

# **APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE ISÓTOPOS NATURALES EN EL ESTUDIO DEL ORIGEN DE LA SALINIZACIÓN EN UN YACIMIENTO DE ARGENTINA**

Hector O. Panarello<sup>1</sup>, Hector A. Ostera<sup>1</sup>, Carlos Violini<sup>2</sup>, Roberto Cordero<sup>1</sup>, Cecilia Torres Vilar<sup>3</sup> y Martín Fasola<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INGEIS – CONICET

<sup>2</sup>REPSOLYPF

<sup>3</sup>Centro de Tecnología Argentina – REPSOLYPF

## **SINOPSIS**

En los últimos años, debido a la creciente importancia que ha tomado la conservación del medio ambiente, se hace indispensable el contar con herramientas que posibiliten la determinación del origen de ciertas sustancias presentes en los sistemas naturales. Establecer en forma precisa el origen de las mismas permite actuar directamente sobre las fuentes y minimiza rápidamente los impactos negativos generados por estas especies. Una de las herramientas analíticas para la determinación del origen de contaminantes es el análisis de los isótopos ambientales.

La salinización de las aguas superficiales y subterráneas constituye un problema grave en diferentes áreas de la Republica Argentina. Muchas son las actividades industriales y agrícolas que utilizan agua como insumo; parte de sus procesos puede ocasionar cambios en los parámetros fisicoquímicos de la misma, tales como, temperatura, contenido de sales y otros. La actividad petrolera conlleva en si la extracción de agua que se encuentra en las formaciones productivas. Este fluido, que en muchos casos posee una alta salinidad, se señala en numerosas ocasiones como responsable de procesos de salinización de cursos superficiales y aguas subterráneas.

En este trabajo se muestra una aplicación de los métodos isotópicos en conjunción con análisis químicos con el fin de determinar las causas posibles de salinización de los acuíferos en la zona cercana al yacimiento de Ugarteche, Mendoza. Para ello, se han analizado los isótopos naturales del agua presentes en muestras tomadas de los ríos que recargan el acuífero, varios pozos de agua de la zona y una salmuera proveniente de la explotación petrolera. De los resultados, se puede inferir que la salinización observada en el acuífero no debería ser atribuida a procesos de mezcla entre aguas dulces y salmueras provenientes de la actividad petrolera en la zona.

## INTRODUCCION

La cuenca hidrogeológica Mendoza Norte fue rellenada con sedimentos fluviales transportados por el Río Mendoza y en menor medida por el Río Tunuyán, durante el período Cuaternario, así como con aportes provenientes del ambiente precordillerano y serranías menores situadas en el piedemonte. La granulometría de los sedimentos tiende a disminuir en dirección O-NE creando condiciones de confinamiento y semiconfinamiento que se diferencian del área de acuífero libre cercana al abanico aluvial de los Ríos Mendoza y Tunuyán inferior.

Los principales acuíferos se encuentran en la cubierta sedimentaria de edad neoterciaria, cuaternaria y reciente. El agua que se infiltra en el área de mayor recarga se distribuye en la cuenca en abanico hacia el norte, este y sudeste. El flujo presenta distintos gradientes que varían según la superficie regional, disminuyendo hacia las zonas de planicie distal donde la transmisividad es menor.

Dentro del relleno cuaternario y reciente es imposible diferenciar unidades litoestratigráficas bien definidas, existiendo una alternancia de terrenos de diferente permeabilidad y de espesores variables. También se observan la existencia de cauces abandonados o paleocauces de ambos ríos. Estas características hidrogeológicas condicionan la circulación del agua subterránea, ya sea lateral o vertical en el acuífero y puede conducir a la creación de flujos locales y regionales. Los niveles del agua subterránea varían entre la surgencia y más de 150 m de profundidad.

El análisis de la información hidroquímica permitió definir tres niveles con distinto grado de mineralización, no asociándose esta división a acuíferos diferenciados (Álvarez, 1981 y 1984). La profundidad de estos niveles de explotación varía según la zona y condiciones hidrogeológicas. Así el primer nivel de explotación (PNE), con extensión areal en toda la cuenca, presenta dos situaciones bien diferenciadas: en el área de acuífero libre corresponde a los primeros 40-50 m de espesor saturado, con lo cual la profundidad de explotación varía entre los 150-200 m en las zonas de mayor profundidad del nivel estático y entre 0-50 m en la zona de transición de acuífero libre-confinado. En el área de confinamiento y semiconfinamiento se lo relaciona al acuífero freático con profundidades de explotación inferiores a los 80 metros.

El segundo nivel de explotación (SNE), también se extiende en toda el área de estudio, por debajo del anterior, con un espesor de 80-100 m desde la superficie del terreno en el área de confinamiento y semiconfinamiento.

El tercer nivel de explotación (TNE), con profundidades superiores a los 180-200 m, se ubica por debajo del SNE en el área de confinamiento-semiconfinamiento. En el área de acuífero libre, existe poca información de perforaciones que explotan profundidades correlacionables. Panarello y Dapeña (1996), realizaron un relevamiento isotópico de toda la cuenca. En este trabajo se intenta mediante la hidroquímica y los isótopos estables establecer en mayor detalle las causas de la salinización de pozos, fundamentalmente del primer nivel de explotación que se ha producido en las vecindades de la localidad de Ugarteche.

Entre los orígenes más probables de las sales se encuentra la percolación de aguas de regadío por inundación que se han evaporado, concentrado en la ZNS y han inducido recarga artificial en la zona de acuífero libre, el tránsito a través de sedimentos ricos en sales (yeso, halita) o la contaminación por salmueras derivadas de la explotación petrolífera que se efectúa en la zona.

## Fundamentos teóricos de la aplicación de isótopos ambientales a la hidrología

### Isótopos estables

La molécula de agua está formada por dos elementos: hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno se presenta en la naturaleza bajo la forma de dos isótopos estables, el protio ( $^1\text{H}$ ) y el deuterio ( $^2\text{H}$  o  $\text{D}$ ), y uno radiactivo, el tritio ( $^3\text{H}$  o  $\text{T}$ ). El oxígeno posee tres isótopos estables:  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  y  $^{18}\text{O}$ . La sustitución de isótopos, tanto de oxígeno como de hidrógeno, en la molécula de agua produce variaciones en aquellas propiedades controladas directamente por la masa molecular, como la densidad, presión de vapor, velocidad de difusión, etc. Estas variaciones dan lugar al llamado fraccionamiento isotópico (en adelante fraccionamiento) que consiste en la reacomodación de las especies isotópicas entre las distintas sustancias o fases intervinientes de forma que las concentraciones de las mismas resultan ser diferentes a las del estado inicial.

