

Caracterización hidroquímica e isotópica del agua subterránea en el acuífero de Quemú Quemú, La Pampa, Argentina

Lorena Ceballo¹, Cristina Dapeña², Carlos Schulz¹, Laura Wisner¹, Eduardo Mariño¹, Nayla Massara¹, María Ughetti¹ y Héctor Panarello²

¹ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa. Av. Uruguay 151, (6300) Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

² Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS, CONICET-UBA). Pabellón INGEIS, Ciudad Universitaria, (1428) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

lorenaceballo@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo presenta una caracterización hidroquímica e isotópica del acuífero de Quemú Quemú, ubicado al Noreste de la provincia de La Pampa, Argentina. Se tomaron muestras de agua subterránea, superficial y lluvias para determinaciones físico-químicas e isotópicas. La zona de recarga se extiende a lo largo de un cordón medanoso donde la composición isotópica del agua subterránea refleja la composición promedio de la precipitación local; la conductividad eléctrica es baja, y las aguas son predominantemente bicarbonatadas sódica/magnésicas y bicarbonatadas sódicas. Las de mayor conductividad eléctrica y similar composición isotópica se relacionan a las áreas de conducción, ubicadas hacia los laterales de este cordón, y las facies son bicarbonatadas sódicas. Las aguas con mayor conductividad eléctrica e isotópicamente enriquecidas se asocian a zonas de descarga, presentando facies cloruradas/sulfatadas sódicas.

Palabras claves: ambientes medanosos, isótopos estables, hidroquímica, agua subterránea

ABSTRACT

This paper presents a hydrochemical and isotopic characterization of Quemú Quemú aquifer, located to the northeast of the province of La Pampa. Groundwater, surface water and rains samples were taken in order to analyze their chemistry and isotope composition. The recharge zone extends along the dune area where the groundwater isotope composition reflects the average composition of the local precipitation; electrical conductivity is low and waters are mainly sodium/magnesium bicarbonate and sodium bicarbonate. Those with high electrical conductivity and similar isotope composition are related to conduction zones and are located towards the sides of the dunes, and the facies are sodium bicarbonate. Waters with the highest salinity and isotopically enriched are associated to discharge zones and present sodium chloride/sulfate facies.

Keywords: dune environments, stable isotopes, hydrochemistry, groundwater

Introducción

Los recursos hídricos en la provincia de La Pampa son escasos y el agua subterránea es su principal fuente de abastecimiento, dependiendo casi exclusivamente de ese recurso. La disponibilidad de agua, en cantidad y calidad suficiente, condiciona el desarrollo de la población debido a su interrelación con todos los aspectos de la vida, generando serios inconvenientes, principalmente a la salud, cuando existen alteraciones en algunos de sus parámetros físico-químicos. A fin de asegurar un consumo seguro para la población, una de las necesidades radica en conocer las variables que influyen o hacen al sistema acuífero.

En este contexto se presenta una caracterización hidroquímica e isotópica del

acuífero libre ubicado en la inmediaciones de la localidad de Quemú Quemú, al noreste de la provincia de La Pampa, Argentina, con el objetivo de estudiar las características hidroquímicas e isotópicas de dicho acuífero. Esta investigación forma parte de una tesina de grado (Ceballo, 2012) y de Proyectos de investigación de la Universidad Nacional de La Pampa y de la Agencia de Promoción Científica, FONCYT PICT.

Área de estudio

El área de estudio se localiza en las inmediaciones de la localidad de Quemú Quemú, del departamento homónimo, ubicado al Noreste de la provincia de La Pampa. En dicha localidad el servicio de agua potable es

prestado por la Cooperativa de Obras, Servicios Públicos, Crédito y Provisión de Quemú Quemú Limitada (COSYPRO Ltda.), y actualmente tiene en funcionamiento nueve pozos de explotación ubicados al NO del poblado.

El clima es de tipo subhúmedo seco (Cano et al., 1980) con una precipitación media anual de 737,95 mm y una temperatura media anual de 15,3°C, para el período 1921-1986. Para el mismo la evapotranspiración real (calculada según Thornthwaite y Mather, 1955) es de 673 mm y la evapotranspiración potencial de 736 mm. Si bien no se dispone de datos de evaporación, existen registros de este parámetro en la Estación Experimental INTA Anguil, ubicada 80 Km al OSO de Quemú Quemú, donde la evaporación, medida en tanque tipo A para el período 1971-1999, varía entre 44 mm (junio) y 215 mm (diciembre) (Jensen et al., 2000).

