

# CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE ACUÍFEROS DE LA REGIÓN NORESTE DE LA PROVINCIA DE NEUQUÉN

<sup>1</sup>Bertoni, Luciano y <sup>1</sup>Duflho, Ana C.

<sup>1</sup> Departamento de Geología y Petróleo, Universidad Nacional del Comahue. Buenos Aires 1400, 8300 Neuquén, Argentina. Tel. (+54) (299)4980300– 154240852, [ber\\_luciano@hotmail.com](mailto:ber_luciano@hotmail.com)

## Resumen

El área de estudio es una zona de interés sustancial, debido a la aridez de la región, que transforma al agua subterránea en prácticamente la única fuente de abastecimiento para los pobladores locales. Las variaciones en las características químicas del agua permiten analizar las relaciones con las formaciones geológicas presentes en la zona (de edades Jurásico-Cretácico a cuaternarias) y la calidad del agua en los recursos hídricos superficiales y subterráneos, así como estimar el posible origen de la recarga de los acuíferos.

En el marco de este estudio, se recopilaron análisis de iones de muestras de aguas subterráneas que fueron analizadas y representadas mediante diagramas hidroquímicos (Piper y Stiff), y se establecieron familias de aguas en base a su composición química y a su relación con el ambiente geológico, teniendo en cuenta factores climáticos, edáficos y topográficos que intervienen en la evolución de las aguas.

En base a en estos resultados, se estableció una relación a escala regional entre las distintas familias de aguas, reconociéndose que las aguas dulces se presentan en zonas elevadas asociadas a la recarga o en áreas vinculadas a valles aluviales, mientras que las aguas más mineralizadas se presentan asociadas a la disolución de las rocas sedimentarias y el mayor tiempo de residencia en los acuíferos confinados, influenciadas adicionalmente por la escasez de precipitaciones en la región.

**Palabras clave:** hidrogeoquímica, iones, precipitación, aridez

## Abstract

The studied area is a substantial interest zone due to the region's aridity that converts groundwater in practically the only water supply source for local people. Variations in the water chemical characteristics allow analyzing the relationship with the existing geological formations in the area (Jurassic-Cretaceous to Quaternary) and the water quality in superficial water and groundwater resources, as well as estimating the possible aquifer's recharge origin. Chemical analyses of groundwater samples were compiled, which were analyzed and represented in hydrogeochemical diagrams (Piper and Stiff). Water families were established founded on their chemical composition and their relationship with the geological environment, taking into account climatic, edaphic, and topographic factors that intervene in water evolution. Based on these results, a regional scale relationship between the distinct water families was established, recognizing that freshwater are presented in the recharge elevated areas or in sites linked with alluvial valleys. On the other hand, mineralized waters are associated with the sedimentary rocks dissolution and the longer water residence time in confined aquifers, additionally influenced by the precipitation scarcity in the region

**Key words:** hydrogeochemistry, ions, precipitation, aridity

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las características geológicas, climáticas e hidrológicas proporcionan al agua subterránea una composición química que reproduce las propiedades del sistema hidrogeológico. En la región extra andina de la Provincia del Neuquén la escasez de las precipitaciones no permite la formación de una red hidrológica bien desarrollada, siendo los acuíferos explotados (con rendimientos y calidades variables) poco estudiados. En los valles aluviales de los ríos Neuquén y Colorado, los sedimentos detríticos gruesos alojan acuíferos libres o semilibres, en general de buena calidad y elevados caudales, que son explotados desde hace más de 50 años en la provincia (Polla et al., 2006).

El desarrollo de la actividad hidrocarburífera en zonas alejadas de los ríos y la conciencia de la importancia del agua subterránea en ecosistemas áridos, ha posibilitado la realización de pozos para el control de la calidad del agua en los yacimientos que han aportado valiosa información respecto a las capas acuíferas del subsuelo y sus características químicas.

A partir de la información existente, tanto en acuíferos profundos como superficiales, se plantea tipificar el agua identificando los grupos de familias y su relación con las características hidrogeológicas.

El área de estudio comprende una superficie de aproximadamente 20.000 km<sup>2</sup>, abarcando los departamentos Añelo (12.035 km<sup>2</sup>) y Pehuenches (8.353 km<sup>2</sup>), ubicados en la zona noreste de la Provincia del Neuquén, limitada al norte y al sur por dos ríos importantes de la provincia, y posee considerables variaciones geológicas y topográficas (Fig. 1).

