

# COMPOSICIÓN ISOTÓPICA DE LA LLUVIA DE BUENOS AIRES. SU IMPORTANCIA PARA EL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS HIDROLÓGICOS PAMPEANOS

Cristina DAPEÑA<sup>1</sup>  
Héctor O. PANARELLO

## RESUMEN

El estudio de la composición isotópica de la precipitación de la estación Buenos Aires fue de vital importancia para complementar la interpretación de algunos de los sistemas hidrológicos pampeanos. El contenido isotópico (<sup>2</sup>H, <sup>18</sup>O y <sup>3</sup>H) de las lluvias se registra desde 1978 en la estación Ciudad Universitaria en la ciudad de Buenos Aires, que pertenece a la Red Nacional de Colectores de Argentina y a la Global Network for Isotopes in Precipitation. La composición isotópica del agua de lluvia de Buenos Aires responde a un promedio anual ponderado  $\delta^{18}\text{O} = -5,5\text{‰}$ ,  $\delta^2\text{H} = -30\text{‰}$  y se ha elaborado una línea de aguas meteórica local, *i.e.*  $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 14\text{‰}$  que permite utilizar estos registros como función de entrada a los sistemas hidrológicos de la región. La concentración de <sup>3</sup>H (variable temporal) varía entre 0 y 17.7 UT, aunque se han detectado máximos relativos de hasta 40UT, los cuales responden al pico de primavera. Al presente se han hallado valores que superan esa concentración, debido, probablemente a factores no naturales. En varias regiones de la provincia de Buenos Aires se realizaron trabajos hidrogeológicos con el apoyo de técnicas isotópicas. Los ambientes pampeanos seleccionados como ejemplo en este trabajo corresponden a la ciudad de La Plata y sus alrededores, Pergamino-Arrecifes y el Sistema de las Encadenadas de Chascomús.

**Palabras clave:** Isótopos Ambientales, precipitación, agua subterránea y agua subterránea en provincia de Buenos Aires.

## ABSTRACT

The isotopic composition precipitation in Buenos Aires station is of great importance to understand the interpretation of the hydrologic pampean systems. The rain isotope content (<sup>2</sup>H, <sup>18</sup>O y <sup>3</sup>H) is recorded since 1978 at Ciudad Universitaria Station, which belongs to the Red Nacional de Colectores de Argentina and Global Network for Isotopes in Precipitation (IAEA-WMO). The annual weighted average of Buenos Aires isotopic composition is  $\delta^{18}\text{O} = -5,5\text{‰}$ ,  $\delta^2\text{H} = -30\text{‰}$  and the local meteoric water line matches  $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 14\text{‰}$ ; these data can be used like input function to local hydrologic systems. The <sup>3</sup>H concentration varies between 0 and 17.7TU. Nevertheless, some high values up to 40 TU were measured. These values respond to the spring peak. At present, higher values were found, probably due to non-natural causes. The isotope techniques were used to investigate some regions from Buenos Aires province. This work presents three selected case studies, where isotope data are relevant: La Plata city and surroundings, Pergamino-Arrecifes basin and "Sistema de las Encadenadas de Chascomús".

**Keywords:** Environmental isotopes, precipitation, groundwater, Buenos Aires province groundwater

<sup>1</sup> Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (CONICET) – Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA) . Pabellón INGEIS, Ciudad Universitaria (C1428EHA) Buenos Aires, Tele-fax: 54 11 4783-3024, dapenna@ingeis.uba.ar; hector@ingeis.uba.ar

## INTRODUCCIÓN

El agua de lluvia representa la función de entrada de la mayoría de los sistemas hidrológicos. La precipitación de cada región responde a una composición isotópica media característica determinada por los parámetros meteorológicos locales y constituye uno de los principales factores de recarga. El conocimiento y caracterización de su contenido isotópico es de importancia fundamental cuando se inicia un estudio hidrológico y por lo tanto es necesario contar con su registro histórico actualizado.

Por este motivo, el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA) junto con la Organización Meteorológica Mundial (WMO) han desarrollado una red internacional de medición de isótopos en aguas de precipitación, denominada GNIP (Global Network for Isotopes in Precipitation) que entró en función al principio de la década de 1960. Los objetivos principales de esta red son la evaluación, a escala global, de la distribución espacial y temporal de los contenidos de estos isótopos en la precipitación y su dependencia de los parámetros meteorológicos (IAEA/WMO, 2001). El Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS) ha creado una Red Nacional de Colectores (RNC) que integra la GNIP y permite conocer las funciones de entrada (contenido isotópico de la lluvia) en distintas regiones del país debido a la compleja morfología y extensión de la Argentina que determina una gran variedad de climas (DAPEÑA y PANARELLO, 1999; 2002).