En el área de estudio la morfología de la superficie freática presenta una conformación muy semejante a la topografía, donde los sectores elevados del relieve medianoso se comportan como áreas de recarga en tanto que las depresiones topográficas constituyen lugares naturales de descarga del flujo subterráneo local, mientras que el flujo regional tiene sentido NO-SE (Figura 1). Calmels (1996) ubica esta área dentro de la unidad geomorfológica "De la llanura pampeana de modelado eólico superimpuesto", caracterizada por un manto de arena en la superficie diversamente espesado (de entre 0,4 y 15 m), pero ininterrumpido. Esta unidad se extiende en las provincias limítrofes del Norte y del Este, formando parte del llamado "Mar de Arena Pampeano", el cual es una de las dos entidades sedimentarias integrantes del Sistema Eólico Pampeano, junto con la Faja Periférica de Loess. A su vez, Calmels y Casadio (2005) sitúan al área dentro de la subunidad "Del relieve de acumulación-deflación". Aquí el accionar de los procesos eólicos de acumulación-deflación dio origen a campos de médanos, llanuras arenosas y cubetas de deflación temporariamente inundadas. Específicamente, según Salazar Lea Plaza (1980), los procesos morfogenéticos hídricos (de escurrimiento difuso) elaboraron una superficie calcárea con pendiente regional hacia el Este, sobre el cual el viento (proceso eólico de acumulación-deflación) acumuló un manto arenoso. Esto formó un relieve caracterizado por ondulaciones arenosas con sentido N-S y médanos aislados. Intercaladas entre estas ondulaciones existen planicies arenosas de 3 a 4 km de ancho, y frecuentemente áreas

deprimidas con lagunas temporarias (Cano et al., 1980). Respecto a la estimación de la recarga, a partir del análisis de las fluctuaciones del nivel freático, Arroyo (2005) estimó un valor medio anual de 79,94 mm/año para el período 1987-2002.

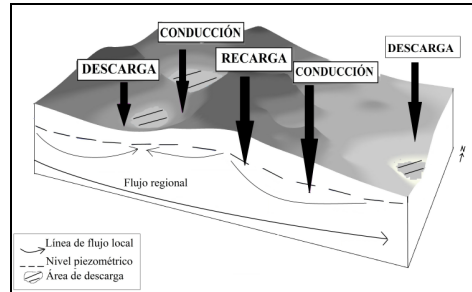


Figura 1: Esquema general del flujo subterráneo. Croquis fuera de escala.

Metodología

Se tomaron muestras de agua subterránea, superficial y de lluvias. Estas últimas fueron colectadas mensualmente en la "Estación Meteorológica Quemú Quemú", de forma interrumpida entre enero de 2007 y febrero de 2013, teniendo un total de 33 muestras. Esta estación cuenta con un colector de isótopos en precipitación integrado a la RNC (Red Nacional de Colectores de INGEIS) y a la GNIP (Global Network for Isotopes in Precipitation) (IAEA/WMO, 2002; Dapeña y Panarello, 1999; 2008). Se tomaron 25 muestras de agua subterránea de perforaciones existentes en establecimientos rurales donde el principal medio de obtención del agua es a través de molinos y bombas manuales o eléctricas. Se trata en general de perforaciones parcialmente penetrantes, que no superan los 25 m de profundidad. Asimismo se tomaron 9 muestras pertenecientes a los pozos de abastecimiento de COSYPRO. Finalmente se obtuvo una muestra de agua superficial de la laguna Barbulo, localizada al Oeste de Quemú Quemú. De cada perforación y de la laguna se extrajeron dos muestras; una de ellas destinada a análisis físico-químicos y la otra para determinaciones isotópicas. A las muestras de agua subterránea se les determinó *in situ* Conductividad Eléctrica (C.E.), Sólidos Disueltos Totales (SDT) y pH mediante medidores potenciométricos portátiles.

Posteriormente en laboratorio se realizaron análisis físico-químicos en 8 muestras representativas de la zona de médanos, de los bajos topográficos y de las zonas de