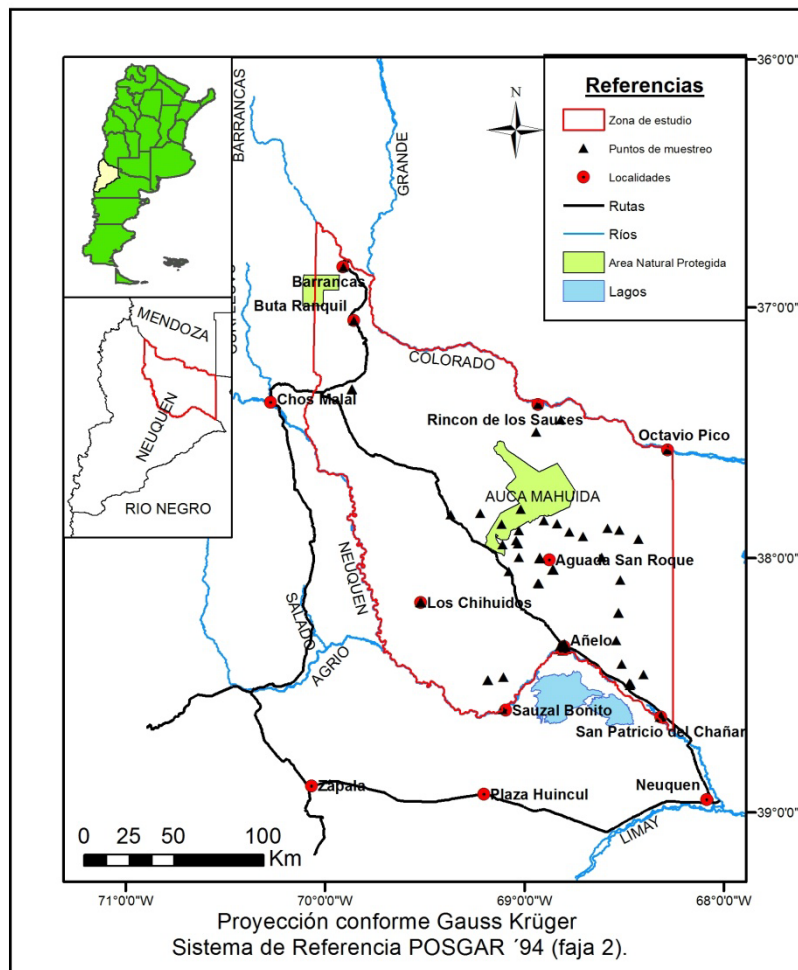


Figura 1. Área de estudio y ubicación de los sitios analizados.

Las rocas pertenecen a los depósitos de la Cuenca Neuquina, con sedimentos marinos del Jurásico al oeste que pasan a sedimentos continentales Cretácicos al este (Garrido, 2011), cubiertos en algunas zonas por rocas volcánicas y terrazas aluviales antiguas disectadas. Las capas tienen una inclinación suave de dirección predominante al este, aunque en la región noroeste existe una zona de plegamientos en las rocas Jurásicas.

La región está caracterizada por un clima árido, con precipitaciones medias anuales que van desde 500 mm al oeste a menos de 200 mm al este.

El centro del área de estudio está ocupado por el Bajo de Añelo, que forma un sistema endorreico que recolecta la escorrentía superficial de cauces efímeros e intermitentes y la subterránea proveniente de las vertientes y aguadas. El río Neuquén discurre de norte a sur en el primer tramo y luego se dirige al este formando el límite sur y oeste del departamento Añelo. En el tramo inferior, forma una planicie aluvial que contiene un acuífero libre con semiconfinamientos locales, que es explotado para el abastecimiento de las localidades de Sauzal Bonito, Añelo y de San Patricio del Chañar, dentro del área de estudio. El río Colorado fluye de noroeste a sureste formando el límite norte del departamento Pehuenches (y de la Provincia del Neuquén). Desde aguas arriba, el acuífero del valle aluvial es utilizado para abastecimiento de las localidades de Barrancas, Rincón de los Sauces y Octavio Pico (Fig. 1).

