

Artículo de investigación



Hidroestratigrafía de las formaciones Caldereros y Huincul, grupo Neuquén. Añelo, Neuquén, Argentina

Hydrostratigraphy of Candeleros and Huincul formations, Neuquen grup, Añelo, Neuquen, Argentina

Adrián Silva Busso ^{1,*}, Felipe Benjamín Neuss ², Marcelo Stico ³

*Autor de correspondencia

HISTORIA DEL ARTÍCULO

Recibido 11 Septiembre 2022
Revisado 30 Septiembre 2022
Aceptado 26 Octubre 2022
Publicado 10 Noviembre 2022

PALABRAS CLAVE

Hidrogeología,
Hidroestratigrafía, Acuífero,
Grupo Neuquén, Agua
subterránea.

KEYWORDS

*Hydrogeology,
Hydrostratigraphy, Aquifer,
Neuquén Group, Groundwater*

Resumen

La localidad de Añelo se encuentra en el epicentro del desarrollo hidrocarburífero de la provincia del Neuquén. Allí las poblaciones sufren un marcado déficit hídrico. En este trabajo se estudió la presencia y origen del recurso hídrico subterráneo, dedicando especial atención a las rocas del Grupo Neuquén como principales fuentes de abastecimiento para consumo humano, irrigación y la industria. El Grupo Neuquén es una sucesión continental, asociada al comienzo del levantamiento andino, compuesta por una alternancia de depósitos aluviales y planicies con paleosuelos. La secuencia fue relevada mediante un perfil sedimentológico en los afloramientos de la Barda Molina donde se logró identificar, fotografiar, muestrear y analizar petrográficamente las unidades con posibles aptitudes hidrogeológicas, concluyéndose que los paquetes arenosos presentes en las unidades basales poseen características acuíferas y acuitardas. Además, con las perforaciones efectuadas en el bajo topográfico de Añelo, al norte de la localidad homónima, se reconocieron las unidades de interés en subsuelo. Un análisis detallado de la litología permitió evaluar la hidroestratigrafía en superficie y en profundidad. Se planteó una posible interconexión hidráulica entre acuíferos producida por el contacto directo entre las unidades o por diversas estructuras tales como diques, fallas y fracturas que favorecen la migración de aguas superficiales hacia acuíferos profundos.

Abstract

Añelo, located in the province of Neuquén, is at the center of Argentina's hydrocarbon development. At the same time, the population of the area suffers from a marked water deficit. In this work, the presence and origin of the underground water resource are studied, paying special attention to the rocks of the Neuquén Group as the main sources of supply for human consumption, irrigation or industry. The Neuquén Group is a continental succession, associated with the beginning of the Andean uplift, it is composed of an alternation of alluvial deposits and plains with paleosols. The sequence was surveyed by means of a sedimentological profile in the outcrops of the Barda Molina and there it was possible to identify, photograph, sample and analyze the petrology of the units with possible hydrogeological aptitudes, concluding that the sandy packages present in the basal units have aquifer and aquitard characteristics. In addition, the drilling carried out in the Añelo's slump, located north of the town, allows us to recognize the units in the depths. With a detailed analysis of the lithology, we could evaluate the surface and depth hydrostratigraphy. The hydraulic interconnection between aquifers could be given by direct contact between units or by the diversity of structures as dykes, faults or fractures that favor the migration of surface waters towards deep aquifers.

1 SSH-Instituto Nacional del Agua (INA), Empalme J. Newbery km 1.628, CP1802 Ezeiza, Argentina. Universidad Buenos Aires (UBA) Argentina. silvabusso@yahoo.com.ar

2 Universidad Buenos Aires (UBA) Argentina. silvabusso@yahoo.com.ar

3 Universidad Buenos Aires (UBA) Argentina. silvabusso@yahoo.com.ar

1. INTRODUCCIÓN AL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio en Añelo se situó al noreste de la provincia, la pequeña cuenca de 60 km de diámetro está ubicada en el sector extra andino, rodeada por altos topográficos (Figura 1). La zona se caracteriza por grandes contrastes térmicos diurnos y fuertes vientos. Las precipitaciones anuales no superan los 250 mm y el recurso hídrico local es escaso. Los ríos principales que atraviesan la provincia como el Neuquén, Colorado y Limay escurren paralelamente a la depresión de Añelo. En esta región el recurso hídrico subterráneo resulta importante para las poblaciones que allí residen y para las actividades industriales que se desarrollan en las cercanías. Para lograr una explotación sostenible es fundamental explicar el contexto geológico e hidrogeológico del Bajo de Añelo.

Digregorio, (1972) considera como primer objetivo es la caracterización hidroestratigráfica del Grupo Neuquén en la zona y discutir la interconexión hidráulica entre acuíferos y la superficie. Este estudio toma este objetivo y propone alcanzarlo estudiando las sedimentitas cretácicas, tanto expuestas en superficie como confinadas en profundidad, para evaluar la hidroestratigrafía de la cuenca de Añelo y con ello apoyar un futuro modelo hidrogeológico conceptual. La zona de Aguada San Roque posee dos perforaciones denominadas ASR-1 y ASR-2 (que no

son de uso petrolero) han aportado valiosa información con miras a comprender las posibles interconexiones hidráulicas.

Estas sedimentitas pertenecen al intervalo inferior del Grupo Neuquén, más específicamente a las formaciones Candeleros y Huincul (Ramos, 1981), las cuales poseen acuíferos que son de interés y resultan explotados en el área. Subordinadamente, se trató de abordar el grado de interconexión hidráulica entre el sector inferior del Grupo Neuquén y la subyacente Formación Rayoso (Uliana et al., 1975), la cual forma parte del sector superior del Grupo Bajada del Agrio. Las tareas de campo y gabinete se centraron en un área de afloramiento principal y varios sitios donde se empleó la información de perforaciones. La figura 1 presenta la zona del Bajo de Añelo, los ríos Colorado y Neuquén y los afloramientos occidentales del Grupo Neuquén zona que puede considerarse como el área de estudio y de alcance de las conclusiones aquí propuestas. El área elegida fue Barda Molina, ubicada en la faja plegada y corrida del Agrio, donde se localizan afloramientos del Grupo Neuquén y de la Formación Rayoso. La elección de esta zona no solo de baso en la accesibilidad, sino también en su proximidad a la aún supuesta una de las zonas de recarga (el Río Neuquén) y la cercanía con las perforaciones de correlación del subsuelo.



Figura 1. Imagen satelital del Bajo de Añelo. Se indican los principales rasgos topográficos que delimitan dicha la cuenca endorreica.

