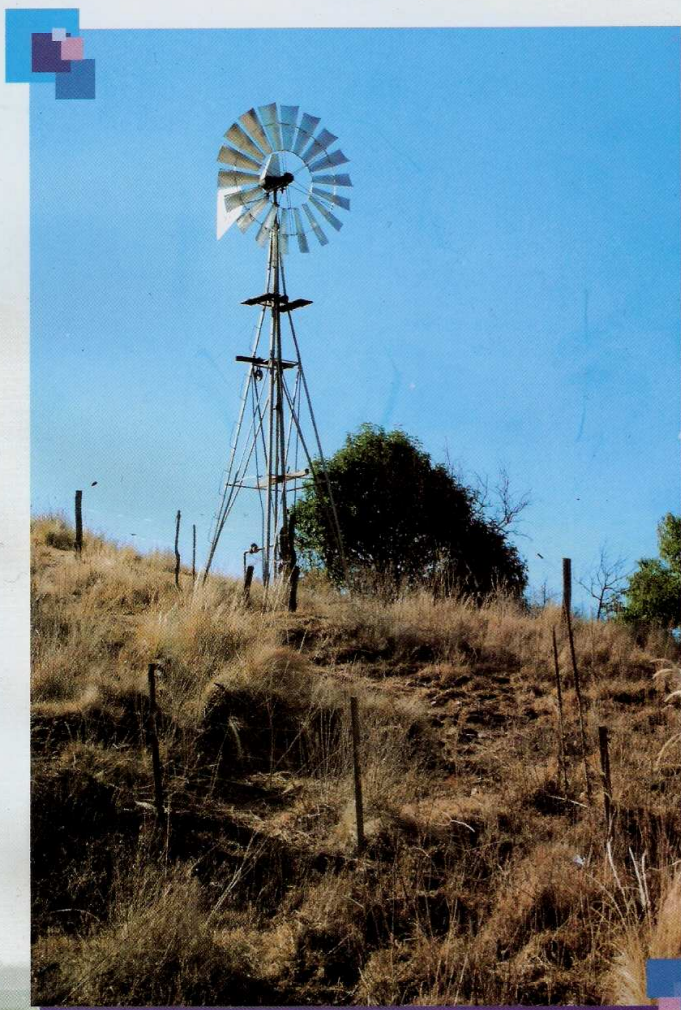


# APORTES DE LA HIDROGEOLOGÍA AL CONOCIMIENTO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Tomo II



Editores: **Eduardo E. MARIÑO y Carlos Juan SCHULZ**



Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Argentino



FACULTAD DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

Aportes de la Hidrogeología al Conocimiento de los Recursos Hídricos – Tomo II- 1ª ed.-  
editado por Eduardo E. Mariño y Carlos J. Schulz. Buenos Aires: Asociación Civil Grupo  
Argentino de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Santa Rosa: Amerindia Nexo di  
Nápoli, 2009.  
376 p. ; 29,7x21 cm.

ISBN 978-987-1082-36-0

1. Recursos Hídricos 2. Hidrogeología. I. Mariño, Eduardo E. ed. II Schulz, Carlos J., ed.  
CDD 333.91

Fecha de catalogación: 26/08/09



Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Argentino



Santa Rosa, La Pampa – Agosto 2009  
Diseño e impresión: Nexo/di Nápoli  
Queda hecho el depósito que marca la Ley 11.723  
Impreso en Argentina

## CRITERIOS HIDROQUÍMICOS E ISOTÓPICOS PARA DETERMINAR GÉNESIS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SALOBRES EN UN SECTOR AL SUR DE CACHEUTA (Provincia de Mendoza)

Lisandro Hernández <sup>(1)</sup>, Cristina Dapeña <sup>(2)</sup> y Mario A. Hernández <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Fac. de Cs. Naturales y Museo UNLP. Cát. Fundamentos de Geología [lisandro\\_h@sinectis.com.ar](mailto:lisandro_h@sinectis.com.ar)

<sup>(2)</sup> INGEIS [dapenna@ingeis.uba.ar](mailto:dapenna@ingeis.uba.ar) <sup>(3)</sup> Fac. de Cs. Naturales y Museo UNLP. Cát. de Hidrogeología - CONICET [mario\\_h@sinectis.com.ar](mailto:mario_h@sinectis.com.ar)

### RESUMEN

Se exponen resultados de un estudio hidrogeológico basado en criterios geohidroquímicos e isotópicos en las cuencas de los Aos. de las Minas y Agua del Corral (220 km<sup>2</sup>). El objetivo fue identificar la génesis de la salinidad del agua subterránea y su posible relación con el vertido de aguas de purga de yacimientos petrolíferos hoy inactivos. El clima local es semiárido mesotermal en transición a árido con precipitación media de 195 mm/año y déficit hídrico 585 mm/año. Previa generación de un Modelo Digital del terreno, se midieron niveles de fuentes existentes y tres freáticos practicados y se elaboró un mapa sobre base cartográfica IGM e imagen satelital ASTER reconociéndose zonas de recarga, circulación y descarga y direcciones principales de flujo. Fueron muestreadas las aguas subterráneas y el aledaño río Mendoza para analitos mayoritarios, minoritarios, oligoelementos inorgánicos, HTP, BETX y VOC's. Se realizaron análisis isotópicos (<sup>2</sup>H <sup>18</sup>O) <sup>3</sup>H y <sup>222</sup>Rn en los laboratorios del INGEIS. La información hidroquímica (incluyendo agua de purga petrolífera) fue tratada estadísticamente y procesada por métodos gráficos. Los resultados isotópicos, representados en diagramas convencionales  $\delta^2\text{H}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$ . El <sup>3</sup>H fue utilizado como indicador de tiempo de tránsito y el <sup>222</sup>Rn como radionucleido diagnóstico. Los elementos de juicio hidroquímicos e isotópicos, permitieron demostrar la ausencia de aguas de formación petrolífera en el acuífero local o posible mezcla de aguas, y su pertenencia al ciclo actual.