conducción. Dichos análisis consistieron en la determinación de alcalinidad, dureza, residuo seco, calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, sulfatos y cloruros cuyos resultados se expresan en mg/L. Estas determinaciones se efectuaron por técnicas analíticas convencionales (titulometría, gravimetría, fotometría de llama y espectrofotometría). Además se determinaron cloruros e isótopos estables (^2H y ^{18}O) en la totalidad de las mismas y en la muestra superficial. Los análisis físico-químicos fueron realizados en el Laboratorio de la Administración Provincial del Agua (APA), los cloruros en el laboratorio del Departamento de Ciencias Naturales, de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, mientras que los análisis isotópicos fueron hechos en el Laboratorio de Isótopos Estables del Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS), mediante espectroscopía láser con un equipo Los Gatos Research inc. (OA-ICOS: Off-Axis Integrated Cavity Output Spectroscopy) (Lis et al., 2008). Los resultados se expresan como δ , definido como: $\delta = 1000(R_s - R_p)/R_p \text{ ‰}$, donde, δ : 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 $\pm 0,3\text{‰}$ para $\delta^{18}\text{O}$ y $\pm 1,0\text{‰}$ para $\delta^2\text{H}$. Por definición, el valor $\delta_{\text{V-SMOW}} = 0 \text{ ‰}$. Por lo tanto, un δ positivo indica una mayor concentración de los isótopos pesados ^{18}O o ^2H que la referencia. El exceso de deuterio se define como "d"= $\delta^2\text{H}-8 \delta^{18}\text{O}$, donde "d" es el parámetro inherente al vapor que origina las lluvias y es la propiedad más útil para caracterizar su origen (Dansgaard, 1964). En la mayoría de las precipitaciones continentales "d" = +10‰.

Los datos se representaron en diagramas convencionales $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ y C. E. vs. $\delta^{18}\text{O}$

En la Figura 2 se ilustra la ubicación de Quemú Quemú y de las muestras extraídas excepto las muestras N° 14 y 25 debido a que fueron extraídas dentro del mismo predio rural que las muestras N° 15 y 26, respectivamente.

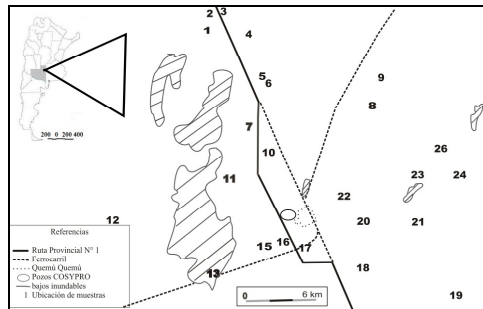


Figura 2. Ubicación del área de estudio y de las muestras (la N° 13 corresponde a la laguna Barbullo).

Resultados

Composición química

En la Tabla 1 se presenta el resumen estadístico de los valores de Sólidos Disueltos Totales (SDT), pH, Conductividad Eléctrica (C. E.) y Cloruros (Cl) obtenidos para las muestras de perforaciones particulares. Del total de las muestras analizadas, el 76% tienen una C. E. menor a 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un promedio de 2304 $\mu\text{S}/\text{cm}$; el 84% de las muestras contienen menos de 700 mg/L de cloruros, con una media de 473,5 mg/L; y el 88% de las muestras presentan un valor de pH menor a 8,0 con una media de 7,3.

Tabla 1. Resumen estadístico de las muestras de agua subterránea de perforaciones particulares.

parámetro	SDT mg/L	pH	C.E. $\mu\text{S}/\text{cm}$	Cl mg/L
mínimo	235	6,8	470	60
máximo	4450	8,3	8860	3480
media	1121,8	7,3	2304	473,5
D. E.	991,7	0,5	1943	742,2

Para la clasificación hidroquímica se utilizó el diagrama de Piper (Figura 3). Se observan dos tipos de aguas: cloruradas/sulfatadas sódicas, bicarbonatadas sódica/magnésicas y bicarbonatadas sódicas.

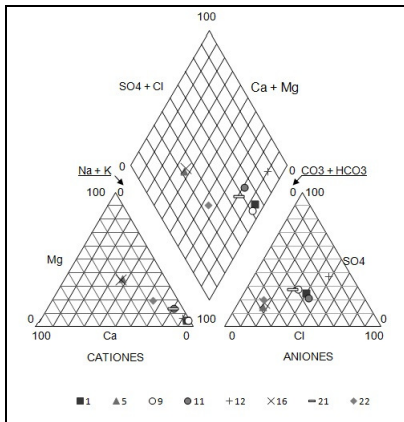


Figura 3. Diagrama de Piper.

Composición isotópica

La composición isotópica del agua de lluvia se evaluó a través de la estación Quemú Quemú. La media para el $\delta^{18}\text{O}$ es -4.8‰ y para el $\delta^2\text{H}$ es -26‰ , con un exceso de deuterio ("d") de 12‰ . El 70% de las muestras presentan un valor "d" mayor a 10‰ , lo cual señala su vinculación con lluvias originadas por vapor reciclado (Dapeña et al., 2005; González et al., 2009).