La relación  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  es de aproximadamente 1:500 y la  $^2\text{H}/^1\text{H}$  de 1:6600 en el agua del océano. Estas proporciones pueden variar de un agua a otra, según su historia, como se verá más adelante.

Las tres especies moleculares del agua poseen distintas masas molares, este hecho produce comportamientos diferentes en los procesos físicos tales como los cambios de estado, difusión, etc. Las aguas que contienen una mayor proporción de la especie molecular ligera,  $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ , tienen una presión de vapor mayor que aquellas más ricas en las especies moleculares pesadas. Como la presión de vapor determina la velocidad de evaporación o condensación del agua, las moléculas ligeras evaporan más rápidamente y condensan en forma más lenta que las moléculas pesadas. Es decir, presentan una tendencia mayor a permanecer en la fase vapor durante el cambio de estado y por lo tanto el vapor que escapa de una superficie líquida para formar una nube es más pobre en oxígeno-18 y deuterio que el agua que le dio origen, que queda así enriquecida en isótopos pesados. Este enriquecimiento será más notorio en reservorios confinados como lagos y embalses, a diferencia del mar, "reservorio infinito", donde la composición isotópica permanece más bien constante.

De esta forma tiene lugar un **fraccionamiento isotópico**, que es más importante a medida que disminuye la temperatura. Esta dependencia del factor de fraccionamiento con la temperatura, como así también la condensación parcial durante las precipitaciones, genera los llamados efectos de "altitud", "continental", "latitud" y las variaciones estacionales. El efecto de "altitud" se debe a que el vapor residual después de una precipitación parcial es más liviano que el original (menor contenido de isótopos pesados). Por lo tanto, a medida que la masa de aire asciende, las precipitaciones serán más livianas, observándose valores más empobrecidos a medida que aumenta la altitud. Una situación similar tiene lugar a medida que la masa de aire avanza tierra adentro, generándose un efecto "continental" con lluvias más ligeras al ir avanzando sobre el continente (Panarello y Parica, 1984). El efecto de "latitud" se debe a que el fraccionamiento isotópico producido durante los cambios de estado aumenta con la disminución de la temperatura (Dansgaard, 1964). Por lo tanto, como al aumentar la latitud disminuye la temperatura, en líneas generales, las precipitaciones cercanas a los polos son isotópicamente más ligeras que las del Ecuador. Esta dependencia con la temperatura también da origen a variaciones estacionales, siendo las precipitaciones más ligeras en invierno que en verano.

Por estas razones, los procesos físicos y los fenómenos meteorológicos responsables del transporte del agua en las diferentes fases del ciclo hidrológico producen una caracterización isotópica del agua de acuerdo a su historia, que puede ser de gran utilidad en el estudio de su origen y comportamiento. Cuando la precipitación alcanza la superficie del suelo su composición química puede modificarse, principalmente, por evaporación o por mezclado con aguas de distinta composición. Estas modificaciones serán tanto más importantes cuanto mayor sea el tiempo de permanencia del agua en superficie, que depende, a su vez, de la permeabilidad de los materiales superficiales del suelo. Si la permeabilidad es elevada, la infiltración es rápida y la composición isotópica del agua infiltrada puede ser idéntica o similar a la de las precipitaciones. En caso contrario, se produce evaporación previa y el agua infiltrada es más pesada.

Una vez que el agua se infiltra a profundidades mayores de 3 ó 4 metros en general deja de estar sometida al proceso de evaporación y por lo tanto su composición isotópica se mantiene constante. Sin embargo, la composición isotópica de las aguas subterráneas puede modificarse por mezclado con aguas de diferentes procedencias y en el caso de aguas sometidas a altas temperaturas, por intercambio isotópico entre el oxígeno del agua y el de las rocas, generalmente en sistemas carbonáticos.

Los análisis de los isótopos estables,  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ , se informan en desviaciones por mil definidas como:

$$\delta = 1000 \frac{R_M - R_E}{R_E} \text{‰}$$

$\delta$ :  $\delta^2\text{H}$  o  $\delta^{18}\text{O}$  desviación isotópica en ‰

siendo,

M: muestra.

E: patrón internacional

R: relación isotópica ( $^2\text{H}/^1\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )

El patrón internacional para  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  es V-SMOW (Craig, 1961; Gonfiantini, 1978).

Cuando el agua experimenta un cambio de estado se produce fraccionamiento tanto para el  $^{18}\text{O}$  como para el  $^2\text{H}$ , de acuerdo con sus respectivos coeficientes termodinámicos de fraccionamiento ( $\alpha$ ). En la naturaleza, el proceso de condensación tiene lugar en condiciones de equilibrio, mientras que el de evaporación suele realizarse en condiciones de no-equilibrio. Si la evaporación ocurre en condiciones de equilibrio, la composición isotópica del vapor producido está determinada por la presión de vapor de las distintas especies moleculares,  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta\text{D}$  se relacionan entre sí según la expresión:

$$\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O}$$

Cuando no se cumplen las condiciones de equilibrio, la velocidad de evaporación de las distintas especies moleculares del agua depende tanto de las respectivas presiones de vapor, como de sus coeficientes de difusión en el agua y en el aire. Las velocidades de difusión de las tres especies moleculares del agua mencionadas anteriormente se ordenan de la siguiente forma (Dansgaard, 1964):

$$\text{VH}_2\text{O} > \text{VDHO} > \text{VH}_2^{18}\text{O}$$

Como consecuencia de esta relación, cuando se produce la evaporación en condiciones de no-equilibrio, el vapor producido tendrá una mayor proporción de DHO que aquel originado en condiciones de equilibrio, generándose un "exceso de deuterio" (respecto de la ecuación de Dansgaard) en el vapor a partir de la cual se producirán las precipitaciones. Posteriormente las

precipitaciones conservarán, como resultado del proceso de condensación, que tiene lugar en condiciones de equilibrio, el mencionado exceso de deuterio. De esta forma se explica que la composición isotópica de la mayor parte de las precipitaciones se encuentre dentro de una línea cuya pendiente coincide con la descrita anteriormente para condiciones de equilibrio, ya que en ambos casos la condensación se produce de ese modo, pero con un valor de exceso de deuterio prefijado durante la evaporación (d). La línea obedece en promedio a la siguiente ecuación, con un valor  $d=10\%$  (Craig, 1961):

$$\delta^2H = 8 \delta^{18}O + 10\%$$

La representación gráfica de esta recta recibe el nombre de **recta meteórica** y la ordenada al origen es el **exceso de deuterio** (Fig. 1)