2. METODOLOGÍA

En principio, el trabajo de gabinete se concentró en la búsqueda de información y bibliografía correspondiente a la estratigrafía e hidrogeología de la zona y en particular del Bajo de Añelo. Esto estableció un estado del arte sobre el conocimiento hidrogeológico de la región que sirvió de base para la para el reconocimiento hidroestratigráfico. Se eligieron los afloramientos en la zona de Barda Molina, un conjunto de lomadas de poca expresión inmediatamente al norte del Río Neuquén como zona representativa de la geología regional. Se realizó el relevamiento de un perfil estratigráfico del Grupo Neuquén para posteriormente correlacionarlo con perfilajes de pozos ubicados en el bajo. En términos generales, se relevaron en el campo las distintas unidades litoestratigráficas, estudiando sus características litológicas, y midiendo los espesores y actitudes de sus bancos, y tomando muestras de rocas para su posterior análisis al microscopio. También se investigó la presencia de posibles estructuras geológicas, lineamientos, rasgos geomorfológicos, relaciones estratigráficas y otros rasgos que permitieron mejorar el reconocimiento que se tiene sobre la evolución de la zona. Para estas tareas se utilizó un receptor GPS y una brújula Brunton. También para el levantamiento del perfil sedimentológico del Grupo Neuquén en la Barda Molina se midieron espesores con báculo de Jacob. Fue en esta locación (Barda Molina) donde se realizaron todos los estudios de campo mencionados que facilitaron la confección de una cartografía geológica más detallada y un mapa hidroestratigráfico. Para ello se buscó definir las unidades que podrían permitir el almacenamiento y flujo de agua en profundidad es de vital importancia para el objetivo de este estudio, ya que esta información permite tener una mayor comprensión sobre el subsuelo. En laboratorio se usaron las muestras de roca tomadas en el campo para ser analizadas con el uso de microscopio petrográfico. Las mismas fueron teñidas para mejorar la visibilidad de los espacios interporales y evaluar la porosidad más fácilmente dado que resulta un dato petrofísico de valor hidrogeológico. En gabinete se recopiló toda la información posible en un sistema de información geográfica (SIG), utilizando el software QGIS. Mediante este programa se pudo georreferenciar y ubicar en distintas capas superpuestas las imágenes satelitales previamente usadas, los mapas geológicos, un mapa topográfico, modelos de elevación digital

ASTER GDEM con una resolución de un segundo de arco, y los datos obtenidos en el campo (incluyendo rumbos, inclinaciones, cotas y espesores). Esta confección cartográfica fue sumamente útil para poder realizar los mapas geológico e hidroestratigráfico definitivos de la zona nororiental del Neuquén. El mapa pone énfasis en delimitar los afloramientos del Grupo Neuquén, prestando especial atención a la litología de las unidades. En este objetivo se utilizaron como referencia mapas previos (Holmberg 1964, Ardolino et al., 1996, Rodríguez et al. 2007, Rodríguez 2011) e imágenes satelitales obtenidas en *Google Earth*, *Earth Explorer*, *Bing Maps*. En estas últimas, se pudo distinguir las distintas unidades que componen a la Barda Molina, particularmente las arenas rojizas de la Formación Candeleros, que contrastan con las areniscas blanquecinas limpias de la Formación Huincul. Mediante el uso de software de diseño gráfico se realizó el perfil sedimentario de la Barda Molina y las secciones geológicas e hidrogeológicas de afloramiento que luego se correlacionaron con los datos del subsuelo en las perforaciones. Así se compuso un perfil hidroestratigráfico de la zona estudiada en escala 1:500 para, posteriormente, correlacionarlo con los primeros metros de perfilajes de pozos hidrocarburíferos de YPF ubicados en el Bajo de Añelo. Los datos de campo fueron correlacionados con el pozo LLL-997 de YPF, ampliamente utilizado en la zona y ubicado en la localidad de Añelo, para mejorar las interpretaciones y correlaciones de la región. Para la identificación de los pases formacionales en datos de pozo se utilizó el software EESi para graficar los archivos LAS de los registros geoelectrónicos de pozo fundamentales en el análisis hidrogeológico de estas unidades. A partir de los datos de carga hidráulica de los pozos de Aguada San Roque (ASR-1 y ASR-2) permitieron interpretar relaciones hidrodinámicas de los acuíferos bajo estudio en este trabajo.

3. MARCO GEOLÓGICO

La Cuenca Neuquina posee un espesor sedimentario aproximado de 7000 m acumulados desde el Triásico al Terciario. El relleno mesozoico es el más desarrollado y puede ser dividido en siete grupos principales: Precuyo, Cuyo, Lotena, Mendoza, Rayoso/Bajada del Agrio, Neuquén y Malargüe. El Terciario puede ser caracterizado por la sedimentación sinorogénica andina y vulcanismo

(Ramos et al., 2010). En la Barda Molina, sector más oriental de la Faja Plegada y Corrida del Agrio, se encuentran afloramientos desde la Formación Rayoso hasta el techo del Grupo Neuquén y allí fue donde se realizó el relevamiento de un perfil sedimentario. La base de la barda comienza con las secuencias siliciclásticas terminales del Miembro Rincón de la Formación Rayoso, luego continúa con el Miembro Rayoso Evaporítico Superior o Miembro Quili Malal y el Miembro Pichi Neuquén (Leanza, 2003). Sobre yace en concordancia aparente el Grupo Neuquén con las Formaciones Candeleros y Huincul. Las areniscas violáceas de la Formación Candeleros junto con las areniscas blancas de la Formación Huincul forman el filo de la barda. Al este, en el valle siguiente, subaflora la Formación Cerro Lisandro y los equivalentes laterales de las Formaciones Portezuelos y Plottier como fueron definidos por Garrido (2010). Las areniscas de la Formación Bajo de la Carpa afloran en la barda contigua, al este, dando fin al conjunto de afloramientos. La Formación Anacleto no fue reconocida en el sector del perfilaje por estar cubierta por aluvio reciente. La cuenca neuquina ha estado sometida a constantes cambios tectónicos y eventos magmáticos, lo que es evidenciado por la multiplicidad de estructuras con edades, orientaciones y cinemáticas diferentes. El vulcanismo observado en el área de estudio es en su mayoría de composición básica favoreciendo la generación de diques y aparatos volcánicos como el Auca Mahuida. En el primer caso las vías de migración asociadas a los basaltos de Huantraico están vinculadas a periodos de extensión Miocena en el retroarco andino, favoreciendo el ascenso y extrusión de

materiales básicos. Posteriormente la compresión andina generó el plegamiento de las unidades depositadas originalmente horizontales provocando el plegamiento del sinclinal de Huantraico. Por otra parte, la compresión andina posterior, junto con reactivaciones locales, favorecieron el ascenso de nuevos materiales volcánicos pleistocenos como las lavas y diques de Parva Negra y Auca Mahuida (Basaldúa, 2018).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Petrografía de las formaciones Candeleros y Huincul en Barda Molina

El Grupo Neuquén muestra en la base la presencia de dos tipos de areniscas, las cuales fueron denominadas areniscas tipo "Candeleros" y tipo "Huincul" contenidas en las Formaciones Candeleros y Huincul, esto puede observarse en la figura 2. Las transectas son las direcciones de toma de datos y muestras atravesando los afloramientos en rumbo aproximado Oeste-Este, desde los más antiguas a los más modernos comenzando la secuencia en los afloramientos de la F. Rayos (techo del Grupo Bajada del Agrio) hasta alcanzar al este los afloramientos de los depósitos del Grupo Malargüe límite superior del análisis hidroestratigráfico de campo, excluido aquí del reconocimiento geológico. Se identifican claramente las discordancias respectivas (señaladas con líneas de puntos) con la F. Rayoso del Grupo Bajada del Agrio al Oeste de la figura 2, y el Grupo Malargüe al Este de la misma figura.

