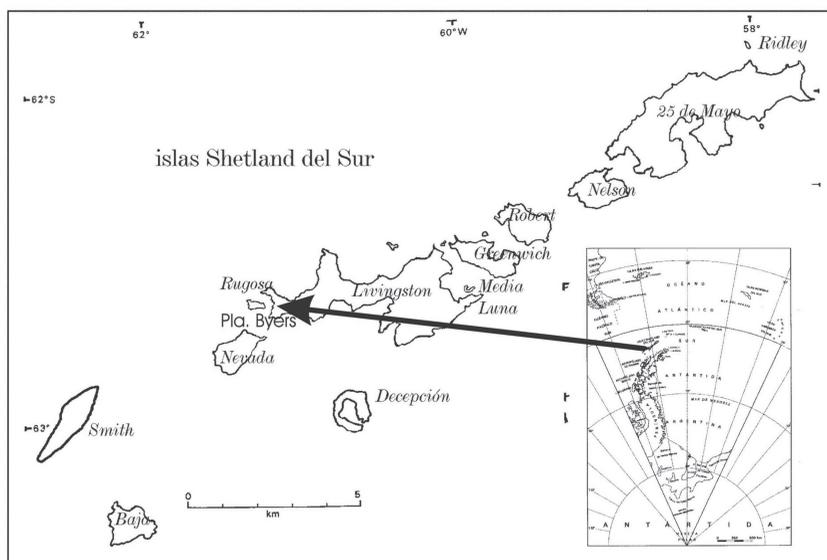


Figura 4.: Mapa de ubicación de la península Byers, islas Shetland del Sur, Antártida

³ Se definen los varves como las delgadas capas de sedimentación en los fondos de los lagos, que por lo general pueden encontrarse en pares por año, reflejando períodos estacionales del ambiente.

con la presencia de una importante flora y con un régimen climático caracterizado por lluvias estacionales.

¿Qué ocurre en los glaciares y el mar con los cambios climáticos?

Como se expresó anteriormente, los océanos son el principio y el fin del ciclo hidrológico. También, en promedio la composición promedio de las nubes evaporadas del agua de mar, se encuentran empobrecidas en 18-O en un 9 %. Ahora bien, en épocas frías, como por ejemplo en las glaciaciones, el agua de precipitación se encuentra empobrecida en 18-O, quedando este isótopo pesado en los océanos, y la evaporación se encontrará enriquecida en el 16-O, por lo tanto, los mares tendrán una relación 18/16 más elevada que para tiempos más cálidos.

Hablado en zonas más templadas

Panarello y Parica (1984) presentan los primeros estudios isotópicos para nuestro país, donde se muestra la correlación lineal existente entre la composición isotópica del agua de lluvia de Buenos Aires (en dos estaciones, San Andrés y Ciudad Universitaria) respecto de promedios de temperaturas anuales. Los promedios de temperaturas mensuales corresponden al período 1978-1981.

Las variaciones de que se observan para los distintos δO^{18} en las precipitaciones representan los valores de las temperaturas de evaporación del agua. De allí la dispersión respecto de la temperatura durante la precipitación.

Como se miden los isótopos

El equipamiento con el que se miden tanto los isótopos del Oxígeno

como así también los de cualquier otro elemento son los espectrómetros de masas.

Acompañando el desarrollo nuclear de los años 30 y 40 comienza el perfeccionamiento de estosequipos. Los que, más allá de las mejoras electrónicas, el principio básico se ha mantenido desde aquel entonces.

El principio básico de la espectrometría de masas es la de generar un haz de iones⁴ dentro de un tubo en condiciones de ultra alto vacío (10^{-8} atmósferas o menor aún). Este haz de iones es acelerado en una fuente iónica, que al pasar por un campo electromagnético, es desviado más o menos de acuerdo a la masa. En el extremo opuesto del tubo, se encuentra un colector que registra cuanto se ha desviado un haz y con que intensidad este llega. De acuerdo a cuanto se desvía el haz se establece la masa y de acuerdo

	δO^{18}	T° media
Enero	-3.1	24.1
Febrero	-2.9	23.0
Marzo	-6.1	21.3
Abril	-6.2	16.4
Mayo	-5.2	13.6
Junio	-6.9	10.3
Julio	-3.5	10.7
Agosto	-3.5	11.8
Septiembre	-2.1	13.8
Octubre	-1.7	16.3
Noviembre	-1.3	19.9
Diciembre	-2.7	22.2

Tabla 1: valores de temperaturas medias anuales y delta 18-O.