**Palabras clave:** agua subterránea, hidroquímica, isótopos ambientales, Radón, Mendoza

### ABSTRACT:

The results of a hydrogeological survey based on geohydrochemical and isotopic criteria in the basins of Minas and Agua del Corral streams (220 km<sup>2</sup>) are presented. The objective is to identify the origin of groundwater salinity and its possible relationship with the discharge of purge water in abandoned petroleum fields. The local climate is mesothermal, transitional to arid, with a mean rainfall of 195 mm/year and a water deficit of 585 mm/year. Prior to the creation of a terrain digital model, levels were measured in existing wells and in three phreatimeters, a map was drawn up based on IGM cartography and ASTER satellite imagery. Recharge, circulation and discharge zones and main flow directions were recognized. Samples from groundwater and the nearby Mendoza River were collected for major and minor ions, inorganic trace elements, HTP, BETX and VOC's. Isotopic analyses (<sup>2</sup>H <sup>18</sup>O) <sup>3</sup>H and <sup>222</sup>Rn were also made at INGEIS laboratories. The hydrochemical information (including petroleum purge water) was statistically treated and processed with graphical methods. The isotopic results were represented in conventional scatter plots ( $\delta^2\text{H}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$ ). <sup>3</sup>H was used as an indicator of transit time and <sup>222</sup>Rn as a diagnostic radionuclide. The hydrochemical and isotopic data allowed demonstrate the absence of petroleum formation waters in the local aquifer or a possible water mixture and its relation to the present cycle.

**Key Words:** Groundwater - Hydrochemistry - Environmental isotopes - Radon - Mendoza

## INTRODUCCIÓN

Vastos sectores extrandinos de la provincia de Mendoza se hallan bajo un régimen hídrico semiárido a árido y consecuentemente, con presencia de aguas subterráneas salobres, contrastando con las alóctonas fluviales de origen nival y baja salinidad.

El desarrollo de la explotación petrolífera, hoy en retroceso en la región, llevó a la operación de recuperación secundaria por inyección de agua en los yacimientos para mantener una producción económicamente rentable. En ese contexto se habría producido en algún momento y lugar el vertido a campo de aguas de formación o de purga con alta salinidad, lo cual trajo a confusión (legítima o a veces interesada) acerca del origen de la salinidad.

Resulta entonces importante dilucidar para la zona involucrada esta incertidumbre, recurriendo a técnicas que como las hidroquímicas e isotópicas, aportan elementos diagnósticos de alto valor para conseguirlo, en concurrencia con los precedentes de la hidrogeología física e hidrodinámica.

La participación de los laboratorios analíticos de Grupo INDUSER y del Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS) ha permitido merced a la calidad de las determinaciones, los resultados que en el trabajo se exponen.

El área de estudio (Figura 1) pertenece al sector noroccidental de la cuenca petrolífera Cuyana (subcuenca o depocentro Cacheuta – Tupungato) en la Provincia de Mendoza, al Sudeste de la ciudad de Cacheuta (Departamento Luján de Cuyo). Se localiza en las cuencas de los arroyos de las Minas y Agua del Corral (220 km<sup>2</sup>).

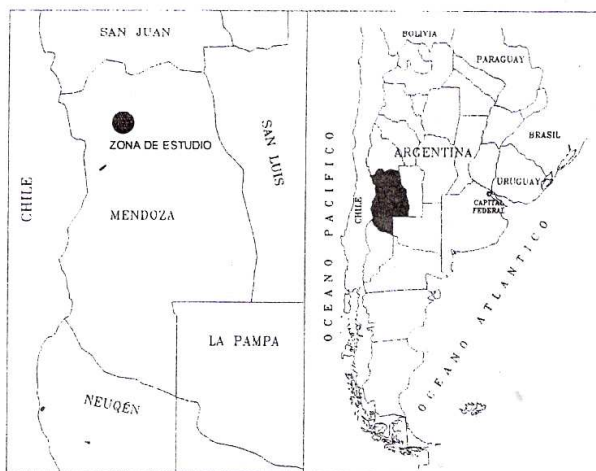


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Los autores agradecen la importante contribución de los colegas Lic. José Horacio Ceci y Carlos F. Scatizza y del Dr. Hector Panarello.

## OBJETIVOS Y ALCANCE

El **objetivo general** fue establecer un diagnóstico de la situación ambiental actual y específicamente, la procedencia de aguas subterráneas salobres yacientes en predios del lugar, para deslindar en consecuencia la posible influencia de las aguas de formación procedentes de la actividad petrolífera.

Los **objetivos particulares** se dirigieron a la caracterización geohidrológica del lugar, identificación de las zonas de recarga, circulación y descarga, reconocimiento de las particularidades hidroquímicas e isotópicas del agua subterránea, con miras a la protección ambiental del recurso en una comarca con posición natural crítica a las disponibilidades.