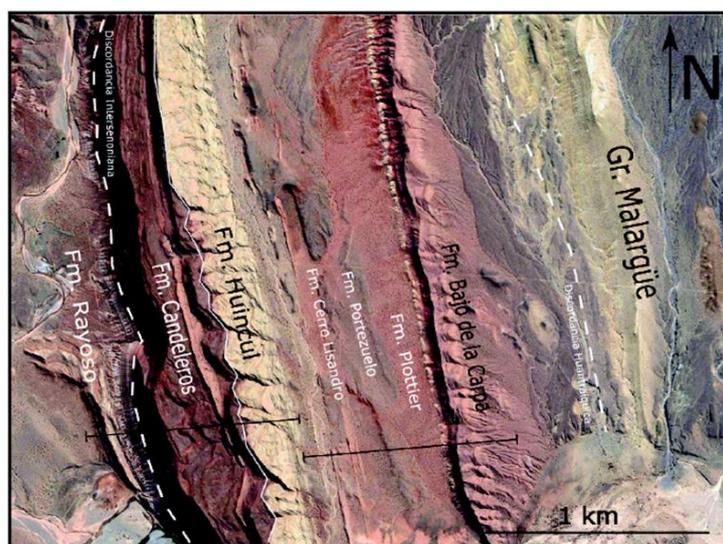


Figura 2. Detalle de la Barda Molina afloramientos y transectas usadas en el perfil

Formación Candeleros: En líneas generales, sus componentes litológicos se encuentran conformados por areniscas cuarzolíticas y grauvacas finas a gruesas, con granos subangulosos a subredondeados y de moderada a buena selección (Figura 3).

Su típico color rojo morado es característico de estas arenas lo que las hace distinguibles fácilmente en afloramiento. La presencia de abundantes parches de cemento hematítico, constituye un rasgo característico en los depósitos, que los distingue fácilmente del resto de las unidades del Grupo Neuquén. El cemento es hematítico y en mucha menor medida, carbonático. En aquellos sectores de la cuenca donde la presencia de estos parches es sustancialmente menor, la Fm. Candeleros adquiere

tonalidades rojizas mucho más claras (rojizo anaranjado), aunque en general, su coloración resulta siempre distintiva respecto al resto de las unidades

Al analizar las muestras al microscopio petrográfico, se pudo observar que están compuestas por clastos líticos como principal constituyente seguido por minerales de cuarzo y plagioclasas. Los clastos componen el 80% de la muestra, el resto de componentes de la roca son el cemento, la escasa matriz y la porosidad (figura 4). La hematita, además de estar cementada en parches, se encuentra también, como pátinas (coatings) que recubren los clastos. Se clasifica según Folk et al. (1970) como arenas o como litoarenitas.



Figura 3. Muestra de roca de la Fm Candeleros en Barda Molina.

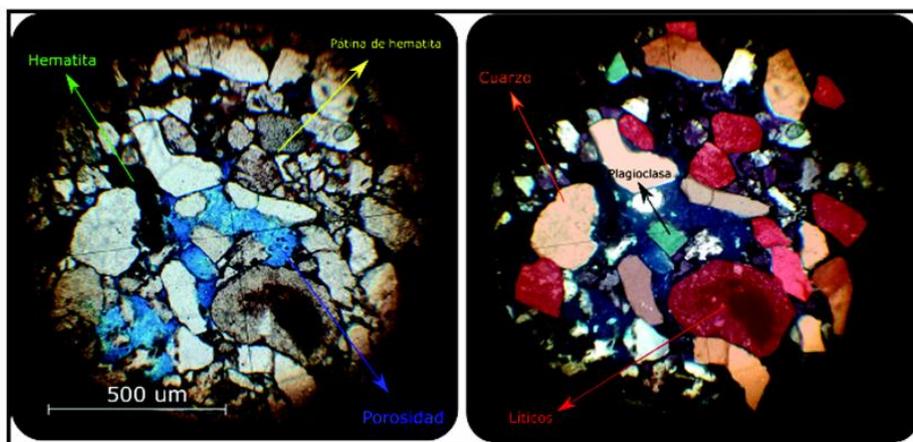


Figura 4. Mineralogía y determinación de la porosidad por tinción (Fm Candeleros)

Formación Huincul: Está conformada por areniscas cuarcíticas y cuarzolíticas de granulometría variable con moderada selección (figura 5). También fácilmente identificables en afloramiento ya que se trata de areniscas cuarzosas finas de tonalidades amarillentas. El típico color amarillento que caracteriza a esta unidad está dado por la presencia de óxido férrico en contenidos relativamente bajos. Los clastos son subangulosos a subredondeados y presenta escasa matriz y muy bajo contenido de cemento de composición hematítica y carbonática.

Al analizar las muestras al microscopio petrográfico se pudo observar que, en promedio, las muestras están compuestas por clastos de cuarzo como

componente principal, plagioclasa, feldespato y líticos de diferente origen (figura 6).

Se clasifica según Flok et al. (1970) como ortoliticuarcita. En este caso se nota disminución de líticos y plagioclasa a expensa del aumento considerable de clastos de cuarzo. Junto con la disolución de las pátinas de hematita y los cementos tanto hematíticos como carbonáticos, se le suman los clastos volcánicos y los feldespatos que se encuentran parcial o totalmente alterados con disoluciones parciales de los cementos secundarios de cuarzo. Estos rasgos de disolución dan lugar a la característica más notoria de las areniscas de la Fm. Huincul que es el incremento de la porosidad de la roca.