DANSGAARD (1964) estableció que la composición isotópica media anual de las aguas meteóricas está fuertemente relacionada con la temperatura del aire media anual, que a su vez es función de la latitud y altitud. Asimismo comprobó la relación con la cantidad de precipitación y la penetración de los frentes de humedad dentro del continente. Denominó a estas variaciones como "efectos", de altitud, latitud, y continentalidad. Además, observó que la cantidad de lluvia ("amount effect") puede modificar de manera notoria los valores isotópicos del patrón sinóptico. El análisis meteorológico de los datos de la GNIP sugiere que la historia meteorológica a largo plazo de las masas de aire (rainout history, humedad) es el principal factor que gobierna la variabilidad del contenido isotópico de una lluvia a otra, así como la estacionalidad y en las zonas tropicales la cantidad de precipitación (ALBERO y PANARELLO, 1981; GAT, 1987; ROZANSKI *et al.*, 1993). En 1961, Craig estableció una correlación entre la composición isotópica del hidrógeno y oxígeno en precipitaciones que obedece a una relación lineal y es conocida

como recta meteórica. Su valor promedio mundial corresponde a  $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10\text{‰}$ .

GAT y TZUR (1967) demostraron que la composición isotópica del agua subterránea en climas templados refleja con buena aproximación la composición isotópica del promedio de la precipitación de una localidad. Sin embargo, pueden ocurrir procesos que la modifiquen durante los mecanismos de recarga, tal como la evaporación previa a la infiltración o variaciones estacionales de la precipitación evidenciadas por una infiltración selectiva. FONTES (1980) estableció que las lluvias individuales muestran una composición isotópica con una amplia dispersión, pero que converge en el promedio anual dentro de las fluctuaciones climáticas normales de un año a otro. El agua subterránea promedia bastante bien ese contenido, indicando que no hay fraccionamiento significativo durante el proceso de recarga. Una distribución homogénea de los isótopos en el agua indica su origen en tanto que las variaciones describen su historia. La comparación entre los valores  $\delta^{18}\text{O}$  de las aguas subterráneas y la precipitación a escala regional muestra la conexión que existe entre ambas, aunque como se indicó precedentemente bajo ciertas circunstancias la composición isotópica del agua subterránea puede diferir de la precipitación media anual (GAT, 1983), ZIMMERMAN *et al.* (1967) señalaron que la evaporación en las capas superiores del suelo durante épocas de sequía alternantes con distintos eventos de lluvia resulta en un enriquecimiento de los isótopos pesados en las aguas residuales.

Está bien establecido que el escurrimiento superficial (runoff) es la respuesta de un sistema hidrológico a la precipitación e involucra el agua pre-tormenta así como el agua que precipita directamente. Estos componentes pueden ser bien diferenciados isotópicamente y entonces la variación en tiempo y espacio de los isótopos ambientales puede ayudar a interpretar los mecanismos del escurrimiento. Por lo tanto se pueden establecer las proporciones relativas de la escorrentía superficial y la descarga subterránea. La contribución de la tormenta está esencialmente limitada a la lluvia que cae directamente sobre los ríos (FRITZ *et al.*, 1976).

## COMPOSICIÓN ISOTÓPICA DE LA LLUVIA DE BUENOS AIRES

El estudio de la composición isotópica de la precipitación de la estación Buenos Aires fue de vital importancia para complementar la interpretación de algunos de los sistemas hidrológicos pampeanos. Los primeros análisis fueron publicados por PANARELLO y ALBERO (1983) y PANARELLO y PARICA (1984).

El contenido isotópico ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$  y  $^3\text{H}$ ) de las lluvias se registra desde hace 24 años en la estación Ciudad Universitaria en la ciudad de Buenos Aires, que pertenece a la RNC y la GNP (PANARELLO *et al.*, 1995, 1998; DAPEÑA y PANARELLO, 1999, 2002; IAEA/WMO, 2002).

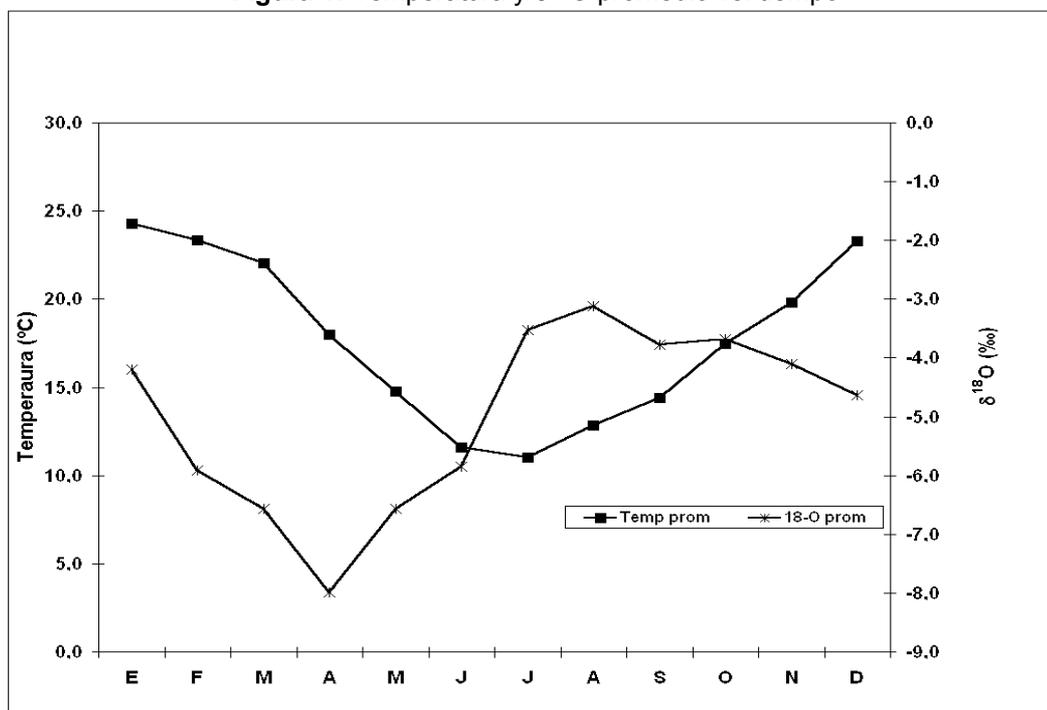
La composición isotópica del agua de lluvia de Buenos Aires responde a un promedio anual ponderado  $\delta^{18}\text{O} = -5,5\text{‰}$ ,  $\delta^2\text{H} = -30\text{‰}$  en el período 1978-1999 y se ha elaborado una línea de aguas meteóricas local, *i.e.*  $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 14\text{‰}$  (PANARELLO *et al.*, 1995; PANARELLO *et al.*, 1998) que permite utilizar estos registros como función de entrada a los sistemas hidrológicos de la región. La concentración de  $^3\text{H}$  (variable temporal) varía entre 0 y 17.7 UT, aunque se han detectado picos de hasta 40UT, los cuales responden al pico de primavera. Al presente se han hallado valores que superan esa concentración, debido a factores no naturales.