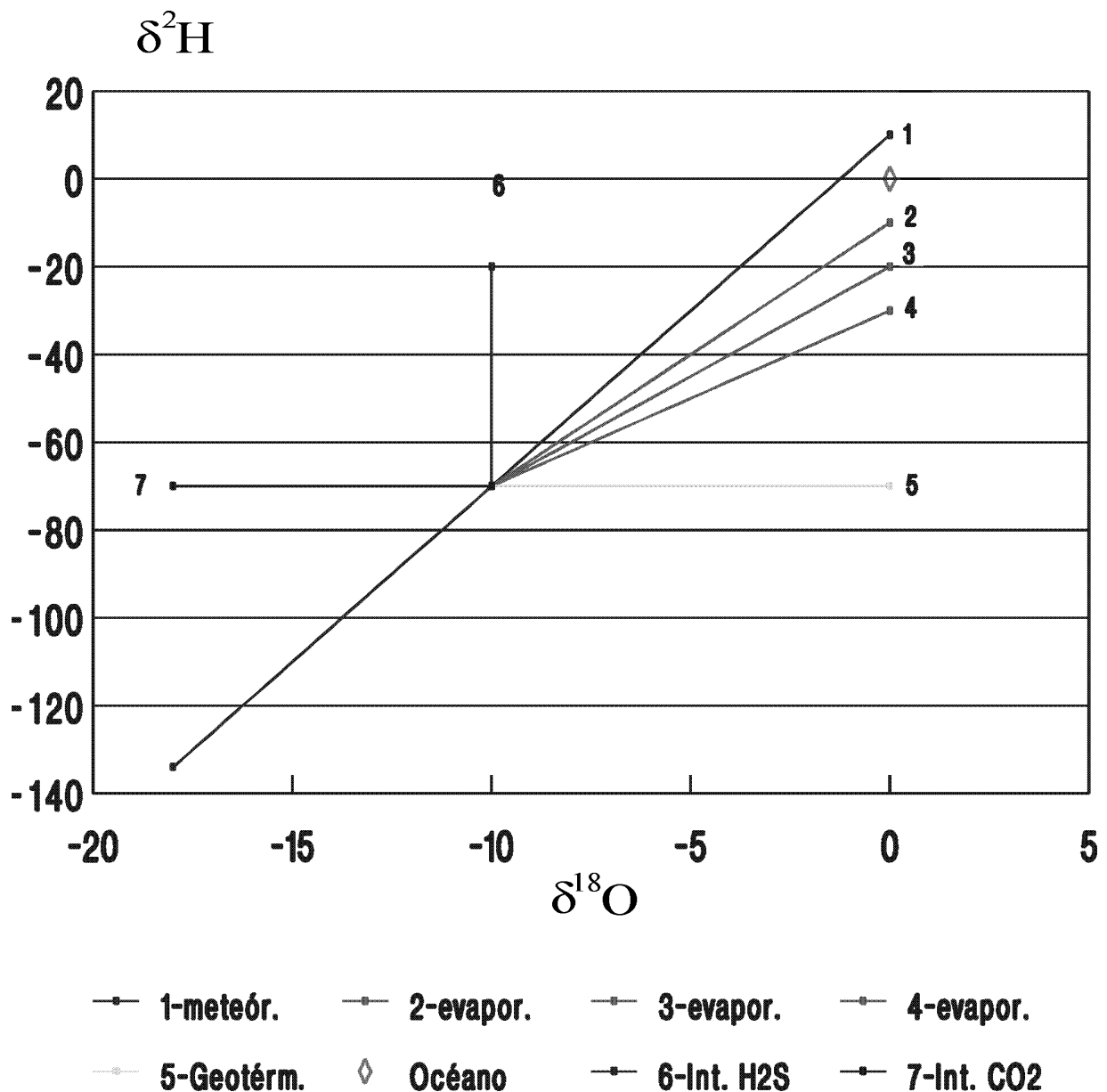


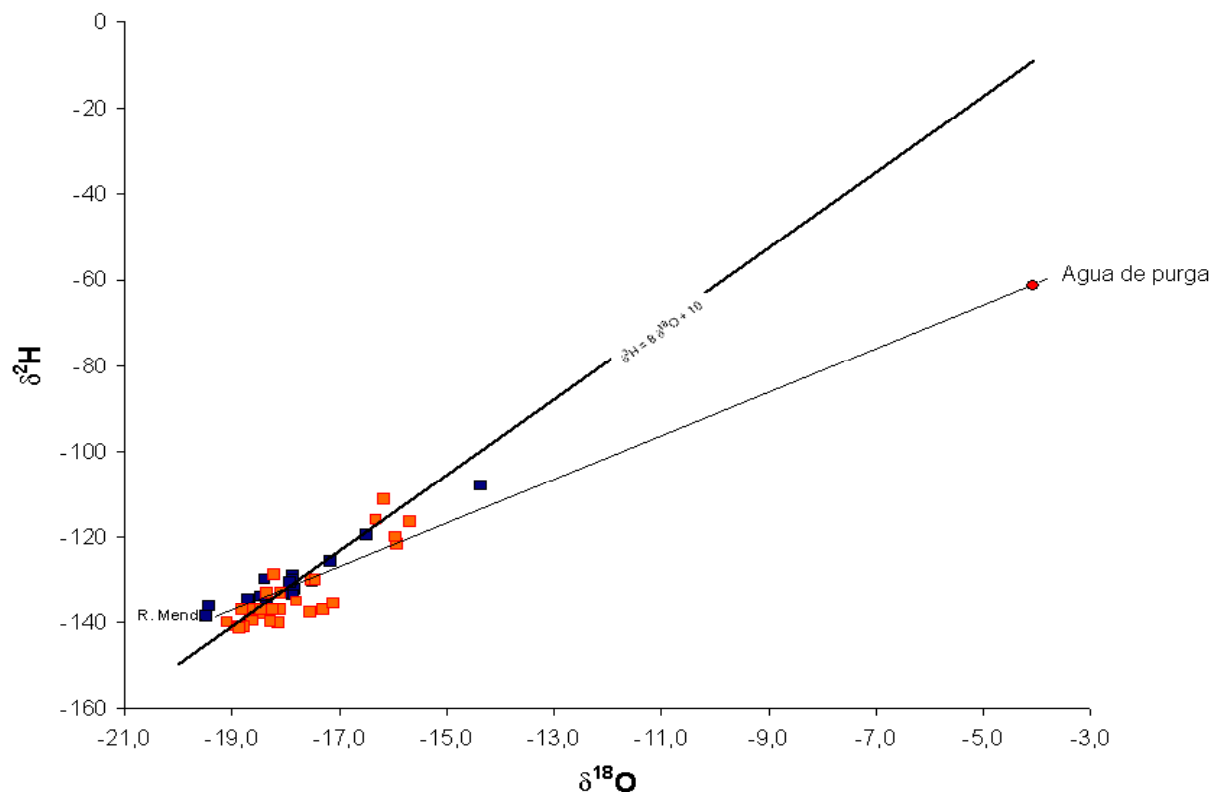
Figura 1: Recta meteórica promedio mundial y las principales causas de fraccionamiento durante el ciclo hidrológico

En el caso de evaporación a partir de un cuerpo de agua cerrado, como se comentó anteriormente, se produce un enriquecimiento de isótopos pesados en la fase líquida. El efecto cinético de la evaporación hace que las moléculas de  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  queden retenidas preferentemente en el líquido, y su concentración aumenta más rápidamente que la de DHO. Como resultado,  $\delta\text{D}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  se modifican a lo largo de una recta, llamada **línea de evaporación**, Fig. 1, 2-3-4, cuya pendiente oscila, en la mayoría de los casos, entre 4 y 6. El valor de la ordenada al origen suele ser menor que 10 y puede disminuir hasta hacerse negativa. En general, estos parámetros son buenos indicadores del proceso de evaporación. Sin embargo, como se verá más adelante, existen casos en que este proceso se puede confundir, por ejemplo, con un fenómeno de mezcla de aguas, y por lo tanto se debe recurrir a otros parámetros, como la comparación con datos químicos, para identificar de qué fenómeno se trata.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La toma de muestras de agua, superficiales y subterráneas, se realizó durante el mes de diciembre de 2002 y mayo de 2003 siguiendo normas y especificaciones estándar. Los pozos se seleccionaron de acuerdo a su ubicación dentro del gradiente hidrodinámico, su grado de salinización y la posibilidad de acceder a su muestreo. La conductividad eléctrica ( $\lambda$ ) y el pH se determinaron a boca de pozo. Los demás análisis se realizaron en los laboratorios del INGEIS. La conductividad se expresa en  $\mu\text{S cm}^{-1}$  y las concentraciones de  $\text{Cl}^-$  en  $\text{mg L}^{-1}$ .