## **METODOLOGÍA**

Para la elaboración de este trabajo, se recopiló información disponible en organismos públicos y privados de la Provincia del Neuquén y se seleccionaron los sitios con información de cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) y aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ ). Se analizaron los registros disponibles (analógicos y digitales), desde el año 1938 hasta la actualidad, a los cuales se pudo tener acceso en organismos oficiales (principalmente el Laboratorio del Ente Provincial de Agua y Saneamiento, 2005; y análisis realizados por YPF, 1971 -previo a su privatización-). Se descartaron los análisis incompletos, que no estuvieran georeferenciados o bien identificada la fuente (agua superficial, acuífero libre, acuífero confinado, vertiente, etc.). También se descartaron aquellos análisis que no contenían información precisa o en los que el balance químico era mayor al 10%.

Se obtuvieron un total de 79 muestras de diferentes sitios, tanto urbanos como rurales, cuya ubicación se indica en la Figura 1.

Se utilizó el programa informático "Diagrammes v6.5" (2015) de análisis hidroquímico del agua subterránea, con el que se realizó la representación en diagramas de Piper -agrupamientos y tipificación del tipo de agua en familias- y en diagramas de Stiff para caracterizar el tipo de agua de las familias encontradas y su relación con la litología regional. La ventaja del diagrama de Piper es que permite representar los iones mayoritarios de las muestras de aguas de diferentes áreas en un solo gráfico (Domenico y Schwartz, 1997) y, de esta manera, se facilita la comparación de los tipos de agua; mientras que el diagrama de Stiff permite, a partir de su representación en un mapa, visualizar rápidamente la variación espacial que hay entre las relaciones iónicas.

## **RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**

En la Figura 2 se presentan los sitios en un diagrama de Piper, agrupados según la similitud encontrada, y a continuación se describen los distintos grupos.

### **Acuíferos de las planicies aluviales de los ríos Neuquén y Colorado**

En las localidades de Sauzal Bonito, Añelo y de San Patricio del Chañar, las muestras fueron extraídas de tomas de agua realizadas en la llanura aluvial mediante pozo filtrante o pozos de profundidad menor a 5 m.