## METODOLOGÍA

La tarea inicial consistió en la localizar, revisar críticamente y transferir información antecedente. La hidrometeorológica se obtuvo del Servicio Meteorológico Nacional (Estaciones Cacheuta, Mendoza y Uspallata, con diferente extensión de registros documentados) para definir el tipo de clima local y su incidencia en la fase terrestre subterránea del ciclo hidrológico.

El reconocimiento de la geomorfología regional y local incluyó la adquisición de una imagen satelital ASTER y su interpretación, con el correspondiente chequeo de campo. Se dispuso de otra imagen LANDSAT TM (bandas 3,2,1) únicamente con finalidad referencial. Se recurrió además a cartografía geológica producida por SEGEMAR: Mapa Geológico de la Provincia de Mendoza esc. 1:500.000, Hoja 24 a-b Cerro Tupungato, Hoja 24 c Cacheuta, y perfiles de perforaciones petrolíferas.

Información sobre características de las aguas subterráneas fue escasa y fundamentalmente hidroquímica, como la producida EEA Mendoza INTA, Instituto de Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería UNC, Facultad de Ciencias Agrarias UNC, Instituto Argentino de Investigación de las Zonas Áridas (IADIZA), Dto. General de Irrigación de la Provincia de Mendoza y Comisión Nacional de Energía Atómica Regional Cuyo. Su recurrió también a antecedentes generados por el Instituto Nacional del Agua (INA).

Sobre la base de la elaboración de los antecedentes se planificó y realizó la labor de campo abarcando el reconocimiento regional (Julio-Agosto 2004) y el relevamiento local (Diciembre 2004). Los trabajos consistieron en primer lugar, en el chequeo de campo de las unidades hidromorfológicas demarcadas preliminarmente por medio de elaboración de información satelital. Para el tratamiento e interpretación de la imagen ASTER se recurrió al procesamiento digital de la escena, logrando una composición falso color utilizada para la georeferenciación y supervisión no clasificada del análisis morfológico de las cuencas. Mediante polinomios con puntos de control bidimensional obtenidos con GPS, se georeferenció la imagen, permitiendo así la correcta importación de cartografía digital.

Fue generado un modelo digital de elevación (MDE) para la escena, automatizado utilizando la tecnología de "stereo matching", quedando representado por una grilla de elevaciones de 30m x 30m, lo que implica un dato de altura (z) cada 2 píxeles. Luego se ortorrectificó la imagen y el MDE a un plano de referencia predeterminado, originándose un mapa topográfico de curvas de nivel, apoyado cartografía IGM. Una vez obtenidos los elementos representativos del relieve se trazó la red hidrográfica y en base a un mapa auxiliar de aporte hídrico, se trazaron los cauces principales y tributarios delimitándose las cuencas y subcuencas. Por último fueron marcadas las principales unidades geomórficas, cuyos contornos como se dijese fueron chequeados en el campo.

Posteriormente se realizó un inventario de fuentes de agua subterránea, con posicionamiento GPS, medición de profundidad de los niveles, determinaciones orientativas "in situ" y muestreo de agua con finalidad analítica. Se construyeron por el sistema de percusión tres freáticos "ad hoc", en proximidades de pozos petrolíferos y lecho de un arroyo con diámetro de 6" y entubados en PVC  $\varnothing$  4" con filtro, prefiltro de grava y cementación del espacio anular. El muestreo de agua subterránea fue conducido según la norma ASTM D 4448-85a *Standard Guide for Sampling Groundwater Monitoring Wells*. La conservación y transporte según la norma ASTM D3325, con la correspondiente cadena de custodia. Aquellas destinadas a análisis fisicoquímicos se remitieron al Laboratorio

INDUSER y las de isótopos estables y radioisótopos al INGEIS. La información química de agua de los pozos petrolíferos proviene de antecedentes.

En el laboratorio fisicoquímico se analizaron bicarbonatos, sulfatos, cloruros, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Estroncio, Bario, Plomo, Cobalto, Residuo salino (TDS), Hidrocarburos totales, BETX y VOC's. Las determinaciones en INGEIS incluyeron isótopos ambientales ( $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ ) y radiactivos ( $^3\text{H}$ , y  $^{222}\text{Rn}$ ).

Los aspectos hidrodinámicos pudieron reconstruirse a partir de pocas mediciones de niveles de agua en pozos existentes y los freáticos construidos, que si bien no fueron suficientes para el trazado de mapas equipotenciales, permitieron advertir el sentido del flujo subterráneo una vez identificadas las características del sistema geohidrológico local, en función de la información geológica de subsuelo y las observaciones de campo.

La información hidroquímica, tanto histórica como generada a propósito del estudio, resultó de fundamental importancia en apoyo a la concepción hidrodinámica, desde el punto de vista geoquímico y utilitario. Para el tratamiento y graficación de los análisis químicos se utilizó el software Easy\_Quim.6 con representaciones según Piper-Hill y Schöeller-Berkaloff, que resultaron especialmente útiles para diferenciar aquellas aguas del ciclo hidrológico actual de las más antiguas, provenientes de formaciones petrolíferas.