DANSGAARD (1964) estableció una relación lineal entre la temperatura media anual del aire y los valores  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  de la precipitación media anual, en el caso del  $^{18}\text{O}$  la pendiente es  $\theta = 0,5-0,7 \text{‰}/^\circ\text{C}$ . YURTSEVER y GAT (1981) calcularon esta relación para los

promedios mensuales. Por lo tanto en las estaciones de latitud media y alta, los contenidos de  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  son más empobrecidos en invierno que en verano y en general se cumple que a menor temperatura corresponde mayor empobrecimiento.

En la precipitación de Buenos Aires (Figura 1) se observa una buena correlación entre la temperatura y la composición isotópica medias mensuales durante los meses de enero a abril, donde  $\theta = 0,53 \pm 0,15 \text{‰}/^\circ\text{C}$ . Sin embargo, en los meses más fríos (mayo-agosto) se observa una inversión de la pendiente con un mayor enriquecimiento isotópico a menor temperatura. Por otro lado, los valores más empobrecidos se registran durante los meses de febrero a mayo. Este patrón estacional también se ha observado en las colectoras de la RNC de Azul, Santa Fe, Corrientes y en algunos años está marcado por un empobrecimiento isotópico mucho mayor con valores  $\delta^{18}\text{O}$  inferiores a  $-10\text{‰}$ , seguramente vinculados a la procedencia de las masas de aire. Este efecto estacional puede ser usado como trazador en los sistemas hidrológicos.

Figura 1: Temperatura y  $\delta^{18}\text{O}$  promedio vs. tiempo



### MATERIALES Y MÉTODOS

La operación de la RNC se basa en la colección de aguas de lluvia en pluviocoletores diseñados para recibir el total mensual de la precipitación de cada estación. En los laboratorios de INGEIS se miden las relaciones isotópicas del hidrógeno ( $^2\text{H}/^1\text{H}$ ) y oxígeno

( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) por espectrometría de masas y la concentración de tritio ( $^3\text{H}$ ) por técnicas de centelleo líquido; se evalúan estadísticamente y se integran a bases de datos nacionales e internacionales. Además, estos datos se complementan con la información meteorológica

como temperatura media mensual, presión de vapor media mensual y cantidad de precipitación.

Los análisis isotópicos ( $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$ ) se llevan a cabo en el laboratorio de Isótopos Ambientales del INGEIS. Las muestras se tratan siguiendo las técnicas de COLEMAN *et al.* (1982) y PANARELLO y PARICA (1984) para  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  respectivamente. Las mediciones de las relaciones isotópicas se realizan en un espectrómetro de masas de triple colector, sistema de introducción múltiple, Finnigan MAT Delta S.

Los resultados obtenidos se expresan como  $\delta$ , definido como:

$$\delta = 1000 \frac{R_s - R_p}{R_p} \text{‰}$$

donde:

$\delta$ : desviación isotópica en ‰; S: muestra; P: patrón internacional; R: relación isotópica ( $^2\text{H}/^1\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ). El patrón utilizado es Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW) (GONFIANTINI, 1978). Los errores analíticos son  $\pm 0,2\text{‰}$  y  $\pm 1,0\text{‰}$  para  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  respectivamente.

Para el proceso de análisis de  $^3\text{H}$  se utiliza el enriquecimiento electrolítico. Posteriormente la muestra se mide por espectrometría de centelleo líquido. Las concentraciones de  $^3\text{H}$  se expresan como unidades de tritio definidas como: 1 UT = 1 átomo de  $^3\text{H}$  /  $10^{18}$  átomos de  $^1\text{H}$  y el error analítico es en promedio  $\pm 1,0$  UT.