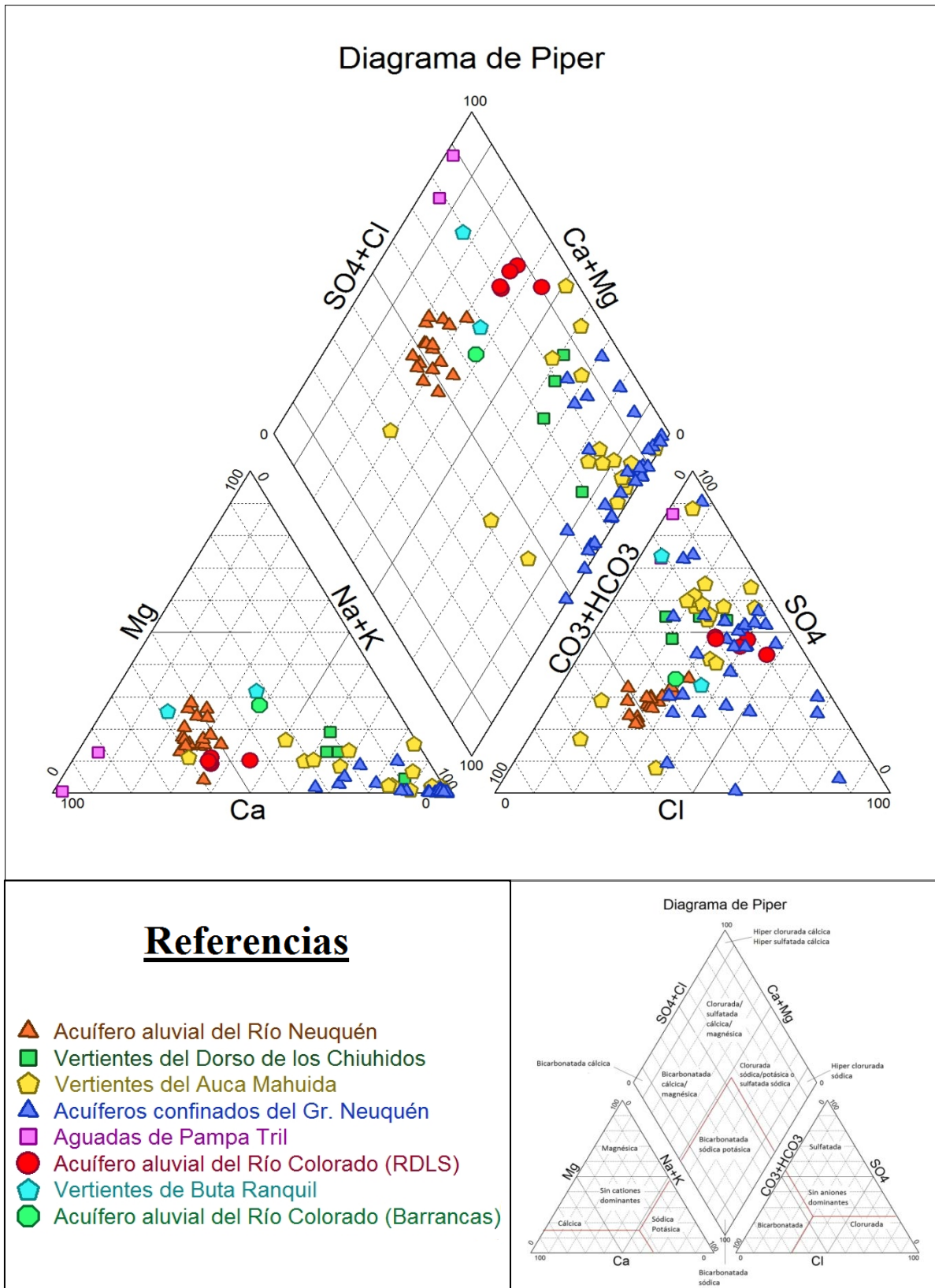


Figura 2. Diagrama de Piper de las muestras de los acuíferos libres y confinados

El agua en los tres sitios (triángulos naranjas en la Fig. 2) presenta una baja mineralización, de tipo bicarbonatada a carbonatada cálcica y magnésica, indicando una fuerte relación río Neuquén – acuífero y un escaso tiempo de residencia en el acuífero. El contenido de sales promedio de las 17 muestras analizadas es de 498,8 mg/L.

Los bombeos vinculados a la planicie aluvial del río Colorado se realizan también a través de pozos o perforaciones poco profundas y pozos filtrantes. El agua vinculada a la planicie aluvial del Río Colorado aguas arriba -en Barrancas, círculo verde de la Figura 2- posee una composición similar a la del Río Neuquén: baja concentración de iones, no presentando un dominio claro de aniones o cationes, siendo levemente clorurada cálcica. Esto refleja la proximidad a la fuente en las montañas del oeste con abundantes precipitaciones. Hacia aguas abajo, en Rincón de los Sauces (RDLS; círculos rojos), el agua es de tipo más mineralizada, sulfatada cálcica y magnésica. Esta característica se debe a la composición de las rocas evaporíticas de la Fm Huitrín (de acuerdo a la descripción geológica realizada por Gómez (2011)) atravesadas por el río y por la red de afluentes. Un poco más lejos aguas abajo, en Octavio Pico, el agua continúa con un comportamiento similar. El contenido de sales promedio de las 6 muestras analizadas es de 1.062 mg/L.

### **Vertientes y aguadas**

Las vertientes y aguadas que están dispersas en el área de estudio reflejan la composición de las rocas que atraviesan. En el Dorso de los Chihuidos (ver cuadrados verdes en Fig. 2) son de tipo sulfatadas sódicas y potásicas, probablemente debido a la formación de los mallines (humedales) sobre las rocas del Gr. Neuquén (Garrido, 2011). El contenido de sales promedio de las 4 muestras analizadas es de 1.008,8 mg/L.

En Buta Ranquil (pentágonos celestes, Fig. 2), la vertiente relacionada a las rocas eruptivas del volcán Tromen y a la cercanía a la zona de recarga presenta aguas de baja mineralización, del tipo bicarbonatada cálcica; mientras que la relacionada al relleno del valle es más mineralizada y más sulfatada, debido a las rocas yesíferas de la Fm. Huitrín. El contenido de sales promedio de las 2 muestras analizadas es de 498,7 mg/L.

Las vertientes del Auca Mahuida (pentágonos amarillos, Fig. 2) presentan una tipología variable, a veces más frescas, de baja mineralización, vinculadas a la recarga pluvial; y otras reflejando la composición de las rocas del Gr. Neuquén y Gr. Malargüe (caracterizado por Holmerg en 1964). El contenido de sales promedio de las 17 muestras analizadas es de 2.268 mg/L.