Los análisis isotópicos ( $\delta^2\text{H}$  y  $\delta^{18}\text{O}$ ) fueron realizados en el laboratorio de Isótopos Estables del INGEIS. Las muestras fueron tratadas siguiendo técnicas convencionales (Coleman *et al.* 1982) y (Panarello y Parica, 1984). Las mediciones de las relaciones isotópicas se realizaron en un espectrómetro de masas de triple colector, sistema de introducción múltiple, Finnigan MAT Delta S. Los resultados se expresan como  $\delta$ , definido como:  $\delta = 1000(R_s - R_p)/R_p$  ‰, donde,  $\delta$ : desviación isotópica en ‰; S: muestra; P: referencia internacional; R: relación isotópica ( $^2\text{H}/^1\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ). La referencia utilizada es Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW) (Gonfiantini, 1978). Las incertidumbres son  $\pm 0,2\%$  para  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\pm 1,0\%$  para  $\delta^2\text{H}$ . La elaboración de resultados incluyó la construcción de gráficos convencionales  $\delta^2\text{H}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$ . En el proceso de análisis de  $^3\text{H}$  se utiliza el enriquecimiento electrolítico, luego del cual las muestras se miden por 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  $^1\text{H}$ . La incertidumbre se calcula individualmente para cada muestra de acuerdo con Gröning y Rozanski (2003). Similar procedimiento se empleó para  $^{222}\text{Rn}$ , explicándose al tratar los resultados las razones para utilizar este gas radionucleido en vez de su antecesor  $^{226}\text{Ra}$ .

Con la interpretación conjunta de los elementos hasta aquí descriptos, se elaboró el modelo conceptual de la situación geohidrológica cuyos resultados se exponen más abajo.

## CARACTERIZACIÓN GENERAL

Para la definición **hidrometeorológica-climática** se utilizaron las estaciones ya citadas (SMN Cacheuta, Mendoza y Uspallata). La precipitación media anual para el lapso 1941-1990 es de 195 mm, con radicación intranual en el semestre cálido y pico en Octubre. Los mínimos ocurren en el semestre frío y extremo en Junio. El déficit hídrico (sin considerar nevadas) ascendería a 585 mm/año. Las heladas acaecen con frecuencia de 5 a 41 días/año y las nevadas de 5 a 9 días/año. Los vientos dominantes son de los cuadrantes Sur, Sudeste y Sudoeste, con frecuencia media superior a 200/1000 muchas veces superados por las calmas (>300/1000). Los menos frecuentes son los del Este (<10/1000). El tipo climático según la clasificación de Thornthwaite es de tipo  $\text{DB}_2\text{'d a'}$  (Semiárido, mesotermal con nulo o pequeño déficit de agua y concentración estival de la eficiencia térmica < 48%) en transición a Arido ( $\text{EB}_2\text{'d a'}$ ). Adquieren importancia para el régimen hídrico superficial y subterráneo, la ocurrencia de nevadas cordilleranas y existencia de

heladas y nevadas extrandinias, fenómenos asociados a mecanismos particulares de las comarcas áridas en el caso de la recarga subterránea.

Desde el punto de vista **fisiográfico-hidrográfico** la comarca se emplaza en el ámbito del Valle del Carrizal, flanqueado por los de los ríos Mendoza y Tunuyán. Predominan como geofomas positivas cerrilladas altas y en cuchilla hasta una cota de 2216 y 1895 m smn respectivamente, y como negativas locales cauces transitorios como los que surcan la zona: arroyos Agua del Cajón y Agua Ojo del Puerco, de activación intermitente.

La **geología** aflorante es esencialmente terciaria en las partes altas y cuaternaria reciente en las más bajas (planicies aluviales de los cursos transitorios). También los suelos se diferencian según su posición topográfica desde rocosos en cerrilladas y cordones, hasta *Entisoles (Torriortentes típicos)* en las planicies aluviales y *Salortides típicos* en los bajos endorreicos. Son en general muy poco desarrollados, con el sustrato próximo a superficie, de baja aptitud agropecuaria y limitados a la actividad pastoril ovina o caprina.

Está restringida la **actividad socioeconómica** local a explotación petrolífera actualmente en retroceso y ganadera de muy baja receptividad, por aguas salobres y mala calidad utilitaria general de los suelos. Existe una incipiente minería extractiva de áridos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pudieron diferenciarse seis ambientes geomórficos principales (Figura 2a). La Cerrillada alta (Ca) en el extremo Suroeste del Cerro Cacheuta (2216 m snm), entre el río Mendoza, Quebrada de las Minas y el río Cacheuta, con la pendiente más alta (0.25). Las Cerrilladas en cuchilla (Cc), zona generadora como el anterior, incluye a las cuchillas Agua del Corral (altura máxima 1416 m), Agua de los Bueyes (1850 m) y de Tupungato (1895 m), con pendiente 0.20. El ambiente Interfluvios (If) se desarrolla en el centro-Sur de la zona y es una suerte de transición entre las cuchillas y la Llanura aluvial, con divisorias más marcadas que en el ambiente siguiente, menor generador de aportes superficiales y mayor de infiltración. La Bajada pedemontana (Bp) es el ambiente que se desarrolla entre el Cc, más precisamente desde el quiebre de pendiente (del orden de 0.20 a 0.05) hasta la Llanura. Se advierte la presencia de cuerpos medanosos, algunos de ellos de dimensiones relativamente importantes como los denominados Médano de la Corona. También aparecen sectores topográficamente deprimidos donde se concentran afloramientos de agua subterránea, con formación de pequeñas aguadas que experimentan progresiva salinización por efectos depletivos. Todo el sector oriental de la región conforma la Llanura Aluvial (Lla), cuya pendiente desciende a menos de 0.02 y en virtud de la buena permeabilidad de los terrenos aflorantes, los arroyos que la alcanzan se infiltran completamente. El ambiente Cauces de ríos y arroyos (Cra) no tiene representación en el mapa por razones de escala.