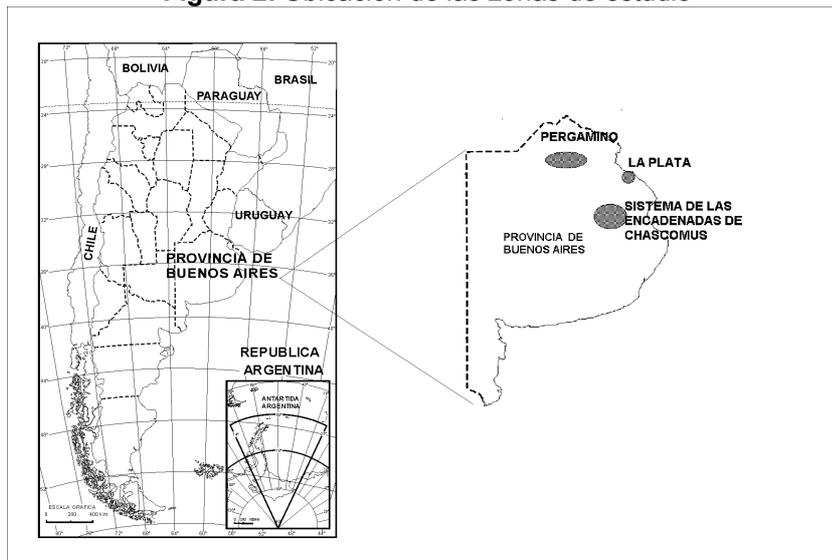
## SISTEMAS HIDROLÓGICOS PAMPEANOS

### Antecedentes

En varias regiones de la provincia de Buenos Aires se realizaron trabajos hidrogeológicos con el apoyo de técnicas isotópicas, entre ellos el sector costero (LEVIN *et al.*, 1988; PANARELLO, 1992; PANARELLO *et al.*, 1993; 1995), Sierra de la Ventana (BONORINO *et al.*, 1996).

La llanura pampeana no es homogénea y se pueden diferenciar particularidades topográficas-morfológicas, hidrogeológicas y variaciones en la distribución de cuerpos lacunares y redes de drenaje. El paisaje se destaca por las bajas pendientes topográficas, una baja densidad de drenaje y por la presencia de materiales relativamente permeables en la superficie del terreno (SALA *et al.*, 1983). Está caracterizada por la presencia de ciclos húmedos y secos que derivan de la alternancia de períodos con excesos o déficit de agua en los balances hidrológicos. Desde el punto de vista hidrológico se caracteriza por presentar un dominio de movimientos verticales (evaporación – infiltración) del agua sobre los horizontales (escurrimientos) y muestran una fuerte interrelación entre el agua superficial y el agua subterránea (KRUSE y ZIMMERMANN, 2002). SALA *et al.* (1992) indican que la infiltración modular anual en la llanura de la provincia de Buenos Aires, incluso en zonas con una red de drenaje bien desarrollada alcanza valores superiores al 10% de la precipitación anual.

Figura 2: Ubicación de las zonas de estudio



Las unidades acuíferas que se explotan más intensamente en estas regiones son el Puelche y el Pampeano. El primero actúa como semiconfinado, su techo se encuentra entre 25 y 50 m de profundidad, y su espesor varía entre 30

y 80m. Sobre él una capa de limo arcilloso (acuitardo) lo separa del Pampeano que actúa como acuífero predominantemente libre y contiene a la capa freática (AUGE y HERNÁNDEZ, 1983). El Pampeano tiene gran importancia

hidrogeológica, especialmente por ser la única capa acuífera con relación directa con las fases superficial y atmosférica del ciclo hidrológico, responde rápidamente a sus variaciones y actúa como generadora activa respecto a las unidades inferiores. Está conformado por sedimentos predominantemente pelíticos, limo loessoides con abundante vidrio volcánico y carbonato de calcio (tosca) (KRUSE y ZIMMERMANN, 2002).

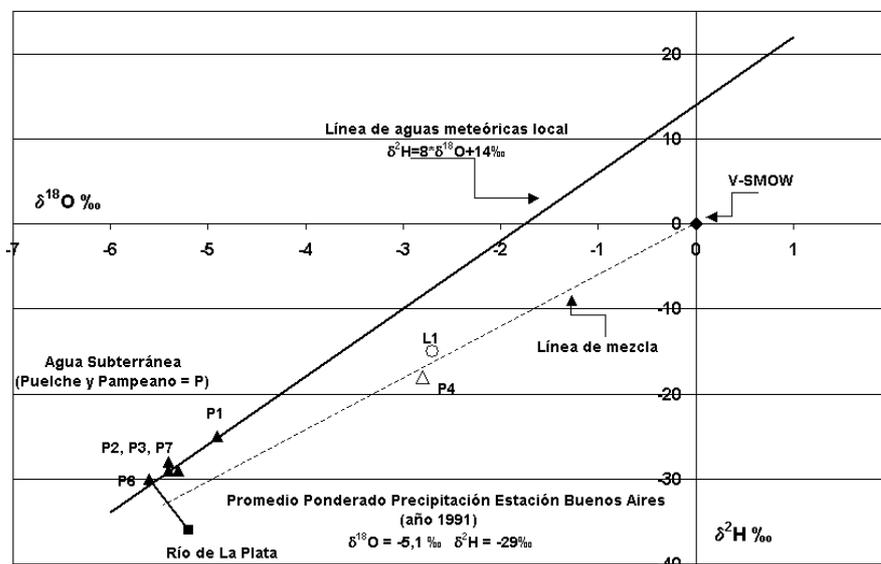
Los ambientes pampeanos seleccionados como ejemplo en este trabajo corresponden a dos áreas del NE de la provincia de Buenos Aires: la ciudad de La Plata y sus alrededores y la zona de Pergamino-Arrecifes y la tercera al Sistema de las Encadenadas de Chascomús, perteneciente a la cuenca del Salado (Figura 2).