En las aguadas de la zona de Pampa Tril (cuadrados violetas, Fig. 2) el agua es fuertemente sulfatada cálcica y magnésica, reflejando la disolución de los depósitos evaporíticos de la Fm Huitrín. El contenido de sales promedio de las 2 muestras analizadas es de 2.260,5 mg/L.

### **Acuíferos confinados**

Las muestras de agua analizadas pertenecen mayoritariamente a perforaciones realizadas en rocas del Gr. Neuquén y, en menor medida, en sedimentitas de la Fm. Rayoso (según descripción de Pángaro (2011)) y Gr. Malargüe.

Poseen una mineralización media a elevada (triángulo azul en Fig. 2), con aguas predominantemente cloruradas sódicas y potásicas y sulfatadas sódicas, pudiéndose corresponder el elevado contenido de sodio al tiempo prolongado de circulación de las aguas a través de los estratos multicapas del Gr. Neuquén, en donde las aguas captan este ión de las arcillas, el cual tenderá a permanecer disuelto en el agua en circulación.

La información disponible no permite asociar la composición a las unidades acuíferas, por lo que deberá realizarse un análisis hidrogeológico en pozos que tengan información litológica de las formaciones atravesadas. El contenido de sales promedio de las 31 muestras analizadas es de 2.814 mg/L.

En base a los resultados obtenidos, se seleccionaron muestras representativas de cada familia de aguas (y en diferente ubicación geográfica en aquellas familias de aguas en las que se seleccionó más de una muestra). La composición de las muestras tipo seleccionadas se presenta en la Tabla 1, a partir de la cual se elaboraron los diagramas de Stiff de la Figura 3.

Tabla1. Composición de las aguas tipo seleccionadas (concentraciones en mg/L).

Zona	Grupo	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Descripción del sitio
Añelo	▲	111	37	65,8	5,1	340	92	121	Acuífero libre aluvial del Río Neuquén
San Patricio del Chañar	▲	32	1,3	21	2	64	20	33	Acuífero libre aluvial del Río Neuquén
Sauzal Bonito	▲	18,46	3,44	14,95	0	59,11	12,63	25,66	Acuífero libre aluvial del Río Neuquén
Los Chihuidos	■	109	35	321	3,2	248	168	514	Vertiente en el Dorso de Los Chihuidos
Auca	◆	2	4	368	0	195	156	423	Vertientes en el Gr. Neuquén
Cruz de Lorena	▲	61,4	2,4	534	1,7	91,5	446,1	587	Pozo acuífero confinado Gr. Neuquén
Pampa Tril	■	600	56	45	0	478	74	1280	Pozo en mallín de Pampa Tril.
Rincón de los Sauces	●	228	25,2	160	4,5	181	273	427	Acuífero libre aluvial del Río Colorado
Octavio Pico	●	257	26,5	183	5,6	271	249	522	Acuífero libre aluvial del Río Colorado
Buta Ranquil	◆	102	27	28,2	8,5	96	14	264	Pozo en relleno del valle de B. Ranquil
Barrancas	●	28,4	13,8	35,4	2,9	85	38	65	Planicie aluvial del Río Colorado