La **red hidrográfica** (Figura 2a) ofrece un diseño dendrítico a subparalelo. Los cursos principales son los arroyos Agua del Cajón, que escurre hacia el Noreste, y Agua de los Bueyes que luego cambia de nombre a Arroyo Agua Ojo del Puerco y que fluye hacia el Este-Noreste. Estos ríos y arroyos nacen en el ambiente **Cc**. Los principales muestran valles en "V" cerca de las nacientes y se ensanchan aguas abajo una marcada planicie aluvial de paredes abruptas debido a la competencia de los materiales geológicos

Dentro de la **geología** local interesan los terrenos terciarios y cuaternarios, por ser escenario principal de los fenómenos geohidrológicos. Un esquema estratigráfico es mostrado en el Cuadro 1, tomado de Yrigoyen (1993) modificando el de Kokogian *et al* (1993) y la distribución de las formaciones en la Figura 2b. El cuaternario está representado por varios ciclos de sedimentación (*Fm. Los Mesones*, fanglomerados y *Fm. La Invernada*, bloques), sedimentos fluviales transportados por los cursos temporarios, con participación adicional de sedimentos eólicos. Si bien se sucedieron diversos episodios volcánicos, de agradación fluvial, eólica y mixta, los depósitos locales de granometría variada son producto

de la destrucción de los conglomerados de la *Fm. Mogotes* y sedimentitas finas del Terciario. Se destaca particularmente en el borde oriental una cubierta de materiales limoarenosos, al pie de las últimas estribaciones correspondiente con el ambiente *L1a*.