Figura 5. Muestra de roca de la Fm Huincul en Barda Molina

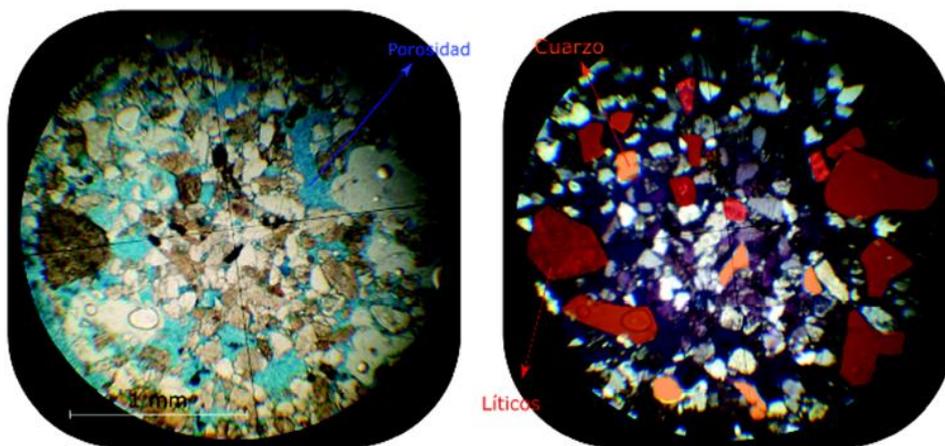


Figura 6. Mineralogía y determinación de la porosidad por tinción (Fm Huincul).

4.2 Análisis de la porosidad de las unidades acuíferas

Según Rainoldi (2015) en los depósitos basales del Grupo Neuquén (Fm Candeleros) la porosidad total varía entre 8 y 12% y en la Formación Huincul oscila entre 12 y 23%. Observa que, por sectores, la porosidad puede reducirse al 0% ya que el crecimiento de cemento carbonático secundario alcanzaría al 24% de la muestra, así como también se encontrarían poros sobredimensionados por disolución. Manacorda et al., (2002) determinó que, para muestras del Subgrupo Río Limay (Fm Candeleros?), la porosidad total es de 12 a 18% y la permeabilidad intrínseca de 20 a 300 mD. Sobre la base del análisis de los cortes de roca (figuras 4 y 6) se observan procesos de disolución de los coatings de hematita del cemento más intensos en las areniscas de la Fm Huincul que en las areniscas de la Fm. Candeleros. Estos rasgos diferenciales de disolución dan lugar a la característica más notoria de las areniscas de la Fm Huincul, el incremento de la porosidad en comparación con las areniscas de la Fm. Candeleros. Los poros sobredimensionados son evidencias de la intensa destrucción de los clastos lábiles y los cementos que también contribuyen a estas diferencias de porosidad. Estas disoluciones pueden generarse por etapas, y a temperaturas menores de 80°C si hay ácidos orgánicos presentes que son producto de la descomposición de hidrocarburos, o bien, entre los 80°-120°C si hay ácidos orgánicos derivados de la migración en

conjunto con los hidrocarburos. (Rainoldi 2015). Se vincula directamente la migración de aguas ácidas, con la disolución de componentes de la roca. A partir de este análisis las muestras de la Fm Candeleros presentan una porosidad total de baja a media y se mantiene en valores que alternan entre 0.1 y 13%. En esta unidad el elevado contenido de hematita da como resultado pequeñas obturaciones en las gargantas porales, lo que resulta en la disminución de la porosidad en la roca. No obstante, existen poros sobredimensionados generados por disolución de cementos, mostrando por sectores texturas de clastos flotantes. Las muestras de la Fm Huincul presentan una porosidad total es de media a alta y se mantiene en valores que alternan entre 8 y 20%. Es notorio el aumento de la porosidad respecto a las areniscas de la Fm Candeleros. Los poros también están sobredimensionados, se cree que son producto de disolución de cementos. A diferencia de la unidad subyacente, el bajo contenido de cemento y matriz da como resultado que dichas rocas posean mayor porosidad específica. Al igual que en el caso de la Fm. Candeleros también hay poros sobredimensionados y textura de clasto flotante típica de disolución de clastos y cementos. Lo que confiere una porosidad secundaria y mejora su carácter acuífero. La figura 7 presenta las muestras elegidas donde se destaca la disolución y consecuente porosidad secundaria en ambas areniscas (Fm. candeleros y Huincul).

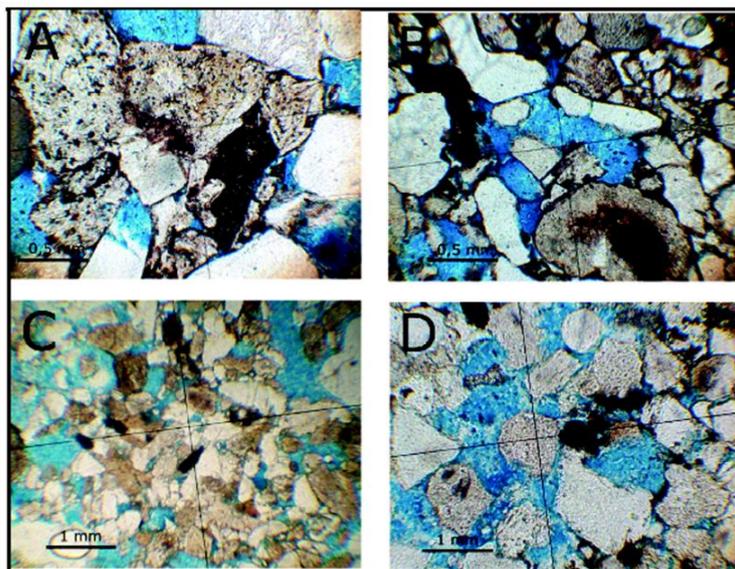


Figura 7. Porosidad por tinción Fm. Candeleros (A y B) y Fm. Huincul (C y D).

Han sido microfotografías con luz transmitida de secciones delgadas teñidas de azul que muestran el incremento de la porosidad registrado desde las areniscas rojas de la Fm. Candeleros (A y B) a las areniscas grises y amarillentas de la Fm. Huincul (C y D). Notar que ambas muestras poseen poros sobredimensionados, pero en las areniscas de la Fm. Huincul se encuentran en mayor proporción.

Finalmente, el análisis del presente trabajo indica que las rocas poseen propiedades muy similares a las analizadas por Rainoldi (2015). Las arenas de la Fm. Candeleros muestran de baja a moderada porosidad total del 0,1 al 13% y en las arenas de la Fm. Huincul, la porosidad total aumenta a valores entre el 8 y 20 % de la muestra.