La figura 2 muestra la recta meteórica promedio mundial (línea negra), que responde bien a las precipitaciones de origen pacífico (Panarello, 2002) y la composición isotópica de las aguas tomadas en la primera (cuadrados negros) y segunda fase (cuadrados rojos). También se presenta, con un círculo rojo, la composición isotópica del agua proveniente de la explotación petrolera. Adicionalmente, se ha graficado la recta de mezcla entre el agua del río Mendoza y el agua de purga (línea de menor pendiente).



**Figura 2.** Gráfico  $\delta^2\text{H}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$  de las muestras de ambas fases. Los puntos azules corresponden al primer muestreo y los rojos al segundo.

En la figura 2 se puede observar que no existe un patrón definido que diferencie las muestras obtenidas en el primer muestro (PM) y el segundo (SM). Sin embargo en el caso del SM se puede apreciar un número mayor de especímenes que sufrieron intensos procesos de evaporación. Si las muestras provinieran de una mezcla entre aguas tipo río Mendoza y el agua de purga, las mismas deberían ubicarse sobre la recta que representa la mezcla de estas agua o agruparse entorno a ella. Esto sucede con solamente dos de ellas, pero que al no ser salinas dejan de ser sospechosas (Fig. 2)

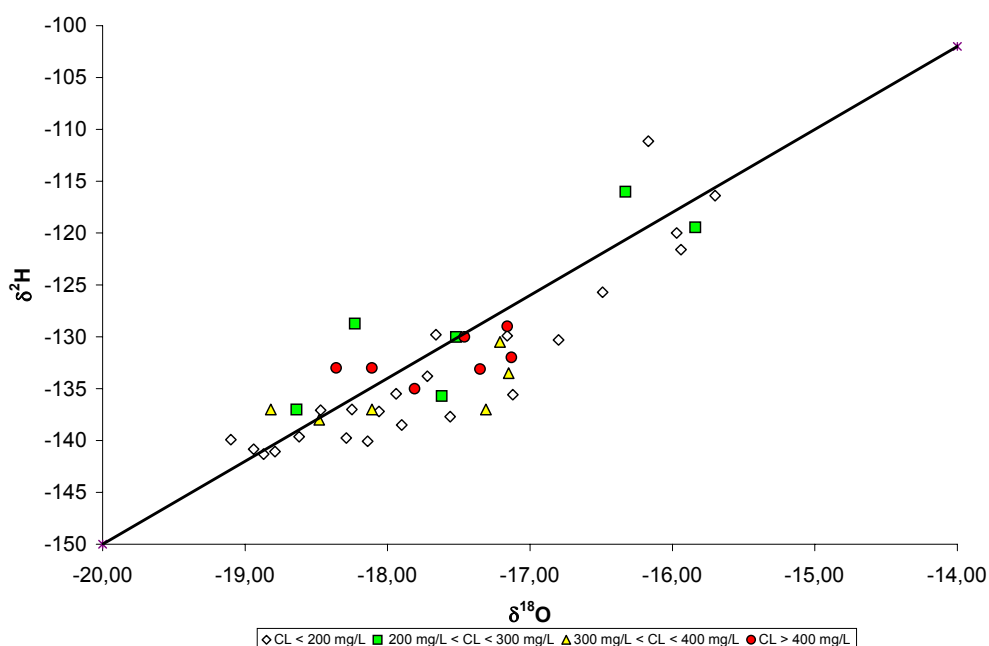


Figura 3. Diagrama  $\delta^2\text{H}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$  donde se clasifican las muestras de acuerdo a su salinidad