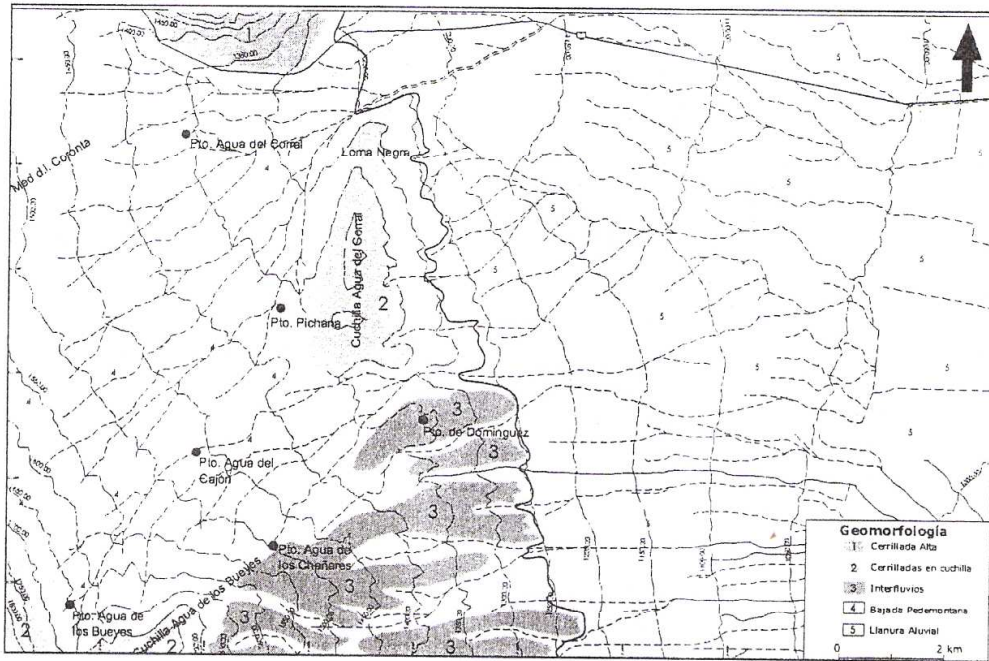


Figura. 2a. Red hidrográfica y unidades geomorfológicas

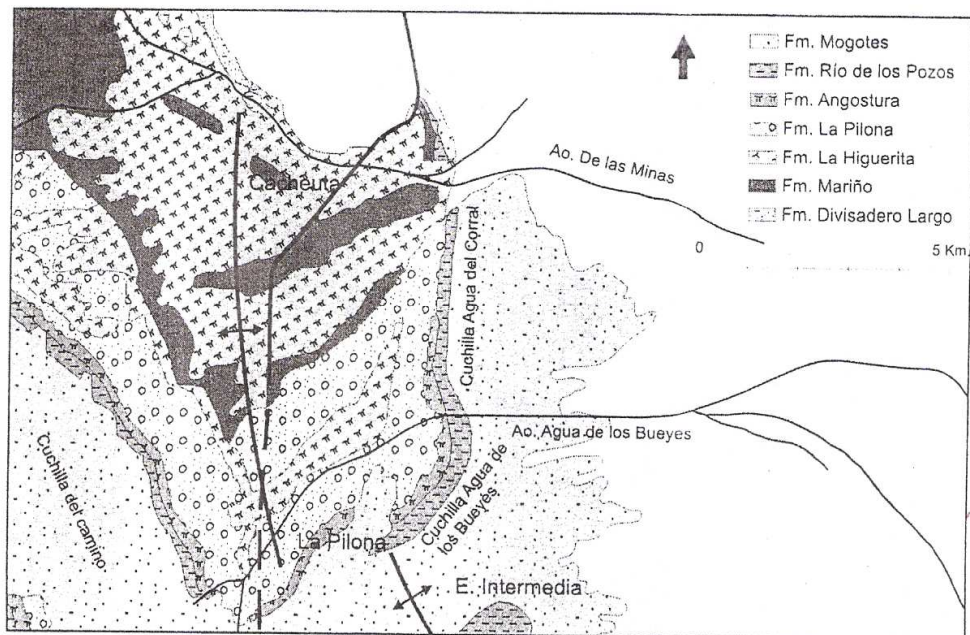


Figura 2b. Unidades geológicas

Los terrenos de edad terciaria corresponden a: *Fm. Mogotes*, Plioceno tardío (conglomerados con intercalaciones de arcillas limosas, areniscas y escasos niveles tobáceos y cineríticos), aflorante en el ambiente Cc y en parte del **Bp** ocupando la mayor superficie. Los terrenos de edad terciaria corresponden a: *Fm. Mogotes*, Plioceno tardío (conglomerados con intercalaciones de arcillas limosas, areniscas y escasos niveles tobáceos y cineríticos), aflorante en el ambiente Cc y en parte del **Bp** ocupando la mayor superficie. Subyace la *Fm. Río de los Pozos* (Mio-Plioceno), areniscas, arcillitas y limolitas compactas, fosilíferas, con tobas y yeso. En una delgada faja orientada N-S que acompaña a la vertiente W de la Cuchilla Agua del Corral, se expone la *Fm. Tobas Angostura* (Mioceno medio y sup.), sedimentos piroclásticos y epiclásticos: tobas cineríticas y lapillíticas, areniscas y niveles conglomerádicos de matrix cinerítica y arcillosa

Tabla 1. Síntesis estratigráfica

Edad	Formación	Ámbito deposicional
Cuaternario	Relleno aluvial	Sistemas aluviales
	<i>Fm. La Invernada</i>	
	<i>Fm. Los Mesones</i>	
Terciario	<i>Fm. Mogotes</i>	
	<i>Fm. Río de los Pozos</i> (ex serie Amarilla)	
	<i>Fm. Toba Angostura</i> (ex Tobas Grises sup.)	
	<i>Fm. La Pilona</i>	
	<i>Fm. Toba La Higuera</i> (ex Tobas grises inf.)	
	<i>Fm. Mariño</i>	
	<i>Fm. Divisadero Largo</i>	
Cretácico	<i>Fm. Punta de las Bardas</i>	Basalto
Jurásico	<i>Fm. Barrancas</i>	Abanicos aluviales
Triásico	<i>Fm. Cachuela</i>	Fluvial Deltaico
	<i>Fm. Potrerillos</i>	Lacustre Deltataico
	<i>Fm. Las Cabras</i>	Volcánico-Lacustre
	<i>Fm. Río Mendoza</i>	Abanicos aluviales

Apoiados en concordancia, se disponen niveles conglomerádicos medianos y en forma granodecreciente, areniscas con gravilla, pelitas y tufitas yeso y margas, de la *Fm. La Pilona* (Mioceno medio) distribuida principalmente en el sector de cuchillas (Agua del Corral y Tupungato). La *Fm. Toba La Higuera* (Mioceno) está integrada por material volcánogeno (tobas, cineritas y lapillis) en bancos alternantes con areniscas, arcillas y conglomerados. La *Fm. Mariño* (Oligoceno-Mioceno) está representada por tres miembros, uno arcilloso con areniscas, otro fundamentalmente de areniscas entrecruzadas y el tercero, los típicos conglomerados violáceos interestratificados con areniscas. Finalmente, la *Fm. Divisadero Largo* se integra con areniscas y pelitas del Paleoceno-Oligoceno.

Desde el punto de vista **hidrogeológico**, los depósitos cuaternarios y el aluvio moderno poseen características acuíferas con comportamiento libre, al igual que las *Fm. Mogotes* y *Río de los Pozos* donde alternan ya con acuitardos y expresión semiconfinada, mientras que por debajo, las formaciones *Toba La Angostura* y *La Pilona* mantienen ese comportamiento, pasándose a un carácter acuicludo en los depósitos de la *Fm. Toba la Higuera*, considerada el hidroapoyo del sistema. A mayor profundidad yacen acuíferos confinados del Jurásico y Cretácico, quizás con un acuífero de fisuras en la *Fm. Punta de las Bardas*, y del Triásico petrolífero (*Fm. Cachuela*). Pese a la escasez de puntos con nivel de agua subterránea y afloramientos relevados, pudo reconocerse una recarga del sistema local y autóctona, por infiltración de los limitados aportes pluviales y los ocasionales diferidos (heladas y/o nevadas), a favor del predominio de vegetación indígena xerófila, escasamente consuntiva (Hernández, 2005). Los arroyos transitorios conforman una suerte de recarga adicional efímera y más hacia el Este, algunos pozos muestran efectos de recarga desde el

río Mendoza. El sentido de flujo sería W-E coincidente con la pendiente regional. La descarga regional se ubica consecuentemente al oriente de la comarca, con manifestaciones locales de manantiales de talweg ("vertientes").