4.3 Correlación de perfilajes eléctricos de pozo y afloramientos

Para analizar el subsuelo es conveniente definir los límites estratigráficos de las unidades de interés hidrogeológico enmarcadas en la región definiendo los límites del Grupo Neuquén para luego definir los límites de las posibles zonas acuíferas, acuitardas y acucludadas. A pesar de que la cuenca de Añelo ha sido perforada en miles de oportunidades, la información subsuperficial es escasa. Ya que casi la totalidad de las perforaciones son desarrolladas por empresas petroleras, las cuales, en muchos casos, para agilizar las operaciones en el pozo, no registran los primeros 500 metros por no ser, a priori, de interés. Para una correlación adecuada fueron definidos los límites estratigráficos del Grupo Neuquén en afloramientos, luego, se correlacionaron con los reconocidos en los perfilajes de pozos hidrocarbúricos de YPF en la zona y finalmente se determinaron las posibles zonas acuíferas y acuitardas observadas en superficie. Fueron analizados 4 (cuatro) registros de perforación en una transecta NO-SE de la cuenca de Añelo, suministrados por YPF. La interpretación y correlación fue realizada a partir del pozo LLL-997, el cual fue estudiado en detalle por YPF. Se examinaron los perfilajes de pozo usando las relaciones existentes entre las propiedades petrofísicas de las rocas. Esas propiedades en conjunto, nos permiten analizar posibles niveles acuíferos. La lectura de los perfilajes de pozo se realizó a partir de las relaciones existentes entre las propiedades petrofísicas de las rocas. En este caso se tuvo en cuenta la respuesta natural de Rayos Gamma (GR), la cual está relacionada con la concentración de

arcillas en la roca, la que nos permitió definir litología; la Resistividad (AT), la cual está relacionada directamente con fluidos almacenados en la porosidad de las rocas, la que nos permitió definir grados de salinidad en fluidos; el Sónico (DT), el cual está relacionado con la porosidad de la roca. Esas propiedades en conjunto, nos permiten analizar posibles paquetes productores de agua.

La base de la Formación Candeleros fue localizada usando los marcadores (markers) estratigráficos encontrados en el techo de la Formación Rayoso en la Barda Molina. Aquí resultan ser paquetes de anhidrita que tienen una respuesta característica en el registro. Se observan como grandes picos negativos de Rayos Gamma por la baja concentración de elementos radiactivos. Por encima de dicha marca, comienza un paquete arenoso, caracterizado por baja intensidad y podría ser correlacionado con los espesos paquetes arenosos de las formaciones Candeleros y Huincul, observados en la Barda Molina. La figura 8 sintetiza la correlación mencionada sobre la base del perfil hidroestratigráfico del Grupo Neuquén de Barda Molina. Se identifica una sucesión de intercalaciones arenopelíticas gradando a los espesos paquetes de las pelitas suprayacentes a la Formación Huincul, las cuales actúan como acucludadas y confinan a las unidades arenosas. Fue considerado todo el paquete arenoso como una zona acuífera, agrupando tanto a la Formación Candeleros como así también a los paquetes arenosos de la Formación Huincul. Por debajo de los marcadores evaporíticos se encuentran otras unidades con posibles cualidades acuíferas profundas (Fm. Rayoso) que no entran en el análisis del presente trabajo. El Grupo Neuquén aumenta su potencia hacia el este llegando sus mayores espesores a los 1200 metros. El tope del grupo se profundiza hacia el oriente llegando a detectarse entre los 100 y 300 msnm siendo cubierto por depósitos más modernos (Alonso et al., 2018). La presencia de estructuras e intrusivos genera deformación en estas unidades originalmente depositadas subhorizontalmente. El tope de la unidad se flexiona en varios lugares, tales como el volcán Auca Mahuida al norte, la sierra de Huantraico al noroeste y el Dorso de los Chihuidos hacia el oeste. Hacia el sur y este las unidades permanecen subhorizontales (Basaldúa, 2018). El arreglo geométrico de la unidad es relativamente concordante con los relieves en la zona y la cuenca hidrológica de Añelo.

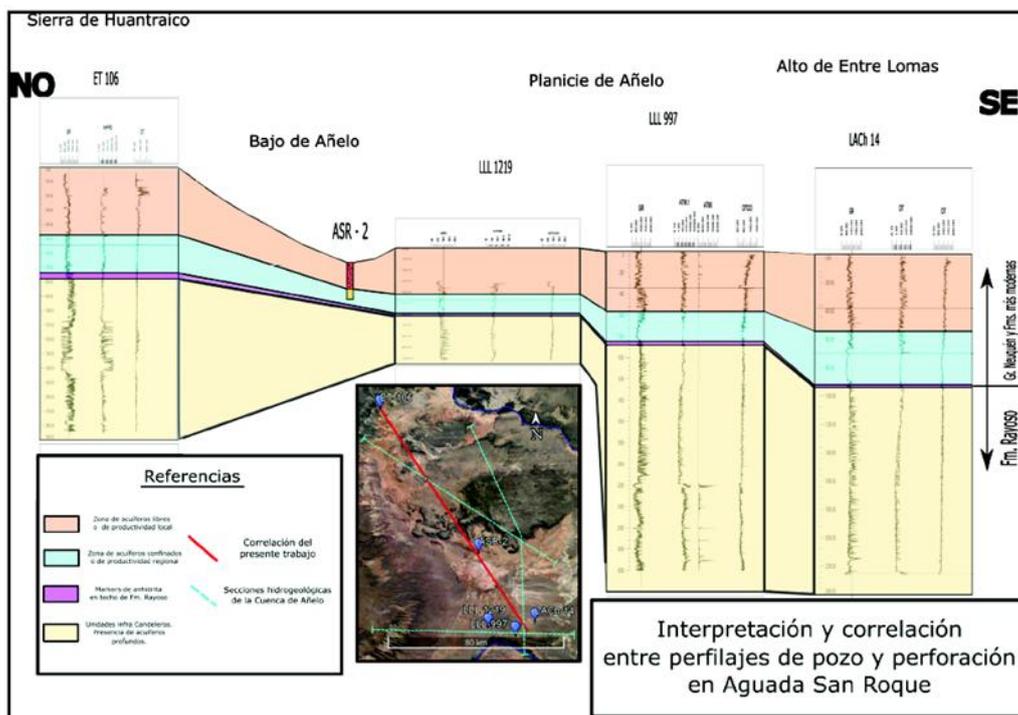


Figura 8. Correlación entre perfilajes de pozos ubicados en una transecta que corta la cuenca de Añelo en dirección NO-SE

4.4 Hidroestratigrafía de la cuenca de Añelo

Existe suficiente información estratigráfica para proponer un mapa hidroestratigráfico. Siendo así, usando la información recopilada, Neuss (2021) realizó el mapeo hidroestratigráfico de la cuenca de Añelo. El mapa fue dividido en cinco zonas hidrogeológicas (Figura 9). La zona acuífera de productividad regional asociada a las formaciones Rayoso y Huincul; la zona acuífera de productividad local asociada a las formaciones Portezuelo y Bajo de la Carpa; la zona acuitarda asociada a las formaciones Candeleros, Cerro Lisandro, Plottier y Anacleto; la zona de rocas fisuradas asociada a las rocas volcánicas aflorantes; la zona de acuíferos libres asociada a sedimentos cuaternarios