En la figura 3 se presentan en un diagrama  $\delta^2\text{H}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$  las muestras de ambos muestreos pero esta vez acotando su contenido salino. Se puede apreciar que a medida que aumenta la salinidad la dispersión de los datos se hace menor. Así, las muestras con valores de  $\text{Cl}^-$  inferiores a  $200 \text{ mg L}^{-1}$  cubren todo el espectro graficado. Las contenidas entre  $200\text{-}300 \text{ mg L}^{-1}$ , se distribuyen en una zona de menor tamaño, siguiendo las entre  $300\text{-}400 \text{ mg L}^{-1}$  y finalmente las mayores a  $400 \text{ mg L}^{-1}$  forman un grupo en la parte central del diagrama. Por otra parte si se grafica la conductividad contra el contenido de cloruros (Fig.4) se observa que a medida que aumenta la concentración también lo hace la dispersión. Esto puede deberse al hecho de que la fuente primera de salinización es el leaching (disolución de sedimentos en el acuífero - zona de correlación) pero a salinidades mayores influyen otras fuentes de carácter más aleatorio como mezclas con aguas más salobres.

Dado el carácter más conservativo de los isótopos estables, el proceso de salinización por mezcla permite variar la composición isotópica solo dentro del rango de los polos de la misma y es por eso que no se observa en ellos gran dispersión de valores.

Las líneas límites definen la mezcla con aguas tipo río Mendoza (línea roja) y aguas tipo río Tunuyán (línea azul) con el agua de purga, es condición necesaria que las aguas influenciadas por las salmueras del petróleo aparezcan sobre las líneas o en el espacio comprendido entre ambas. Se puede observar que sólo dos de las muestras (8, 4), de la nueva fase (triángulos rojos) caen fuera de la región definida como de “mezcla probable”, por lo tanto quedan descartadas de estar contaminadas con agua de purga. En la figura 5, se presenta la recta de mezcla entre el agua del río Mendoza y el agua proveniente de la explotación petrolera, donde los puntos rojos representan

distintos porcentajes de mezcla entre las aguas. También se representaron las muestras tomadas del PM y SM y una recta que representa la tendencia de las muestras de ambas fases de muestreo