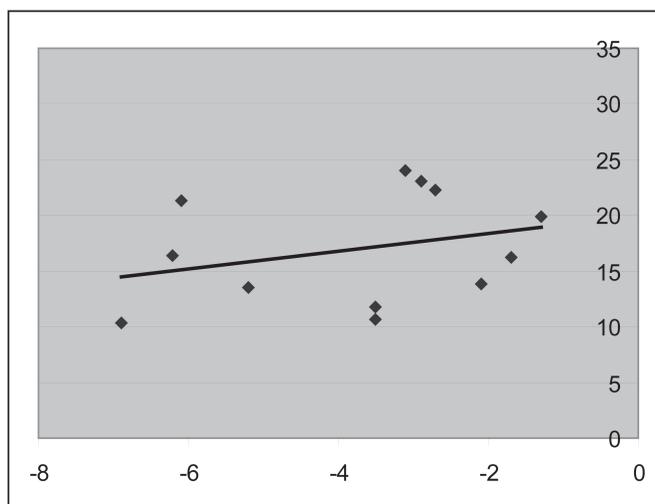


Figura. 5: gráfico de correlación entre temperaturas y delta 18 O

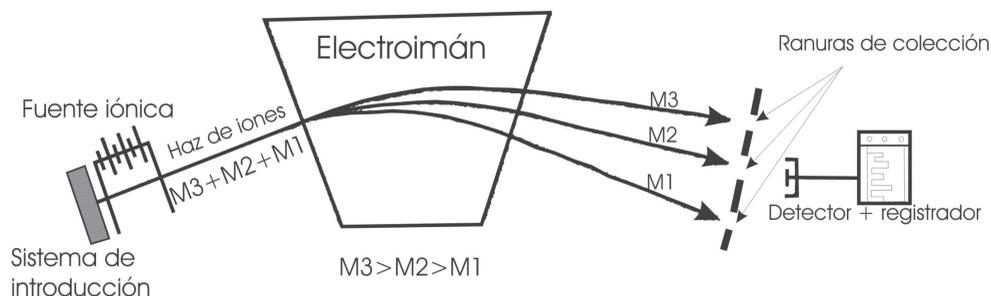


Figura 6: Esquema simplificado de un espectrómetro de masas

⁴ Un átomo que tiene una carga eléctrica se llama un ión. Puede haber obtenido esta carga por perder electrones—en cuyo caso la carga es positiva—o por capturar algunos electrones extra, haciendo la carga negativa. El proceso de convertir un átomo en un ión se llama ionización, de aquí el término «energía de ionización».

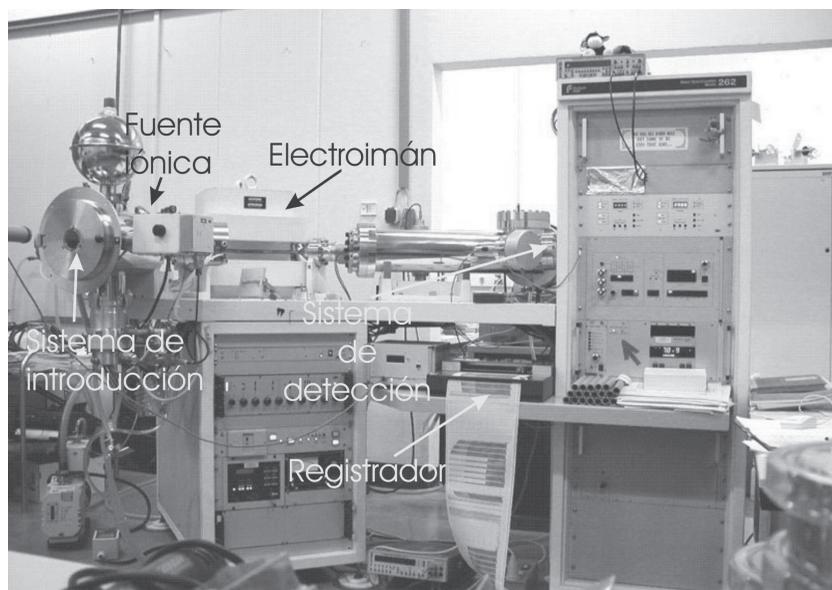


Figura 7: espectrómetro Finnigan Mat 262 y resumen de sus componentes.

a la intensidad se establece cuanto hay de esa masa.