Las mayores evidencias del origen de las aguas salobres/salinas provienen de la **hidrogeoquímica**, complementadas por los análisis isotópicos. Veintidós resultados de análisis químicos de agua freática, de formación petrolífera y un pozo para riego en el borde oriental, fueron tratados estadísticamente y procesados con el programa Easy\_Quim 6.0, obteniéndose gráficas según Piper y Schoeller-Berkaloff, reproduciéndose por razones de espacio solamente la primera (Figura 3).

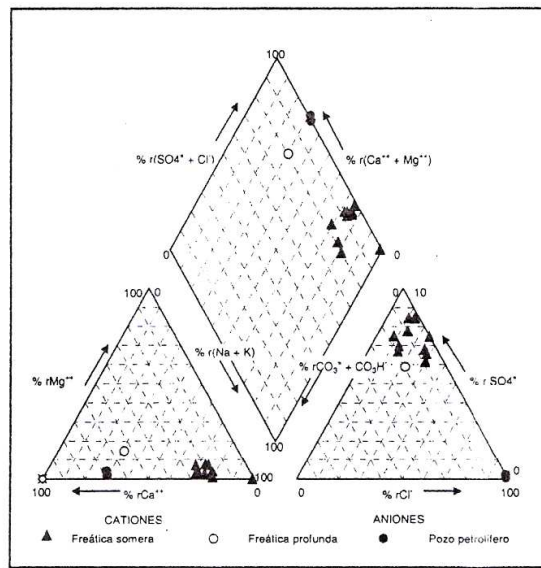


Figura 3. Diagrama según Piper

Pueden notarse tres agrupamientos por familias hidroquímicas distintivas. Una de ellas corresponde al tipo de agua sulfatada sódica (▲) perteneciente a las aguas freáticas locales. Otra sulfatada cálcica de un pozo de riego próximo al río Mendoza (○) colectada como punto comparativo y la tercera, clorurada cálcica (●) proveniente de purga de pozos petrolíferos. Las dos primeras ofrecen un contenido salino más bajo (< 6000 mg/L y < 2000 mg/L respectivamente) mientras que la tercera llega a los 30000 mg/L. Para mostrar en poco espacio las grandes diferencias hidroquímicas, se presenta una síntesis en la Tabla 2 de la cual surge claramente distinta génesis de las aguas freáticas locales y las de formación.

Tabla 2. Indicadores hidroquímicos

Indicador	Freática local	Agua formación	Pozo de riego
TSD mg/L	<6000	>30000	<2000
Tipo iónico	SO <sub>4</sub> -Na	Cl-Na	SO <sub>4</sub> -Ca
[SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ] mg/L	> 600	< 600	> 600
[Cl <sup>-</sup> ] mg/L	< 700	>18000	< 700
[Na <sup>+</sup> ] mg/L	< 1500	> 3500	< 100
[Ca <sup>++</sup> ] mg/L	< 400	> 7000	< 100
[Ba <sup>++</sup> ] mg/L	< 1	60	< 1
[Sr <sup>++</sup> ] mg/L	< 8.5	> 100	< 8.5
rSO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /Cl <sup>-</sup>	> 2	< 0.03	> 2
i.c.b.	negativo	positivo	Negativo

Desde el punto de vista isotópico se observa que la concentración de  $^{18}\text{O}$  está polarizada en valores cercanos a  $-19\text{‰}$  y  $-6.5\text{‰}$  (Figura 4). Esto indicaría la influencia del Río Mendoza en el pozo de riego colectado como punto comparativo. En cambio, la composición isotópica de las aguas freáticas someras y profundas varía entre  $-7,0\text{‰}$  y  $-6,3\text{‰}$  para  $\delta^{18}\text{O}$  y  $-48\text{‰}$  y  $-44\text{‰}$  para  $\delta^2\text{H}$ . Estos valores son similares a los determinados en fuentes superficiales que recargan a menor altura y a la precipitación local e indican su vinculación con el ciclo hidrológico actual (Panarello y Dapeña, 1996). Algunos de los valores levemente enriquecidos podrían señalar procesos de evaporación. Esto es coherente con el clima y las evidencias hidroquímicas, en sentido de que la salinidad es adquirida por procesos de concentración y no se trata de aguas exógenas.

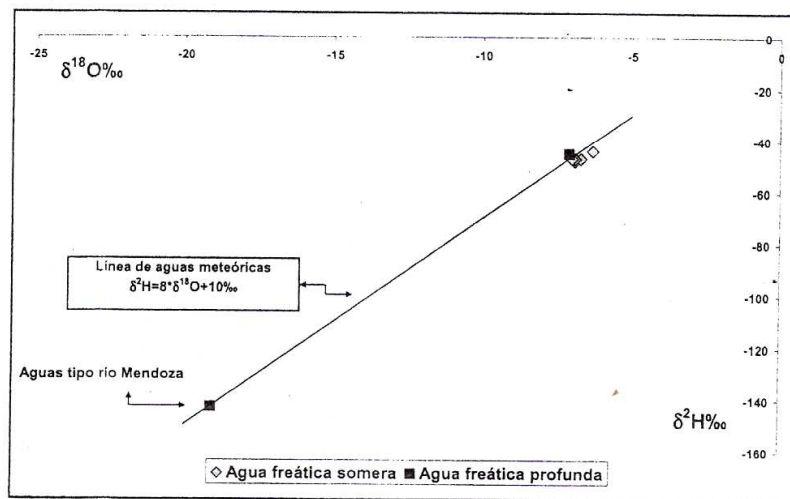


Figura 4. Diagrama  $\delta^2\text{H}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$

Las concentraciones de Tritio varían entre 1.1 UT y 14.5 UT, indicando agua de recarga reciente, y no profunda (antigua) como deberían ser las de formación petrolífera.