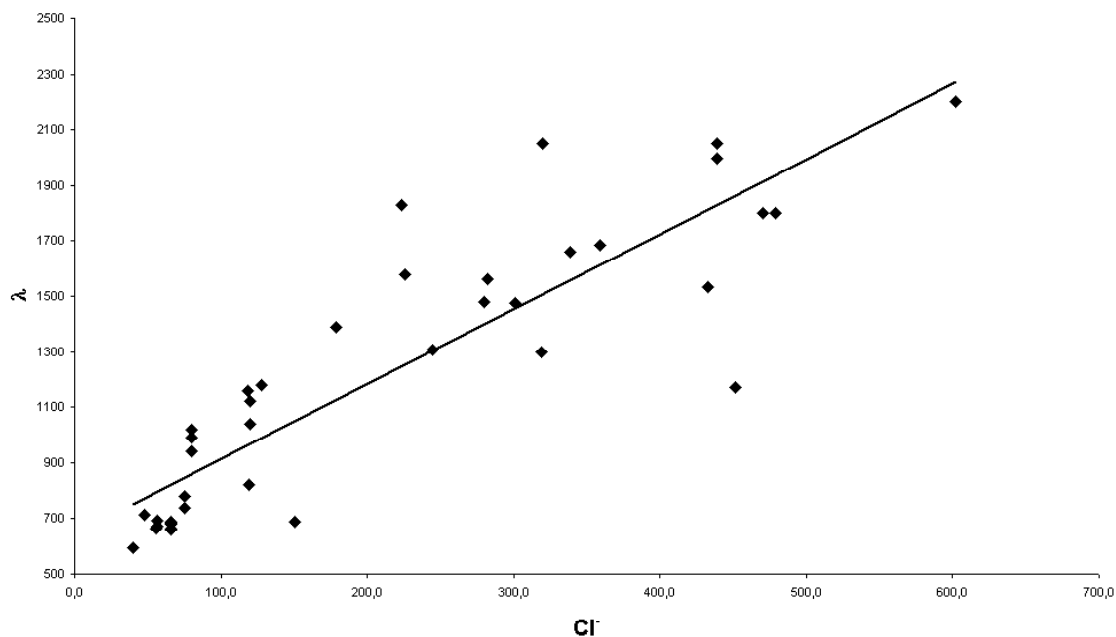


Figura 4. Conductividad eléctrica vs. el contenido de  $\text{Cl}^-$

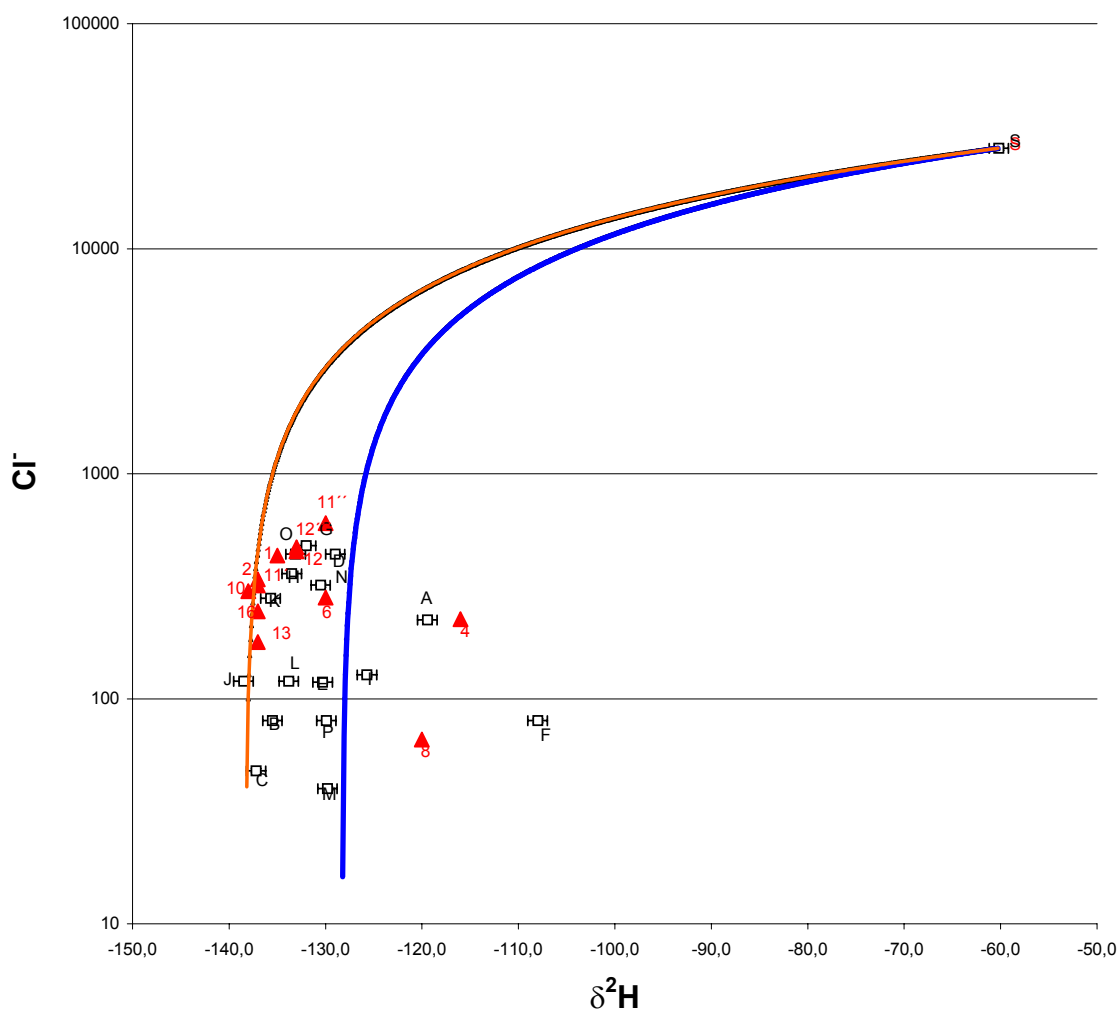
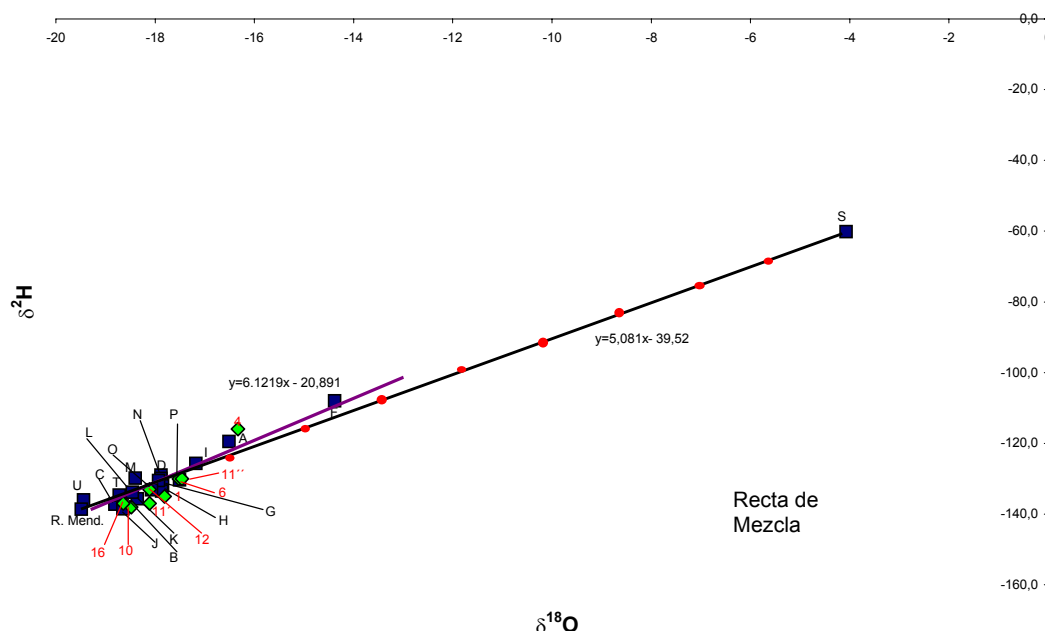


Figura 5. Comparación de los datos obtenidos en la primera fase (círculos con barras de error) con los de la segunda, triángulos rojos.



De esta figura se pueden destacar dos hechos fundamentales: a) el porcentaje de mezcla estimado a partir de los datos isotópicos y observando la recta de mezcla de referencia, superaría en todos los casos el 5%; b) la pendiente de esta recta de mezcla es menor que la registrada por las muestras.