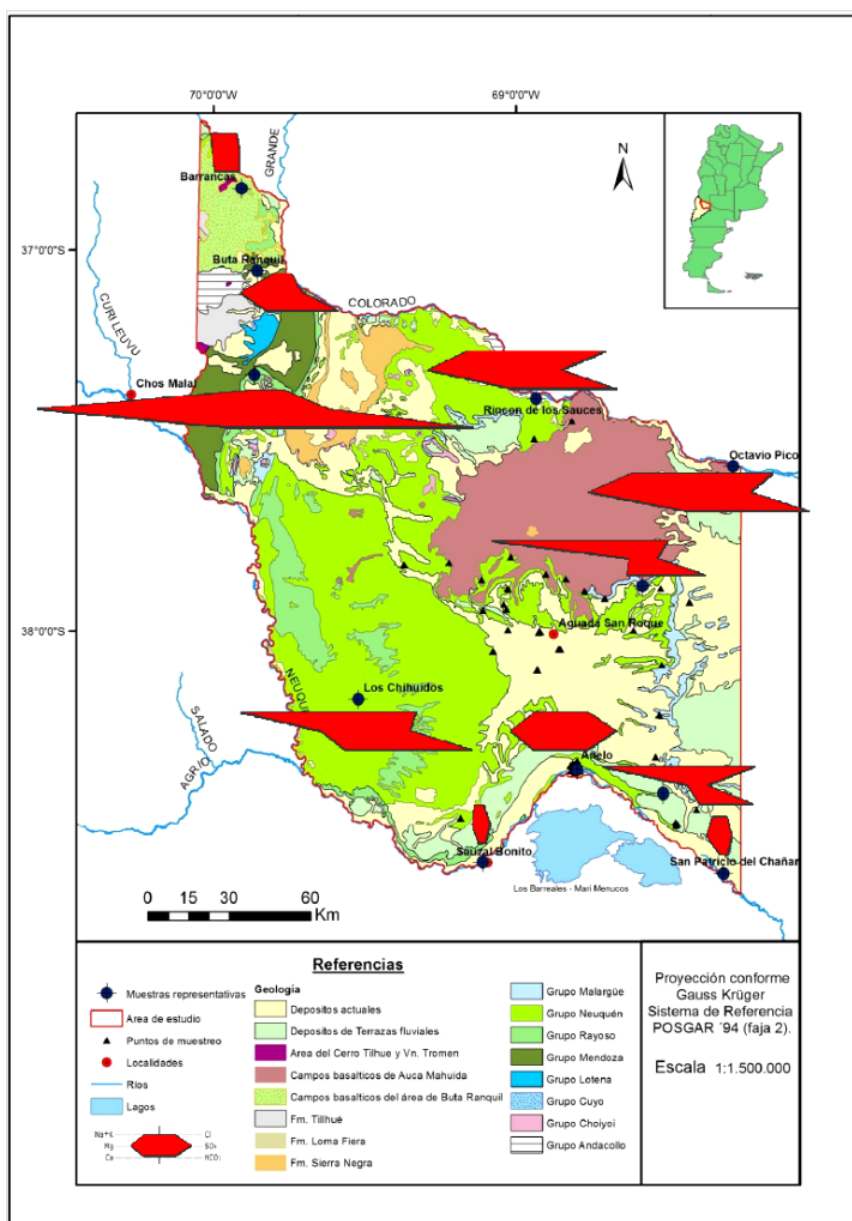


Figura 3. Diagramas de Stiff representativos en diferentes ambientes geológicos de la provincia.



## CONCLUSIONES

La tipología variada en la composición de las 79 muestras de agua analizadas refleja las diferentes condiciones hidrogeológicas, las cuales dependen fundamentalmente de la influencia producida por las litologías presentes en la zona, tanto en la composición química de las rocas que van a interactuar con el agua, como así también de las propiedades de las rocas relacionadas con el flujo, que le otorgan características hidrogeológicas particulares a cada unidad acuífera. Esto permite estimar y separar distintas familias de aguas en base a su composición y a la litología asociada.

Los acuíferos libres asociados a los ríos Neuquén y Colorado reflejan las características de los ríos. En general, tienen baja concentración de iones y, si bien no tienen especies iónicas dominantes, son levemente bicarbonatadas, dado que al pertenecer a acuíferos con fuerte relación con el río, su tiempo de residencia en el subsuelo es escaso y los procesos de recarga-descarga importantes. La interacción del agua con los estratos es más notable en el río Colorado, que se vuelve más sulfatado luego de atravesar las rocas evaporíticas.

En los acuíferos confinados, el elevado tiempo de circulación del agua a través de los estratos provoca una concentración de aquellos iones más móviles o que formen sales solubles, sumado a un prolongado intercambio iónico que se produce entre las rocas y el agua, lo que provoca una elevada concentración de cloruros y de sodio.

Las vertientes también reflejan la composición de las rocas a través de las que circulan. Esta influencia se acentúa en las rocas volcánicas que presentan sistemas de fracturas, en las cuales el agua de lluvia circula de manera preferencial, generando niveles saturados que se transforman en vertientes en las laderas de los volcanes. Cuando la percolación se produce en las rocas subyacentes, el intercambio iónico provoca un elevado y variado grado de mineralización de las aguas, como ocurre en las vertientes del Auca Mahuida.

La influencia del clima árido es considerable. Siendo la recarga escasa, el tiempo de circulación de las aguas en el subsuelo se convierte en un factor determinante de la concentración de sales en las aguas. Las concentraciones encontradas son bajas en los acuíferos relacionados a los ríos permanentes, y muy variables en los acuíferos confinados, desde baja a media-alta mineralización.