La figura 10 presenta la correlación y propuesta de perfil hidroestratigráfico definido a partir del estudio sedimentológico de los afloramientos de Barda Molina. Este modelo hidroestratigráfico es empleado como perfil tipo para las interpretaciones indirectas realizadas a partir de los perfilajes de las perforaciones profundas al este de la cuenca y para facilitar la correlación entre afloramientos. La hidroestratigrafía aquí expuesta fue interpretada exclusivamente a partir de la litología de las unidades

aflorantes. Las secciones hidroestratigráficas (figura 11) permiten definir la geometría de las unidades de interés hidrogeológico que enmarcan este estudio. A partir de perforaciones y el mapa, se realizaron tres secciones hidroestratigráficas de la cuenca de Añelo. Las condiciones de permeabilidad existentes en el contacto entre la Fm. Rayoso y la sección inferior del Grupo Neuquén responden a las grauvacas y arenas basales de la Fm. Candeleros. La Fm. Candeleros ha sido considerada un “sello” en términos de la industria petrolera, pero para el estudio de aguas subterráneas tiene carácter de acuitardo o acuícludo según el sector analizado. La geometría que poseen las unidades del Grupo Neuquén y la Formación Rayoso en subsuelo favorece la migración de agua desde las zonas de recarga hacia las zonas de menor potencial hidráulico ubicadas en el bajo.

Un ejemplo de eso es la relación de cargas entre los pozos aguateros ASR-1 y ASR-2 ubicados en Aguada San Roque, Añelo. El pozo ASR-1 ubicado a 270 msnm, que presumiblemente explota paquetes acuíferos surgentes de la Fm. Rayoso, indica presiones de 4 kg/cm² (alrededor de 40 m de carga sobre boca de pozo) y la piezometría del bajo de Añelo para el Acuífero Rayoso indica alturas aproximadas de 310 msnm.

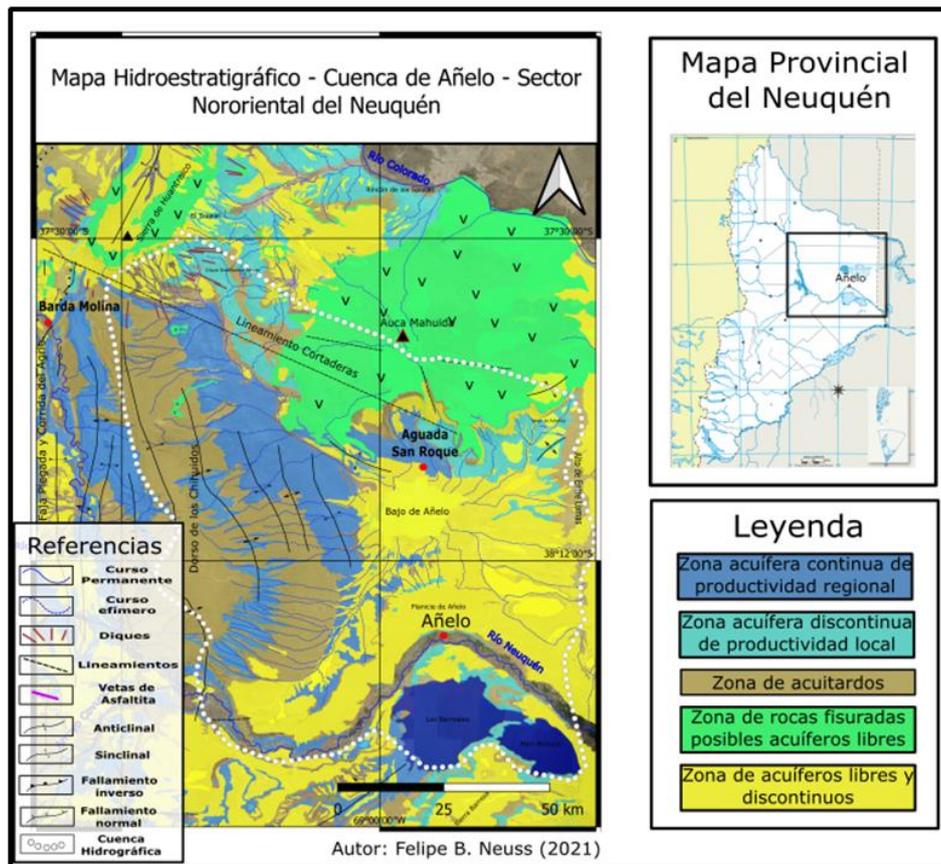


Figura 9. Mapa hidroestratigráfico de la cuenca endorreica de Añelo (Neuss, 2021).

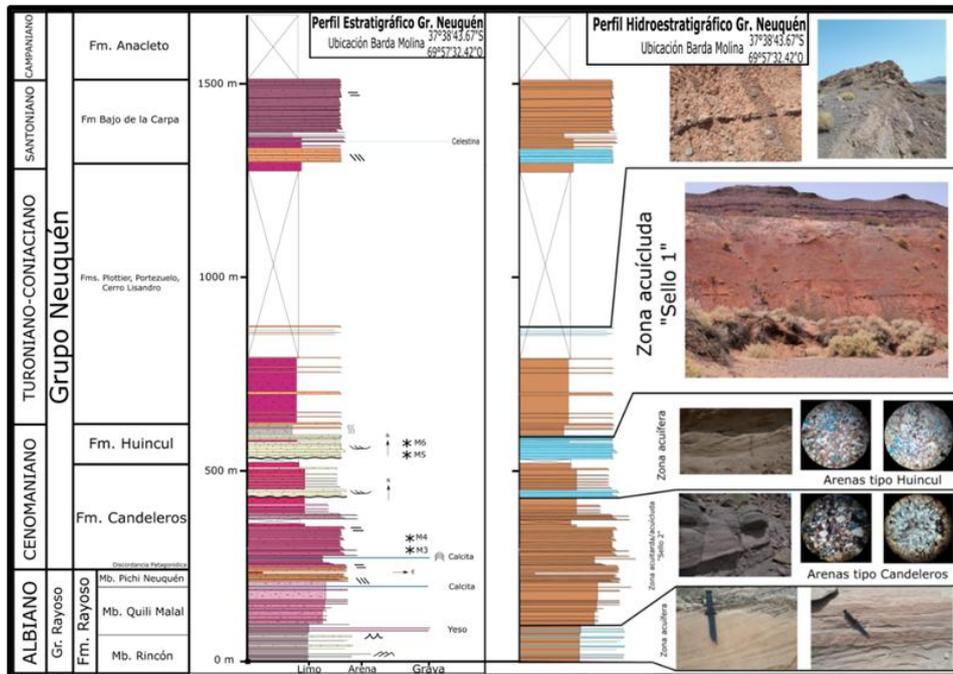


Figura 10. Perfil hidroestratigráfico seña con diferentes colores acuiferos y acuícludos

Ambas captaciones se distancian 100 m y poseen una diferencia de cota de 1 m explotando únicamente acuíferos del Grupo Neuquén relacionados con la Formación Huincul. Explotando unidades a 200 m de profundidad, ASR-2 no presenta condiciones de surgencia, la captación está ubicada a 271 msnm y posee un nivel piezométrico de aproximadamente 20 mbbp y una piezometría de 251 msnm (Neuss, 2021). La relación de las cargas hidráulicas entre ambos

acuíferos, separados por el acuitardo Candeleros, implicaría migración ascendente del agua, desde el acuífero Rayoso de mayor potencial hidráulico hacia la zona acuífera superior de la Fm. Huincul, de menor potencial hidráulico. Si la zona acuitarda de la Fm. Candeleros fuera de buena permeabilidad, las presiones de ambos acuíferos deberían estar igualadas asemejándose a la de la Fm. Rayoso.