### La Plata

Para estudiar las características del flujo y las causas de salinización en esta área, se efectuaron análisis químicos y de isótopos estables sobre más de 100 muestras del Puelche y el Pampeano. Estos muestreos se realizaron en dos etapas: el primero en 1990 y el segundo en 1991. Asimismo se realizaron determinaciones de <sup>3</sup>H para introducir la variable temporal (PANARELLO *et al.*, 1995)

La figura 3 muestra el gráfico  $\delta^2\text{H}$  vs  $\delta^{18}\text{O}$  de las muestras pertenecientes a 1990 que presentan un panorama sintético de los tipos de agua encontrados en la zona de La Plata y la recta meteórica local determinada para Buenos Aires. Los pozos P1 y P3, en la zona de recarga de la planicie alta, hacia el sudoeste de la ciudad, poseen filtros instalados en el Pampeano junto con el Puelche. P2 es una muestra de la capa freática en el extremo sur del área hacia el borde de cuenca. P6 y P7 son pozos de gran caudal de la red de provisión de agua potable, sus filtros se encuentran en el Puelche. Los pozos L1 (LEVIN *et al.*, 1973) y P4 se encuentran en la planicie baja cerca del Río de la Plata, producen del Puelche salinizado, no son aptos para el consumo humano e industrial y se usan para el llenado de piletas de natación. Son aguas cloruradas sódicas del tipo del agua de mar, con conductividades mayores a 20 mS cm<sup>-1</sup>. En la figura 3 se puede apreciar que sus composiciones isotópicas se pueden interpretar como la mezcla entre aguas del Puelche recargado en la planicie baja, el Río de la Plata (R5) y aguas antiguas de una ingresión marina ( $\delta^{18}\text{O} = \delta^2\text{H} = 0\text{‰}$ , similar a V-SMOW).

Figura 3:  $\delta^2\text{H}$  vs  $\delta^{18}\text{O}$  en La Plata.



Los contenidos de tritio varían entre 0,7 y 2,6 UT. En todos los casos son menores a la función de entrada estimada en ese momento, sugiriendo envejecimiento por tránsito o mezcla con flujos subterráneos más antiguos. De acuerdo a los mecanismos planteados para la recarga, debería reflejar la función de entrada en <sup>3</sup>H, sin embargo su contenido es mucho menor. Esto se puede relacionar con la existencia de flujos regionales a nivel freático o con un retardamiento de la infiltración debido, a la Revista Latino-Americana de Hidrogeología, n.4, p.17-25, 2004.

intercalación discontinua de tosca y que actuaría como acuitardo en zonas determinadas. Los contenidos salinos del Pampeano y el Puelche en la planicie elevada, no muestran correlación con la composición isotópica sugiriendo que el mecanismo principal de salinización, en este caso, es la disolución de sales por tránsito.

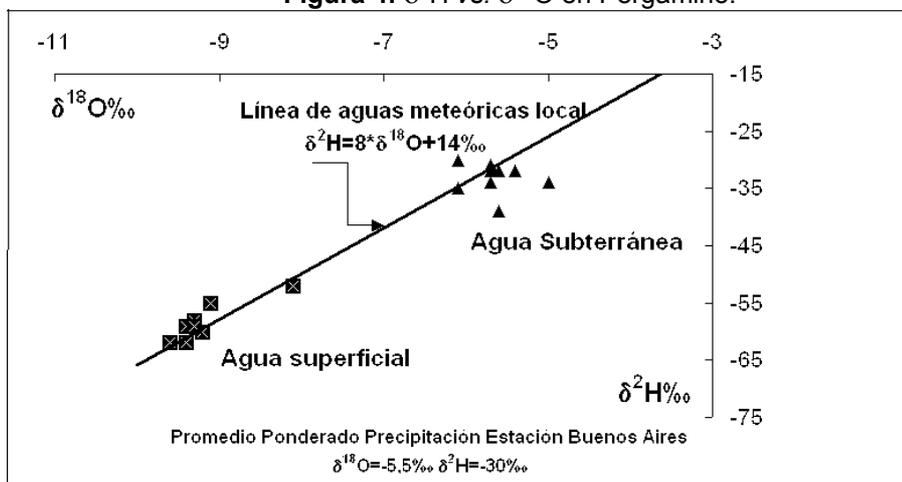
### Pergamino

Las técnicas isotópicas se utilizaron para el estudio de los mecanismos de recarga. Se

realizaron análisis químicos y de isótopos estables sobre 20 muestras del Pampeano y los ríos y arroyos (GALINDO *et al.*, 2002). La figura

4 muestra los valores isotópicos de las muestras de agua subterránea y superficial y la línea de aguas meteóricas local.

Figura 4:  $\delta^2\text{H}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$  en Pergamino.