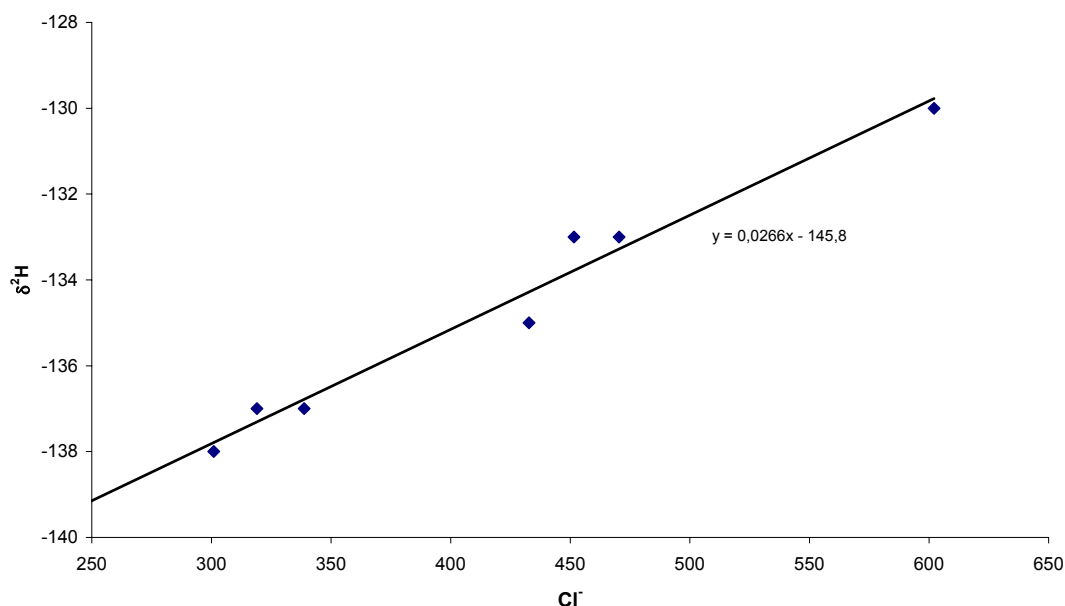


**Figura 6.** Recta de mezcla entre el agua del Río Mendoza - Salmuera

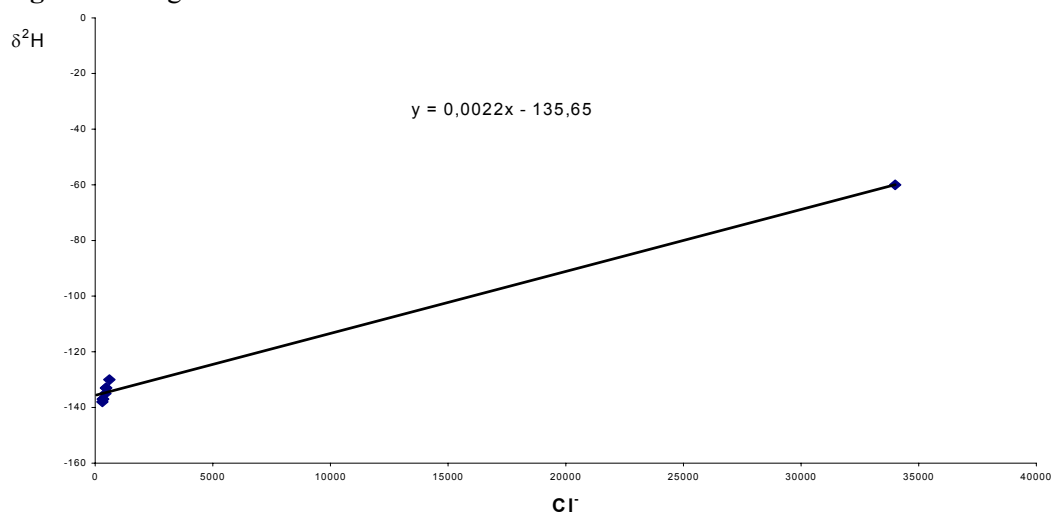
Recordando que los isótopos son esencialmente conservativos y las estimaciones de porcentaje de mezcla son más precisas que aquellos que se obtienen por química convencional, el aporte estimado, en todos los casos está comprendido entre el 5% y el 10 % de mezcla. Estos porcentajes de mezcla modificarían la impronta química (contenido de cloruro) hacia valores mucho más altos de los registrados. Con un aporte de agua de purga del 5%, los valores de cloruros deberían ser de  $1500 \text{ mg L}^{-1}$  lo cual es al menos 3 veces los medidos, ver Tabla 1. Adicionalmente si consideramos un valor de mezcla del 10% los valores de cloruros deberían ser de  $3500 \text{ mg L}^{-1}$ . En ningún caso las concentraciones de cloruros se acercan a estos valores por lo que un proceso de mezcla con agua de purga quedaría descartado.

Cuando se observan los análisis isotópicos del hidrógeno en diagramas lineales frente a cloruros, figura 6, puede observarse que existe una correlación entre la concentración de los mismos y la variación en la composición isotópica del hidrógeno. Esta situación podría ser explicada por un proceso de mezcla o bien de evaporación. Sin embargo, a través de la pendiente de la recta de mezcla se puede inferir por extrapolación si uno de los componentes de la misma es la salmuera proveniente de la explotación petrolera. Si se calculan los parámetros de regresión de la eventual recta de mezcla, los valores son:

$$\delta^2\text{H} = 0.0266 [\text{Cl}^-] - 145.8 \text{ ‰}$$



**Figura 7.** Diagrama de correlación  $\delta^2\text{H} - \text{Cl}^-$  de las muestras analizadas sin considerar la salmuera.



**Figura 8.** Diagrama de correlación  $\delta^2\text{H} - \text{Cl}^-$  de las muestras analizadas considerando la salmuera.

Si se inserta en el grafico de la figura 5, el punto correspondiente al agua de purga, con valores de  $\delta^2\text{H} = -60\text{‰}$  y  $[\text{Cl}^-] = 34000 \text{ mg L}^{-1}$  se obtiene la figura 8. Calculamos la nueva recta mediante una regresión lineal, se obtiene la siguiente ecuación:

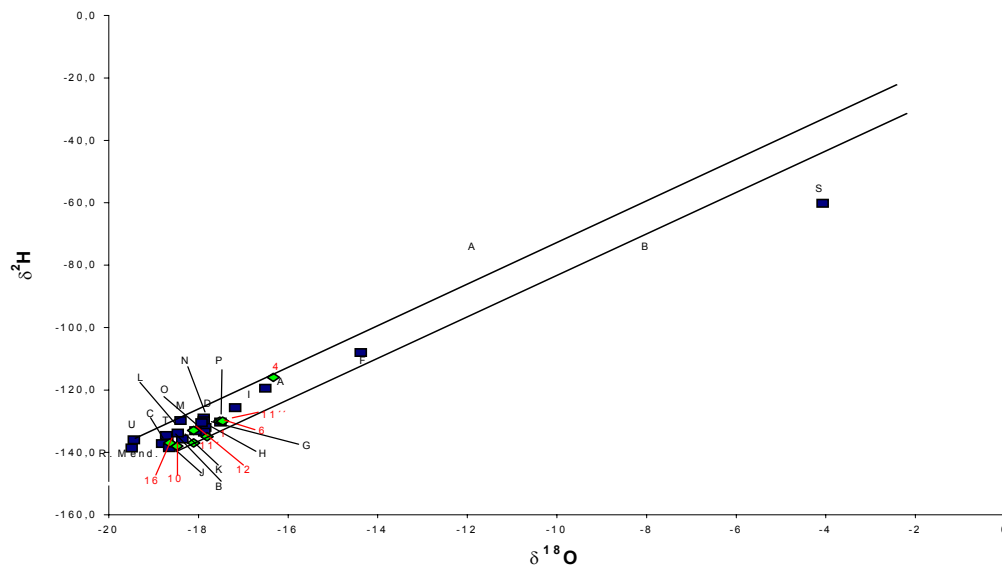
$$\delta^2\text{H} = 0,0022 [\text{Cl}^-] + 135,65 \text{ ‰},$$