La caracterización isotópica del agua subterránea se realizó en base a las muestras de las perforaciones particulares y de los pozos de la cooperativa COSYPRO. Estos valores se han representado en la Figura 4 conjuntamente con la recta meteórica global. El valor promedio de las muestras de los pozos particulares es de $\delta^{18}\text{O} = -4.5\text{‰}$ y $\delta^2\text{H} = -26\text{‰}$ y tienen mayor dispersión que los pozos de la cooperativa, variando entre -4.9‰ y -4.0‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y entre -29‰ y -23‰ para $\delta^2\text{H}$. Se observa que algunas muestras se alejan de la recta meteórica indicando que han sido modificadas previamente a la infiltración (Figura 4). Los pozos de COSYPRO tienen un promedio relativamente más empobrecido, con $\delta^{18}\text{O} = -4.8\text{‰}$ y $\delta^2\text{H} = -28\text{‰}$ y presentan poca dispersión, variando entre -5.0‰ y -4.7‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y entre -28‰ y -27‰ para $\delta^2\text{H}$. La muestra de agua superficial tiene una composición isotópica más enriquecida ($\delta^{18}\text{O} = -1.4\text{‰}$, $\delta^2\text{H} = -11\text{‰}$) y se alinea en una recta de evaporación y tiene un elevado contenido salino ($>50000 \mu\text{S/cm}$).

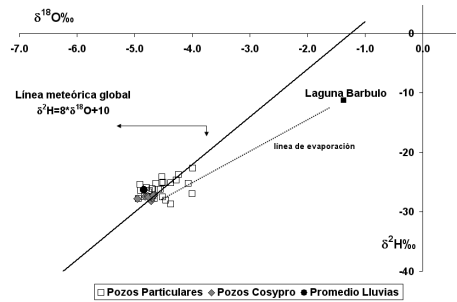


Figura 4. $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ de las muestras de perforaciones particulares y de los pozos de COSYPRO.

A fin de identificar los posibles mecanismos de salinización, en la Figura 5 se graficó la CE vs. $\delta^{18}\text{O}$ (Gonfiantini y Aragaus, 1988; Dapeña y Panarello, 2009). Se observa que en un grupo de muestras la salinidad está dada por tránsito donde se registra un aumento de la C. E. sin modificaciones en su contenido isotópico y su ubicación espacial coincide con el cordón medanoso central que atraviesa el área de estudio de Norte a Sur. Otro grupo de muestras sufrieron procesos de evaporación previos a la infiltración, indicado por enriquecimiento isotópico y un aumento en la C. E. y su ubicación espacial corresponde con los bajos topográficos alojados hacia los laterales del cordón medanoso, y con las zonas intermedias entre estas geoformas. Finalmente, el agua de la laguna Barbulo tiene una composición isotópica mucho más enriquecida y un elevado contenido salino, señalando procesos de evaporación. Además, su ubicación corresponde a una zona de descarga.

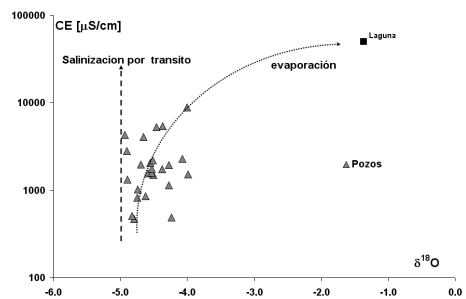


Figura 5. C. E. ($\mu\text{S/cm}$) vs. $\delta^{18}\text{O}$ de las muestras de agua subterránea y superficial de Quemú Quemú.

Conclusiones

En base a la composición isotópica se puede concluir que las aguas son consistentes con recarga meteórica. En la zona medanosa el contenido isotópico del agua subterránea responde con buena aproximación a la composición isotópica del promedio de la precipitación de la zona, por lo que no habría un fraccionamiento significativo durante el proceso de recarga y la C. E. medida es baja. Esto demuestra la rápida infiltración del agua de lluvia, evidenciando que la recarga se produce principalmente en los médanos. Las aguas con mayor C. E. y similar composición isotópica se relacionan a las áreas de conducción, donde la salinidad se debe a tránsito. Las aguas con elevada C. E. y composición isotópica más enriquecida se asocian fundamentalmente a zonas de descarga, y la salinización se debe fundamentalmente a mecanismos de evaporación previos a la infiltración. La ubicación espacial de estas muestras coincide con las áreas de conducción y descarga, ubicadas hacia el Este y Oeste del cordón medanoso central.