## REFERENCIAS

- Casanova de Chaudet, M.**, 1938. Estudio sobre las aguas del Yacimiento de Plaza Huinul. YPF S.A., Plaza Huinul, Neuquén.
- Diagrammes v6.5**, 2015. Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. <http://www.lha.univ-avignon.fr/>
- Domenico, P. y Schwartz, F.**, 1998. Physical and Chemical Hydrogeology (2nd ed.): John Wiley and Sons, Inc, New York, 554 p.
- Dufilho, A.C. y Toth, A.**, 2002. Sistema de Información Geográfica para el Ordenamiento Territorial Ambiental (SIGOTA). (Y actualizaciones). COPADE, Provincia del Neuquén.
- Ente Provincial de Agua y Saneamiento (EPAS)**, 2005. Datos de análisis químicos agua en la Provincia de Neuquén, período 1986-2004. Acuerdo de colaboración Universidad Nacional del Comahue – EPAS, provincia del Neuquén.
- Garrido, A.**, 2011. El Grupo Neuquén (Cretácico tardío) en la Cuenca Neuquina. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén. Pág.231-244.
- Gómez Figueroa, J., Monardez, C. y Balod, M.**, 2011. El Miembro Troncoso Superior de la Formación Huitrin (Cretácico Temprano). Relatorio del del XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén. Pág.189-198.
- Holmerg, E.**, 1964. Hoja geológica 33d Auca Mahuida.
- INDUSER**, 2012. Análisis físico químico de agua del pozo AP-WW 3. Protocolo n°133693
- INDUSLAB**, 2012. Análisis físico químico completo de agua del pozo APWW 3. Protocolo n°15571.
- INDUSLAB**, 2014. Análisis físico químico completo de agua de los pozos LLY WWW-01, AP-WW 4.
- Levin, M.**, 1992. Informe de perforaciones de agua en Plaza Huinul (al norte de la Dorsal). PerezCompanc.

- Narciso, V.**, 2004. Hoja geológica 3769-I Barrancas.
- Otaño, R., sf. Recopilación**, 1944 – 1950 de datos de perforaciones de agua en la zona del Yacimiento General San Martín (Anexo 10). YPF S.A., Plaza Huincul, Neuquén.
- Pángaro, F., Martínez R., Sattler F. y Bettini F.**, 2011. El Bajo de Añelo. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén. Pág. 399-405.
- Petrolera Entre Lomas S.A.**, 2008. Informe del pozo BMo-4, Productor de agua. Area Bajada del Palo y Borde Montuoso. 27p.
- Polla Gabriela, Dufilho Ana Cecilia, Horne Federico, 2006.** Optimización de requisitos de tratamiento de aguas residuales basado en la calidad del agua de acuerdo con el uso del cuerpo receptor: caso Río Neuquén, Patagonia, Argentina. Ingeniería Hidráulica en México Vol. XXI N°3 pág.33-42
- Primo, L. y González, O.A.**, 1973. Relevamiento de las aguas subterráneas de la cuenca neuquina y su posible utilización en proyectos de recuperación secundaria y otros usos.
- Salleo, A.M.**, 1978. Pozos de Agua en Yacimientos Zapala y Puesto Hernández Anexo N° 4. YPF S.A., Plaza Huincul, Neuquén.
- URS**, 2013. Informe de monitoreo de agua subterránea. Pozo exploratorio SHE.NQ.SB.X-1001, Proyecto shaleoil, Sierras Blancas, San Patricio del Chañar, provincia de Neuquén. Para Shell CAPSA.
- URS**, 2014. Informe de instalación de los pozos de monitoreo de agua subterránea PM-CdL-1 y PM-CdL-3. Area Cruz de Lorena, provincia de Neuquén. Para Shell – O&G Developments LTD.
- URS**, 2014. Informe de instalación de los pozos de monitoreo de agua subterránea PM-AM-1 y PM-AM-2. Area Aguila Mora, provincia de Neuquén. Para Shell – O&G Developments LTD.
- Villa, R., Dal Piva, S. y Sánchez L.**, 1993. Recopilación de análisis químicos de aguas. YPF S.A., Plaza Huincul, Neuquén.
- Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF)**, 1971. Recopilación 1964 -1971 de análisis químicos (Anexo N°6).