La composición isotópica del agua subterránea es relativamente constante:  $-5,7\text{‰}$  y  $33\text{‰}$  para  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  (Figura 4), cercana al promedio anual de la precipitación establecido para Buenos Aires ( $\delta^{18}\text{O} = -5,5\text{‰}$ ,  $\delta^2\text{H} = -30\text{‰}$ ) y en consecuencia indica su origen meteórico. El agua superficial muestra valores más empobrecidos y homogéneos con  $-9,2\text{‰}$  y  $-58\text{‰}$  para  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$ , respectivamente (Figura 4). Estos valores isotópicos son bastante diferentes de los del agua subterránea y son probablemente debidos a la precipitación directa sobre los cursos superficiales. En este caso, las lluvias medidas en la ciudad de Buenos Aires durante febrero y mayo de 2000 muestran valores  $\delta^{18}\text{O}$  entre  $-10,6$  y  $-8,6\text{‰}$ , confirmando la incidencia de la lluvia directa. Como se mencionó anteriormente, estos valores tan empobrecidos entre febrero y mayo, registrados además en las estaciones Azul y Santa Fe resultan de las distintas procedencias de las masas de aire y son importantes como trazadoras en este sistema.

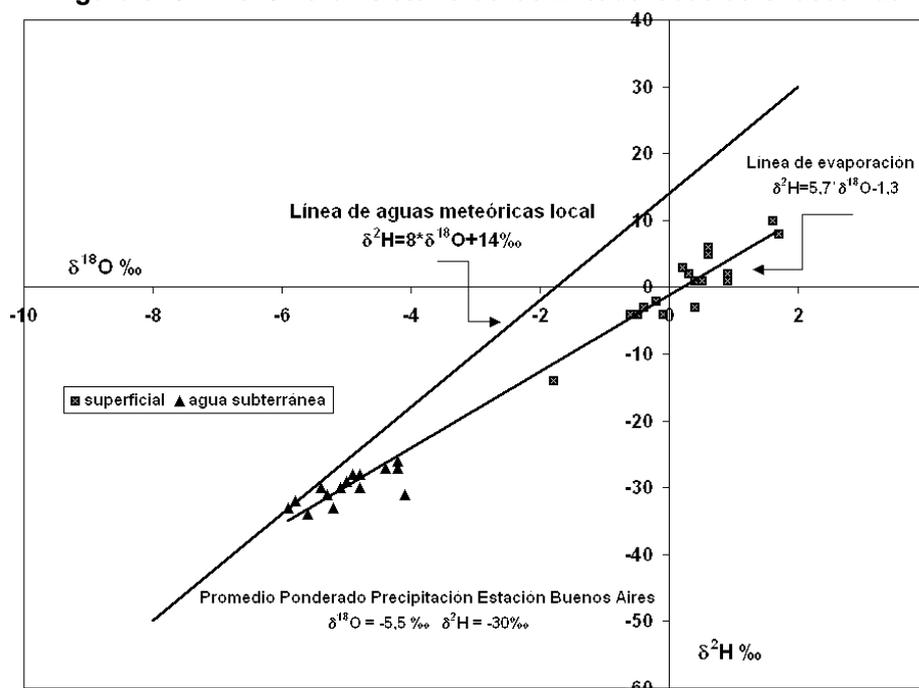
#### Sistema de las encadenadas de Chascomús

Con el objeto de analizar la relación entre el agua superficial y subterránea de la zona y sobre la base de las hipótesis que postulan que las lagunas pampásicas son efluentes con respecto al agua subterránea (SALA *et al.*, 1983)

se realizó un estudio geoquímico e isotópico (MIRETZKY *et al.*, 2000; DAPEÑA *et al.*, 2001). Se tomaron 33 muestras de las lagunas de Chascomús, Adela y Vitel, de los arroyos Vitel S, Vitel N, Portela, Girado, Valdez, Monte Brown, San Felipe y Las Tamberas y agua subterránea somera (pampeano).

En la figura 5 se observan los valores isotópicos obtenidos en las muestras de agua superficial y subterránea y la línea de aguas meteóricas local. La composición isotópica del agua subterránea es relativamente constante:  $\delta^{18}\text{O} = -5,0\text{‰}$  y  $\delta^2\text{H} = -30\text{‰}$ , indicando su origen meteórico, ya que el promedio anual ponderado de la lluvia de Buenos Aires es  $\delta^{18}\text{O} = -5,5\text{‰}$ ,  $\delta^2\text{H} = -30\text{‰}$ . Las pequeñas fluctuaciones en los valores isotópicos obtenidos se deben a procesos de evaporación de la precipitación local en forma previa a la infiltración. El tiempo de permanencia del agua de lluvia en la superficie del suelo depende de la permeabilidad de los materiales superficiales. Si es elevada, la infiltración es rápida y la composición isotópica del agua que percola puede ser idéntica o muy similar a la de las lluvias. En caso contrario se produce evaporación previa y el agua infiltrada es isotópicamente enriquecida.