La pendiente de esta nueva recta es 12 veces menor que la definida en la figura 7 por lo que se puede excluir la salmuera como polo de mezcla, es decir bajo ningún punto de vista puede pertenecer a la extrapolación de la recta de regresión de la mencionada figura.

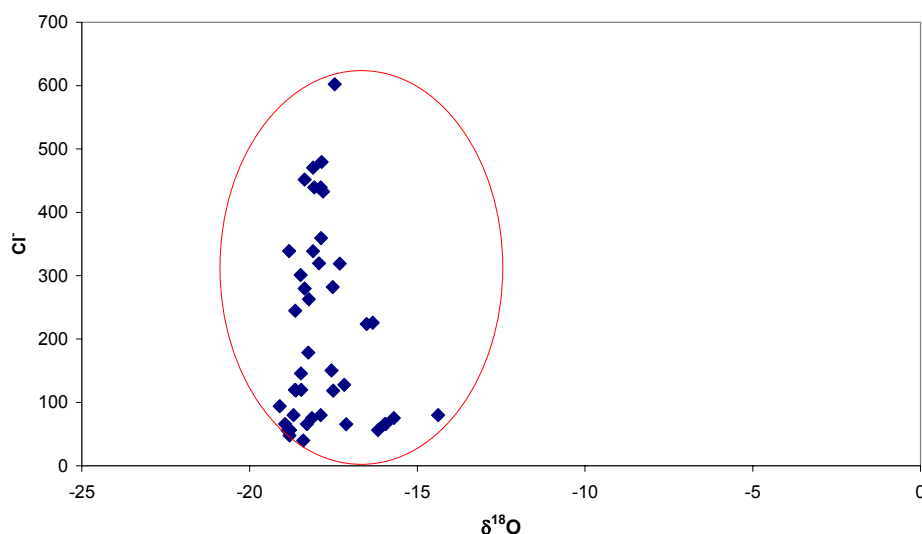
***Del análisis de las ecuaciones y de los las figuras 7 y 8, se concluye que el agua de purga no pertenece a la recta de regresión de las muestras salinizadas y por lo tanto no participaría en la salinización de los niveles de explotación.***

Con objeto de explicar los valores isotópicos obtenidos en ambos muestreos, se realizó un modelado que muestra un proceso de evaporación tipo Rayleigh a 25°C, con intervalos de fracciones de líquido remanente de 0.1 (figura 9). En este gráfico se propusieron dos composiciones isotópicas iniciales: una tipo río Mendoza y otra tipo río Mendoza enriquecida por evaporación. Como se puede observar, todas las muestras se ubican entre ambas rectas, reflejando claramente que las variaciones en la composición isotópica pueden explicarse por un proceso de evaporación.

La concentración de cloruros, en este caso, no puede ser explicada a partir de un proceso de evaporación tipo Rayleigh *per se*. Se postula entonces, que la misma es adquirida a partir de un proceso de disolución de sales presentes en suelo y subsuelo. El proceso de disolución no genera un fraccionamiento isotópico y por lo tanto no se registrarían modificaciones en la composición isotópica con aumentos de la concentración. Este se ve ilustrado en la figura 10, donde se ve la relación existente entre la concentración de cloruros y los valores de oxígeno-18 en las muestras del PM y SM.



**Figura 9.** Modelo de evaporación de Rayleigh



**Figura 10.** Relación entre la concentración de cloruros y la composición isotópica del oxígeno

## CONCLUSIONES

Sobre la base de las evidencias obtenidas hasta el presente, los resultados de la del estudio isotópico de la salinización de los acuíferos en la zona de Ugarteche, Provincia de Mendoza implican que, en el momento actual, el agua de purga proveniente de la explotación petrolera no tiene ninguna influencia en el proceso de salinización de los niveles de explotación. La infiltración de aguas evaporadas provenientes del regadío por inundación puede ser responsable de los valores hallados de la salinidad. Estos resultados son válidos al tiempo del muestreo y no son extrapolables a todos los pozos no muestreados en el área considerada.

## LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ÁLVAREZ, A., 1981. Informe de tareas para la evaluación hidroquímica general de la Zona Norte de la provincia de Mendoza. Mendoza CRAS, Informe interno. Inédito.

ÁLVAREZ, A., 1984. Evaluación hidroquímica del recurso hídrico de la zona Norte de la provincia de Mendoza. CRAS Serie Técnica P-271.

CRAIG, H., 1957. Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for massspectrometric analysis of carbon dioxide. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 12: 133-137.

DANSGAARD, W., 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16: 4-35.

GONFIANTINI, R., 1978. Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature* 271: 534.

PANARELLO, H.O.; C. DAPENÑA, 1996. Mecanismos de recarga y salinización en las cuencas de los ríos Mendoza y Tunuyán, Mendoza, República Argentina: evidenciados por isótopos ambientales. Memorias del XII Congreso Geológico de Bolivia- Tarija, Bolivia: 531-543.

PANARELLO, H.O. y PARICA, C.A., 1984. Isótopos del oxígeno en hidrogeología e hidrología. Primeros valores en aguas de lluvia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, XXXIX (1-2): 3-11.

PANARELLO, H. O., 2002. Características Isotópicas y termodinámicas de reservorio del campo geotérmico Copahue-Caviahue, provincia del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57 N° 2: 182-194.