Las diferencias en las concentraciones de  $^3\text{H}$  de las aguas subterráneas señalan los tiempos de tránsito, donde a mayor tiempo de tránsito menor contenido de  $^3\text{H}$ . Los contenidos nulos o muy bajos sugieren envejecimiento por tránsito, retardamiento de la infiltración debido a las diferentes permeabilidades de las formaciones sedimentarias o a posibles mezclas con flujos subterráneos más antiguos.

El intento de medición de  $^{226}\text{Ra}$  en capa freática no prosperó al no encontrarse valores por encima del error de detección, lo cual es lógico para aguas con alto contenido en sulfatos, potencial Redox elevado y muy bajos contenidos en  $^{226}\text{Ra}$  y Bario. Se recurrió entonces a la determinación de  $^{222}\text{Rn}$ , gas producto de la desintegración del  $^{226}\text{Ra}$  con período de semidesintegración  $T_{1/2}$  es 3.8 días. Como se acumula en un sistema cerrado (agua subterránea) su nivel de equilibrio dependerá de la concentración de  $^{226}\text{Ra}$ , mientras que en las aguas superficiales escapa a la atmósfera. Tenores altos indicarían influencia de aguas profundas e inversamente, cuando son muy bajos estarían originados en acuíferos someros y de recarga más reciente, porque por otra parte tienen a crecer con la circulación del agua. Los valores medidos resultaron exiguos y debió recurrirse a una valoración semicuantitativa con una jerarquía desde el mínimo 1 (muestra vinculada al río Mendoza) hasta el proporcional 8. Si se tiene en cuenta que el mínimo está por debajo del límite de detección del Laboratorio INGEIS, el máximo que no llega a un orden de magnitud superior

a lo sumo podría alcanzarlo, lo cual ratifica que no existiría aporte de aguas subterráneas profundas, al igual que la evidencia proporcionada por los análisis de Tritio.

## CONCLUSIONES

Desde el punto de vista hidrogeológico, las formaciones aflorantes son permeables, favoreciendo la infiltración de las escasas lluvias (195 mm/año) pese al balance hídrico negativo, por la casi inexistente pérdida consuntiva (vegetación xerófita especializada).

El razonamiento hidrodinámico muestra que a la recarga autóctona directa debe sumarse la diferida invernal y la indirecta procedente de la ocasional activación del escurrimiento fluvial, infiltrable por el carácter influente o perdedor de los cursos transitorios.

La hidroquímica ofrece argumentos rotundos y decisivos para desvincular a las aguas subterráneas locales de una posible influencia de aguas de formación petrolífera. La salinidad (TSD), tipo iónico, concentraciones en sulfatos, cloruros, Sodio, Calcio, Bario, Estroncio, relación sulfato/cloruro e índice de cambio de bases (icb) Estos indicadores son suficientemente demostrativos de la falta de incidencia de las aguas de formación en el acuífero local y también de la posible mezcla de aguas.

A través del análisis de isótopos estables ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ) se demuestra que las aguas subterráneas locales proceden del ciclo hidrológico actual. Los radiactivos avalan también el mismo juicio, ya que el  $^3\text{H}$  se halla presente evidenciando que se trata de aguas jóvenes (<21 años) y el tenor de  $^{222}\text{Rn}$  es insignificante como para una procedencia profunda del agua.

Es evidente que la convergencia de evidencias procedentes de distintos campos del conocimiento, está indicando certeramente que no existen en las aguas subterráneas del lugar señal alguna de influencia de aguas de formación.

## REFERENCIAS

- Coleman Coleman, M.L., Sheperd, T.J., Durham, J.J., Rouse, J.E. y Moore, F.R.**, 1982. A Rapid and Precise Technique for Reduction of Water With Zinc for Hydrogen Isotope Analysis. *Analytical Chem.*: 54, 993-995.
- Gonfiantin Gonfiantini, R.**, 1978. Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature* 271: 534.
- Gröening, M. y Rozanski, K.**, 2003. Uncertainty assessment of environmental tritium measurements in water. *Accred. Qual. Assur.* 8:359-366
- Hernández M. A.** 2005. "Mecanismos de recarga de acuíferos en regiones áridas (Síntesis)". *Actas II Seminario Hispano Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea*, pp: 249-254. Río Cuarto. 2005.
- Kokogian, D. A., Fernández Seveso, F. y Mosquera, A.** 1993. Las secuencias sedimentarias triásicas. En: Ramos, V. A. (ed.) *Geología y Recursos Naturales de Mendoza*, 12º Congreso Geológico Argentino, 12, Mendoza, Relatorio 2, n.13:65-78.
- Panarello, H. y Parica, C.** 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. y Dapeña, C.**, 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.
- Yrigoyen, M. R.** 1993. Los depósitos sinorogénicos terciarios. En: V.A. Ramos (ed.), *Geología y recursos naturales de Mendoza*. 12º Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires, pp. 123-148.