Figura 5:  $\delta^2\text{H}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$  en Sistema de las Encadenadas de Chascomús



Las aguas de los arroyos y lagunas se ubican sobre una línea de evaporación:  $\delta^2\text{H} = 5,7\delta^{18}\text{O} - 1,3$ ‰, indicando la contribución del agua subterránea al agua superficial (Figura 5). Los resultados isotópicos sugieren que durante el verano, cuando el balance precipitación-evaporación es negativo la composición química del agua superficial está regida principalmente por el proceso de evaporación. Además, se demuestra el origen meteórico del agua subterránea y que es el flujo de base del agua superficial. El aporte del agua subterránea a los sistemas lénticos y lóxicos también se evidencia en el proceso de intercambio catiónico que contribuye a determinar la composición hidroquímica del agua superficial. (MIRETZKY *et al*, 2000)

### CONCLUSIONES

El objetivo fundamental del registro de la precipitación en la estación Buenos Aires así como en otras localidades del país es brindar las bases científicas y técnicas necesarias para la realización de estudios isotópicos que complementarán a los llamados métodos

“clásicos” de la hidrogeología con el fin de lograr un manejo adecuado de los recursos hídricos a efectos de preservar su calidad y cantidad. Dado que el agua de lluvia representa la función de entrada para la mayoría de los sistemas hidrológicos, y está fuertemente influenciada por los parámetros meteorológicos es fundamental contar con un registro histórico actualizado de la composición isotópica de las precipitaciones en localidades representativas del país. De esta manera se pueden resolver, en forma relativamente sencilla y a bajo costo, numerosos problemas en aguas superficiales y acuíferos relacionados con el origen y zona de la recarga, los mecanismos de salinización, los procesos en la zona no saturada (ZNS). Finalmente, se destaca la importancia del mantenimiento operativo de la Red Nacional de Colectores de Argentina así como un aumento en el número de estaciones en distintas latitudes y altitudes del país y la necesidad de la toma de conciencia de su trascendencia por parte de las autoridades científico tecnológicas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERO, M.C. AND PANARELLO, H.O. “Tritium and stable isotopes in precipitation waters South America”. Actas de. Interamerican Symposium on Isotope Hydrology, Colombia, pp. 91-109, 1981.
- AUGE, M.P. Y HERNÁNDEZ, M.A. “Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense. Su implicancia en el ciclo hidrológico de llanuras dilatada.”. Actas del Coloquio Internacional de Grandes Llanuras, Olavarría, Provincia de Buenos Aires, UNESCO, Vol. II, pp. 1019-1043, 1983.

- BONORINO, A.G., PANARELLO, H.O., CARRICA, J. Y ALBOUY, R. "Isótopos estables y dinámica del acuífero freático de la vertiente occidental de las Sierras Australes". Actas del XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Explotación de Hidrocarburos, Vol. IV, pp. 409-416, 1996.
- COLEMAN, M.L., SHEPERD, T.J., DURHAM, J.J., ROUSE, J.E. AND MOORE, F.R. "A Rapid and Precise Technique for Reduction of Water With Zinc for Hydrogen Isotope Analysis". Analytical Chemistry, 54, 993-995, 1982.
- CRAIG, H. "Isotope variations in meteoric waters". Science, 133, 1702-1703, 1961.
- DANSGAARD, W. "Stable isotopes in precipitation". Tellus, 16, 436-468, 1964.
- DAPEÑA, C. AND PANARELLO, H.O. "Development of the National Network for Isotopes in Precipitation of Argentina". Actas del II South American Symposium on Isotope Geology, pp. 503-508, 1999.
- DAPEÑA, C. Y PANARELLO, H.O. "Red Nacional de Colectores de Isótopos en precipitación en Argentina: su importancia en estudios hidrogeológicos". Actas del Congreso Agua Subterránea y Desarrollo Humano, Bocanegra, E., Martínez, D., Massone, H. (Editores), Volume (CD), pp. 1053-1060, 2002.
- DAPEÑA, C., MIRETZKY, P., PANARELLO, H. O. AND FERNÁNDEZ CIRELLI, A. "Environmental stable isotope of the "Sistema de las encadenadas de Chascomús", Buenos Aires, Argentina". Actas del III South American Symposium on Isotope Geology, Volume (CD), 375-378, Sociedad Geológica de Chile, 2001.
- FONTES, J. CH. *Environmental Isotopes in Groundwater Hydrology*. In : Fritz, P. and Fontes, J. Ch. (eds.), Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. The Terrestrial Environment, A. Chapter 3, 75-140, 1980.
- GAT, J. *Precipitation, groundwater and surface waters*. In: Palaeoclimates and paleowaters: A collection of environmental isotope studies. International Atomic Energy Agency, 3-12, 1983.
- GAT, J. "Variability (in time) of the isotopic composition of precipitation: Consequences regarding the isotopic composition of hydrologic systems". Actas del. Symposium On the Use of the Isotope Techniques in Water Resources Development. International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 551-563, 1987.
- GAT, J. R. AND TZUR, Y. "Modification of the isotopic composition of rainwater by processes which occur before groundwater recharge". Actas de Isotopes in Hydrology Symposium IAEA, Vienna, pp. 49- 60, 1967.
- GALINDO, G., SAINATO, C., DAPEÑA, C., FERNÁNDEZ TURIEL, J.L., GIMENO, D., POMPOSIELLO, M.C. Y PANARELLO, H.P. "Natural and anthropogenic features influencing water quality in NE Buenos Aires, Argentina". Actas del Congreso Agua Subterránea y Desarrollo Humano, Bocanegra, E., Martínez, D., Massone, H. (Editores), Volume (CD), pp. 300-309, 2002.
- GONFIANTINI, R. "Standards for stable isotope measurements in natural compounds". Nature 271, 534, 1978.
- IAEA/WMO. "Global Network for Isotopes in Precipitation. The GNIP Database". <http://isohis.iaea.org>, 2002.
- KRUSE, E. y ZIMMERMANN, E.D. "Hidrogeología de Grandes Llanuras. particularidades en la Llanura Pampeana (Argentina)". Actas del Congreso Agua Subterránea y Desarrollo Humano, Bocanegra, E., Martínez, D., Massone, H. (Editores), Volume (CD), pp. 2025-2038, 2002.
- LEVIN, M., CORTELEZZI, C.R y FIGGINI, A.J. "Uso de isótopos estables (deuterio y oxígeno-18) para determinación del origen de la salinización del "Puelchense" en la ciudad de La Plata y alrededores. I. Parte". Actas del V Congreso Geológico Argentino, Vol. I, pp. 373-393, 1973.
- LEVIN, M., ALBERO, M., PANARELLO, H. O., HERNANDEZ, M., LORENZO, F. y KERSFELD, A. "Uso de isótopos ambientales ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  y  $^3\text{H}$ ) para la determinación de recarga y trazado de procesos hidrodinámicos en un sector costero de la provincia de Buenos Aires. I parte". Actas de las Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses, pp. 599-607, 1988.
- FRITZ, P., CHERRY, J.A., WEYER, K.W. y SKLASH, M. *Storm runoff analyses using environmental isotopes and major ions*. In: Interpretation of Environmental Isotope and Hydrochemical Data in Groundwater, IAEA, 111-130, 1976.
- MIRETZKY P., CONZONNO, V. and FERNÁNDEZ CIRELLI, A. "Hydrochemistry of pampasic ponds in the lower stream bed of Salado River drainage basin (Argentina)". Environmental Geology, 39, 951-956, 2000.