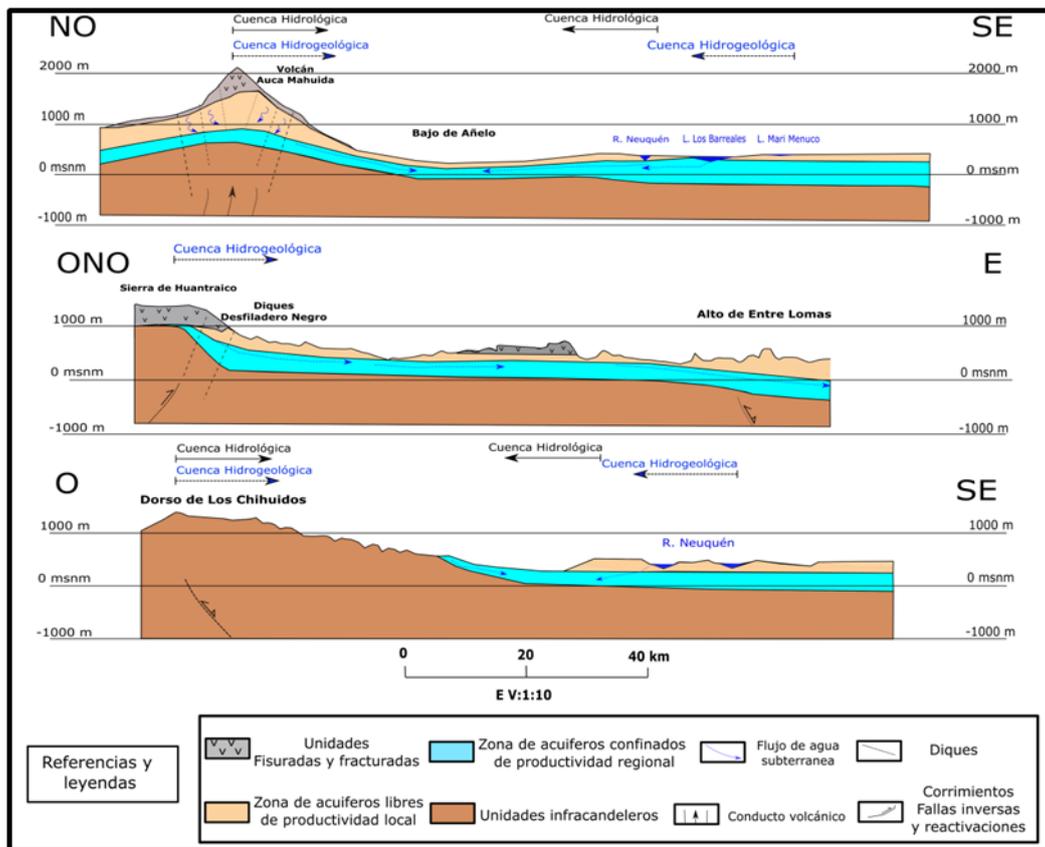


Figura 11. Secciones hidroestratigráficas de la cuenca de Añelo. (Neuss, 2021)

4.5 Migración vía fallas, fisuras y diques

En el caso del campo volcánico Auca Mahuida las vías de migración estudiadas por Cristallini et al., 2014 indican la existencia de antiguas estructuras precuyanas a las que agrupó con el nombre de “cubeta precuyana”, donde se suma la influencia de estructuras compresivas andinas. Estas estructuras profundas se conectan con la superficie por medio de fisuras que harían de canal alimentador. Una vez que el sistema se enfría, estos conductos que facilitaron el ascenso de magmas, podrían ser una zona de discontinuidad pasible de convertirse en vías de

migración para ascensos o descensos de aguas subterráneas. La actividad tectónica vinculada con el vulcanismo fue posterior a la depositación del Grupo Neuquén, por tal motivo los cuerpos atraviesan las unidades de interés hidrogeológico. Este enfoque de estructuras verticales está pensado para las aguas provenientes de precipitaciones (flujo vertical descendente) y para el caso particular hipotético que la zona acuífera Rayoso, se conecte con la zona acuífera superior Candeleros-Huincul (flujo vertical ascendente) (Neuss, 2021).

La geometría que muestra el Grupo Neuquén en profundidad, es propicia para que potencialmente el flujo subterráneo migre desde las zonas altas de Huantraico hasta las zonas bajas de Añelo. Del mismo modo Meconi (2016) considera posible la infiltración en el Auca Mahuida donde las fisuras, lineamientos y diques pueden officar de vías de migración para aguas meteóricas. Esto implicaría que el Grupo Neuquén en mayor medida y la Formación Rayoso en menor medida, serían alimentados a partir de aguas meteóricas con flujo vertical descendente por estructuras volcánicas. Este hecho se contradice con la poca carga hidráulica medida en el Grupo Neuquén al pie del Auca Mahuida en Aguada San Roque (pozo ASR-2).

No obstante, se condice con otros autores (Meconi, 2016 y Alonso et al., 2018) los cuales indican surgencias provenientes de pozos que explotarían acuíferos del Grupo Neuquén. Esto implicaría elevada carga hidráulica, difícil de explicar en acuíferos que son libres o semilibres como los existentes en la Fm. Huincul. Una interpretación posible es que los cambios de carga hidráulica, entre un sector y otro, podrían deberse a la presencia de diques, sills, diaclasas y fisuras que podrían estar sectorizando diferentes acuíferos.

Este estudio constituye un avance en el estado de conocimiento hidrogeológico de la zona ya que no existía un estudio de correlación afloramiento-subsuelo que sirviera de modelo hidroestratigráfico para el Grupo Neuquén, ni tampoco una correlación geológica precisa de los datos de afloramiento con las unidades estratigráficas definidas en los pozos. No obstante, el tema está lejos de haber sido agotado. A pesar de resolver en este estudio algunos aspectos hidroestratigráficos determinantes, aún se requiere de mayor estudio y análisis para lograr una comprensión cabal de la zona del Bajo de Añelo.