Agradecimientos

Agradecemos a COSYPRO y a la Municipalidad de Quemú Quemú por la ayuda brindada durante el desarrollo de las tareas de campo. Al laboratorio de APA y al laboratorio del Departamento de Ciencias Naturales, de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, por la realización de los análisis químicos, y al INGEIS por las determinaciones isotópicas.

Referencias

- Arroyo, C. 2005. Estimación de la recarga en el sector de explotación del acuífero que abastece a la localidad de Quemú Quemú, Provincia de La Pampa. Tesina de grado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa.
- Calmels, A. P. 1996. Bosquejo Geomorfológico de La Provincia de La Pampa. Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa. Argentina.
- Calmels, A. P. y Casadio, S. A. 2005. Compilación geológica de la provincia de La Pampa. 1° Edición. 96-101. Amerindia Nexo di Nápoli. Santa Rosa, La Pampa.
- Cano, E., Casagrande, G., Conti, H. A., Fernandez, B., Hevia, R., Lea Plaza, J. C., Maldonado Pinedo, D., Martinez, H., Montes M. A., Scoppa C. O. y Peña Zubiate, C. A. 1980. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. Clima, Geomorfoloía, Suelo y Vegetación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-Universidad Nacional de La Pampa- Subsecretaría de Cultura Gobierno de La Pampa Santa Rosa. Argentina.
- Ceballo, L. 2012. Caracterización hidrogeoquímica e isotópica del agua subterránea en un sector próximo a la localidad de Quemú Quemú, La Pampa. Tesina de grado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa.
- Dansgaard, W. ,1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16: 436-468.
- Dapeña, C. y Panarello, H.O. 1999. Development of The National Network For Isotopes in Precipitation of Argentina. *II Simposio Sudamericano de Geología Isotópica (IISAGI)*, Córdoba, República Argentina. Actas: 503-507. 6p
- Dapeña, C. y Panarello, H.O. 2008. Isótopos en precipitación en Argentina. Aplicaciones en estudios Hidrológicos e Hidrogeológicos. *IX Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*. ALHSUD Volumen CD T-100. 8p. Quito, Ecuador.
- Dapeña, C. y Panarello, H.O. 2009. Isótopos ambientales aplicados en la identificación de mecanismos y fuentes de contaminación. *I Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (I RAGSU)*. Actas/Resúmenes, Sección V: Geoquímica Isotópica, p.80. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina.
- Dapeña, C., Panarello, H.O., Cerne, B., González, M. y Sanchez-Ccoyllo, O., 2005. Contribución Preliminar a la interpretación del origen de las lluvias en el Norte de Argentina. *II Seminario Hispano Latinoamericano sobre Temas actuales de Hidrología Subterránea*, Actas: 37-46.
- Gonfiantini, R. 1978. Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature*, 27, 534: 536.
- Gonfiantini, R. y Araguas, L. A. 1988. Los isótopos ambientales en el estudio de la intrusión salina. *Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros*. Granada, España.
- González, M., Dapeña, C., Cerne, B., Sanchez-Ccoyllo, O., Freitas, S., Silva Dias, P.I. y Panarello, H. O. 2009. Verification of the geographical origin of modeled air-mass trajectories by means of the isotope composition of rainwater during the SALLJEX experiment. *Environmental Fluid*

- Mechanisms*. Springer Verlag. 1-17. ISSN 1567-7419
- IAEA/WMO, 2002. Global Network for Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. Disponible en: <http://isohis.iaea.org>.
- Jensen, R., Marazzi, M., Savioli, J., Brea, J. y Tavecchio H. 2000. Diagnóstico de inundación en la región noreste de la Provincia de La Pampa, Argentina. Informe Final. Gobierno de la Provincia de La Pampa
- Lis, G., Wassenaar, L.I. y Hendry, M.J. 2008. High-Precision Laser Spectroscopy D/H and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ measurements of Microliter Natural Water Samples. *Analytical Chemistry*. 80, 287-293.
- Salazar Lea Plaza, J. C. 1980. Carta geomorfológica. En Cano, E., Casagrande, G., Conti, H. A., Fernandez, B., Hevia, R., Lea Plaza, J. C., Maldonado Pinedo, D., Martinez, H., Montes M. A., Scoppa C. O. y Peña Zubiate, C. A. 1980 (Eds): Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. Clima, Geomorfología, Suelo y Vegetación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-Universidad Nacional de La Pampa-Subsecretaría de Cultura Gobierno de La Pampa Santa Rosa. Argentina.
- Thornthwaite, C. W. y Mather, J. R. 1955. The water balance. Drexel Institute of Technology. *Publications in Climatology*, VIII(1):104, New Jersey.