- PANARELLO, H.O. "Aguas muy enriquecidas en oxígeno-18 en acuíferos costeros de la Provincia de Buenos Aires, sus posibles orígenes". Actas de las Terceras Jornadas Geológicas Bonaerenses, pp. 219-222, 1992.
- PANARELLO, H.O. y ALBERO, M.C. "Tritium, oxygen-18 and deuterium contents of Buenos Aires rainwater". Actas del Coloquio Internacional de Grandes Llanuras, Olavarría, Provincia de Buenos Aires, UNESCO, Vol. II, pp. 889-898, 1983.
- PANARELLO, H.O. y PARICA, C.A. "Isótopos del oxígeno en hidrogeología e hidrología. Primeros valores en aguas de lluvia de Buenos Aires". Asociación Geológica Argentina, Revista, 39 (1-2): 3-11, 1984.
- PANARELLO, H.O., LEVIN, M., DE FELIPI, R., LORENZO, F., PALADINO, J. y VIZCAÍNO, A. "Uso de isótopos ambientales ( $^3\text{H}$ ,  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$ ) para la determinación de recarga y trazado de procesos hidrodinámicos en un sector costero de la provincia de Buenos Aires. II Parte". Asociación Geológica Argentina, Revista, 48 (3-4), 147-153, 1993.
- PANARELLO, H.O., DAPEÑA, C. y AUGÉ, M.P. "Mecanismos de salinización del agua subterránea de la zona de La Plata, Buenos Aires, Argentina: su interpretación por medio de los isótopos ambientales". International Atomic Energy Agency, Technical Document 835, 13-27, 1995.
- PANARELLO, H.O., ARAGUAS-ARAGUAS, L., GERARDO ABAYA, J. and GIBERT, E. "The role of the "Global Network for Isotopes in precipitation, GNIP, in hydrological and hydroclimatic studies". Key note. Actas del International Symposium on Isotope Techniques in the Study of Past and Current Environmental Changes in the Hydrosphere and the Atmosphere. International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 79-91, 1998.
- ROZANSKI, K., ARAGUAS ARAGUAS, L. and GONFIANTINI, R. "Isotopic patterns in modern global precipitation". Climate Change in Continental Isotopic Records, Geophysical Monograph 78, American Geophysical Union, 1-36, 1993.
- SALA, J., GONZALEZ, N., y KRUSE, E. "Generalización Hidrológica de la Provincia de Buenos Aires". Coloquio Internacional de Grandes Llanuras, Olavarría, Provincia de Buenos Aires, UNESCO, Vol. III, pp. 975-1008, 1983.
- SALA, J; ROJO, A. y KRUSE E. "Los excesos hídricos y la infiltración en la provincia de Buenos Aires". Actas de las Terceras Jornadas Geológicas Bonaerenses, pp. 171-174, 1992.
- YURTSEVER, Y. and GAT, J. R. Atmospheric Waters. In: J.R. Gat and R. Gonfiantini (Eds.), Stable Isotope Hydrology, Deuterium and oxygen-18 in the Water Cycle, Chapter 6, IAEA Technical Reports Series No. 210, 103-142, 1981.
- ZIMMERMANN, U., EHHALT, D. and MÜNNICH, K.O. "Soil water movement and evapotranspiration: changes in the isotopic composition of the water". Actas del Isotopes in Hydrology Symposium, Vienna, IAEA, pp. 567-584, 1967.