REFERENCIAS

- Alonso, M., Dufilho, A. y Giusiano, A., (2018). Límites litoestratigráficos de las unidades acuíferas Formación Rayoso y Grupo Neuquén en la cuenca neuquina. *X Congreso Argentino de Hidrogeología y VIII Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea*. Salta, Argentina. Hidrogeología Regional. Volumen I: 109-206. ISBN 978-987-633-539-3
- Ardolino, A., Franchi, M., Fauqué, L., Danieli, J. C., Vallés, J. M., Impiccini, A., Pettinari, G., Casé, A. M., Cortés, J. M., Nández, C., Concheyro, A. y Molina, A. L., 1996. Geología y Recursos Minerales del Departamento Añelo, Provincia del Neuquén, República Argentina. Escala 1:200.000. *Dirección*

5. CONCLUSIONES

Se caracteriza hidroestratigráficamente a las formaciones Candeleros y Huincul pertenecientes al Grupo Neuquén mediante afloramientos en la Barda Molina. Estas formaciones resultan ser las principales unidades de interés como posibles acuíferos de dicho Grupo fueron definidas las areniscas tipo Huincul como posibles acuíferos y a las areniscas tipo Candeleros como posibles acuitardos, siendo esta configuración la más conspicua de la zona del Bajo de Añelo.

A partir de los resultados en Aguada San Roque (pozos ASR01 y 02) se ha verificado que la conexión hidráulica vertical entre estos acuíferos del Grupo Neuquén y el Acuífero Rayoso es mínima o inexistente. Por otro lado, las estructuras y diques presentes en el Bajo de Añelo pueden ser consideradas como potenciales vías para la migración de aguas superficiales con acuíferos profundos, pero las evidencias que existen demuestran que su acción es poco efectiva. El equilibrio de presiones existente en las perforaciones de ASR en estos acuíferos no parece compatible con un escenario de recargas verticales dominantes en consonancia con las escasas precipitaciones locales.

La relevancia y principal aporte de este estudio es que define claramente los niveles acuíferos y acuicludos que los confinan o semiconfinan (comúnmente llamados “sellos” en la jerga petrolera) resolviendo confusas denominaciones e interpretaciones previas que limitaban una adecuada correlación regional. Incluso mejora la interpretación de los acuíferos definiendo con más precisión las verdaderas unidades de aporte y resolviendo algunas interpretaciones previas que confundían particularmente la participación y aporte de los acuíferos Huincul y Rayoso en los informes hidrogeológicos o descripciones de pozos.

Nacional del Servicio Geológico, Anales 25. pp: 235

- Basaldúa, A., (2018). *Geología del sector de la Sierra Auca Mahuida, departamentos de Añelo y Peuhenes, provincia del Neuquén*. Trabajo final de Licenciatura, UBA (Inédita), Buenos Aires, Argentina pp: 161.
- Cristallini, E., Tomezzoli, R., Méndez, M.A., Santiago, E., Villar Benvenuto M. y Ghiglione, F., (2014). *Caracterización estructural y evolución tectónica de la región de los cerros Auca Mahuida y Bayo (provincia del Neuquén)*. YPF. Informe interno (inédito), Buenos Aires, Argentina. pp 121.
- Digregorio, J.H., (1972). *Neuquén*. En: Leanza, A.F. (Ed), *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias: 439 - 505. Córdoba.
- Folk, R.L., Andrews, P.B. y Lewis, D.W., (1970). Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zeland. *New Zeland Journal of Geology and Geophysics*, 13: 937-968
- Garrido, A., (2010). Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie*, 12(2), 121-177.
- Holmberg, E., 1962. Descripción geológica de la Hoja 32d, Chachahuén, provincias de Neuquén y Mendoza. *Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 91. pp: 70*
- Leanza, H. A., (2003). Las sedimentitas huirinianas y rayosianas (Cretácico Inferior) en el ámbito central y meridional de la cuenca Neuquina, Argentina. *Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Serie Contribuciones Técnicas. Geologia 2. pp: 13-18.*
- Manacorda, L., Reinante, S. M. E., Cazau, L. & Penna, E. (2002), Los reservorios del Grupo Neuquén, En: M. Schiuma, G. Hinterwimmer, and G. Vergani (Eds.), *Rocas Reservorios de las Cuencas Productivas de la Argentina: 5° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos*, Mar del Plata, p. 529–558.
- Meconi, G., (2016). Sistema acuífero Grupo Neuquén y Formación Rayoso (SANERA.). Sistematización para uso sustentable en reservorios no convencionales de la Cuenca Neuquina. *IX Congreso Argentino de Hidrogeología y VII Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea*. Catamarca, Argentina. Hidrogeología Regional 228-237. ISBN 978-987-661-224-1
- Neuss, F., (2021). *Hidrogeología de las Formaciones Candeleros y Huincul, departamento de Añelo, Provincia de Neuquén, Argentina*. Trabajo final de licenciatura, UBA, Buenos Aires, Argentina (Inédito) pp: 126.
- Rainoldi, A.L., (2015). *Alteración regional de las sedimentitas cretácicas en la Dorsal de Huincul y en el Dorso de Los Chihuidos. Su relación con la mineralización de Cu y con los hidrocarburos, Neuquén*. Tesis Doctoral (Inédito), Bahía Blanca, Argentina pp: 265.
- Ramos, V. A., (1981). Descripción geológica de la hoja 33 c, Los Chihuidos Norte. Provincia del Neuquén. *Boletín del Servicio Geológico Nacional*. 182: 1-103. Buenos Aires.
- Ramos, V. A., Mosquera, A., Folguera, A., (2010). Evolución tectónica de los Andes y del engolfamiento neuquino adyacente. *Relatorio de la Provincia de Neuquén* (Leanza Ed.): 335-348.
- Rodríguez, M.F., H.A. Leanza y M. Salvarredy Aranguren, 2007. Hoja Geológica 3969-II, Neuquén, provincias del Neuquén, Río Negro y La Pampa. Instituto del Geología y Recursos Minerales. *Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 370, pp: 165.*
- Rodríguez, M. F., 2011. El Grupo Malargüe (Cretácico tardío-Paleógeno temprano) en la Cuenca

Neuquina, 18° Congreso Geológico Argentino, Neuquina, Neuquén, Argentina Relatorio pp: 245-264.

Uliana, M. A., Dellapé, D. A. y Pando, G. A., (1975). Distribución y génesis de las sedimentitas rayosianas (Cretácico Inferior de las Provincias de Neuquén y Mendoza, República Argentina). 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas 1: 151-176, Buenos Aires.

Las denominaciones que se emplean en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figuran no suponen por parte de la UNESCO la adopción de postura alguna en lo que se refiere al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni en cuanto a sus fronteras o límites. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores y no representan, necesariamente, el punto de vista de la UNESCO, y no comprometen a la Organización.



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license