Los equipos más viejos contaban con electrónica valvular, y el proceso de análisis estadístico se llevaba a cabo midiendo con regla las intensidades de los diferentes picos correspondientes a cada masa sobre el papel del registrador. Con el tiempo, y el avance tecnológico, existieron equipos híbridos (valvular+transistorizado) hasta los más recientes que se encuentran totalmente automatizados y controlados por una simple computadora de uso común.

CONCLUSIONES

Las aplicaciones isotópicas han tenido comienzo con el desarrollo nuclear, en particular durante la Segunda Guerra Mundial, es en esos tiempos que tiene lugar el diseño y fabricación de equipos de medición, que desde

aquel entonces si bien ha variado notablemente la precisión y la velocidad en las mediciones gracias a los avances en la electrónica, los principios de la espectrometría de masas siguen siendo los mismos.

Actualmente es prácticamente impensable la ejecución de estudios hidrogeológicos y paleoclimáticos sin las aplicaciones isotópicas, en particular de estos dos isótopos naturales.

La interpretación de los fenómenos en el pasado no hacen más que permitir predicciones más precisas tanto para el futuro próximo como en aquellas que se pueden hacer a largo plazo.

Es bueno tener en cuenta que cualquier análisis isotópico puede ser realizado en nuestro país, tanto a través del INGEIS (Instituto de Geocronología y Geología Isotópica), dependiente del CONICET, como así también en la Comisión Nacional de Energía Atómica, y

recientemente la Facultad de Farmacia y Bioquímica-UBA cuenta con equipamiento de alta resolución.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabaleri N., C. Parica, M. Remesal, F. Salani and S. Valencio, 1996 The lava-sedimentary mesozoic association of lacustrine environment of Byers Peninsula, South Shetland Islands. *Antarctic Geology and Geophysical: The Antarctic Region: Geological Evolution and Processes*, C.A. Ricci Ed., 361-366. Terra Antarctica Publication, Italy. ISBN 88-900221-0-8
- Faure, G., & J. Powell., 1984. *Isotope Geology*.
- Hoefs, J. 1996. *Stable Isotope Geochemistry*, 4th Edition. Springer Verlag, Berlin, 241 pp.
- Panarello, H.O. y C.A. Parica, 1984. Determinación de la composición del oxígeno en aguas. Primeros valores en aguas de lluvia de Buenos Aires. *A.G.A. Rev.* XXXIX (1-2), 3-11.
- Steig EJ, Morse DL, Waddington ED, Stuiver M, Grootes PM, Mayewski PM, Whitlow SI, Twickler MS. 1999 Wisconsinan and Holocene climate history from an ice core at Taylor Dome, western Ross Embayment, Antarctica. *Geografiska Annaler* 82A: 213-235.

BIBLIOGRAFÍA DE LECTURA GENERAL

- Faure, G., 1998. *Principles and applications of Geochemistry*. 2nd Ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 600 pp.
- Fritz, P. & J. Ch. Fontes (Eds.), 1986. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, vol. 2 Elsevier, Amsterdam, 557 pp.



ILSI Argentina

ILSI Argentina
 Av. Santa Fe 1145 - Piso 4º - C1059ABF - Ciudad de Buenos Aires
 Tel/Fax: + 54 11 4816-4384/4816-3259
 info@ilsi.org.ar / www.ilsi.org.ar

ILSI Argentina (International Life Sciences Institute) (Instituto Internacional de Ciencias de la Vida) es una Asociación Civil de carácter científico y sin fines de lucro. Fue fundada en 1990 y está organizada en comités que abarcan los siguientes temas: Nutrición, Obesidad y Actividad Física, Biotecnología de Alimentos, Alimentos Funcionales, Salud y Medio Ambiente, Bioseguridad y Análisis de Riesgo, Agua, Comunicación Científica. Trabaja con instituciones universitarias, la industria y los gobiernos para resolver problemas relacionados con la salud pública. Integra una red de instituciones que abarca los cinco continentes, publicando temas de palpitante actualidad que constituyen en algunos casos bibliografía de referencia. Estimado lector, si Ud. necesita más información, visite nuestra página web: www.ilsi.org.ar