

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/319550232>

# El recurso hídrico subterráneo de la ciudad de Zapala, Neuquén: Ambiente geológico de la Formación La Bardita

Conference Paper · January 2016

CITATIONS

0

READS

201

4 authors, including:



**Alberto Garrido**

Dirección Provincial de Minería, Neuquén, Argentina

101 PUBLICATIONS 1,157 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



La fauna de vertebrados Cretácicos de La Invernada y Cerro Overo (Fm. Bajo de la Carpa, Grupo Neuquén) [View project](#)



Mid-Cretaceous dinosaur fauna of the Chubut Group, Patagonia, Argentina [View project](#)

## EL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO DE LA CIUDAD DE ZAPALA, NEUQUÉN: AMBIENTE GEOLÓGICO DE LA FORMACIÓN LA BARDITA

<sup>1</sup>Bastianelli, Nerea; <sup>2,3</sup>Garrido, Alberto ; <sup>1</sup>Albouy, René y <sup>1</sup>Carrica, Jorge

<sup>1</sup>Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur. San Juan 670, 8000 Bahía Blanca, Argentina. Tel.: +54 291 4595101 Int. 3015. e-mail: [nerea.bastianelli@uns.edu.ar](mailto:nerea.bastianelli@uns.edu.ar)

<sup>2</sup>Museo Provincial de Ciencias Naturales "Prof. Dr. Juan A. Olsacher", Dirección Provincial de Minería, Etcheluz y Ejército Argentino, 8340 Zapala, Neuquén.

<sup>3</sup>Departamento Geología y Petróleo, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires 1400, 8300 Neuquén, Argentina.

### Resumen

Este trabajo es parte del estudio "Hidrogeología del acuífero de la ciudad de Zapala" llevado a cabo a partir de un convenio entre la Universidad Nacional del Sur y el Municipio de Zapala. El recurso hídrico subterráneo es el único disponible de la zona del cual se abastece la población, de allí su vital importancia. El objetivo general del trabajo es estudiar las principales características estratigráficas, sedimentológicas e hidrogeológicas de la Formación La Bardita, que constituye el acuífero libre del lugar. Para la ejecución del estudio se efectuó tareas de relevamiento geológico de campo, análisis de cutting de perforaciones y se consultaron sondeos eléctricos verticales. La Formación La Bardita, comprende una sucesión de depósitos fluvio-aluviales apoyados sobre sedimentitas cretácicas de la cuenca Neuquina y cubiertos parcialmente por coladas basálticas mio-pliocenas originadas durante la evolución del orógeno andino. Las características sedimentarias de esta unidad litoestratigráfica, indican el desarrollo de un sistema fluvial entrelazado gravo-arenoso discurrente sobre un paleovalle, lo que determina la presencia de niveles acuíferos-acuítardos con un comportamiento hidráulico único. El paleorelieve sedimentario controla la geometría y distribución de los paleocanales, factor determinante a la hora de cuantificar recursos y reservas hídricas.

**Palabras claves:** acuífero, Zapala, Formación La Bardita.

### Abstract

This work is part of the study "Hydrogeology of the Zapala city aquifer" carried out due to an agreement between Universidad Nacional del Sur and the Municipio de Zapala. The subterranean hydric resource is the only one available in the zone from which the population is supplied, hence its vital importance. The general aim of the work is study the main stratigraphic, sedimentology and hidrogeologic characteristics of La Bardita Formation, which is the free aquifer of the place. For the execution of this study, geological field works, drill cutting analysis and vertical electrical sounding were carried out. The La Bardita Formation comprised a succession of fluvial and alluvial deposits, overlaid on cretaceous sediments of the Neuquén Basin, and partially covered by mio-pliocene basaltic lava flows that were originated during the evolution of the Andean orogen. The sedimentological features of this lithostratigraphic unit, indicate the development of a gravel-sand braided fluvial system flowing through a paleovalley, which determines the presence of aquifer-aquitard layers with a unique hydraulic behavior. The sedimentary paleorelief controls the geometry and distribution of the paleochannels, determining factor in quantifying resources and water reserves.

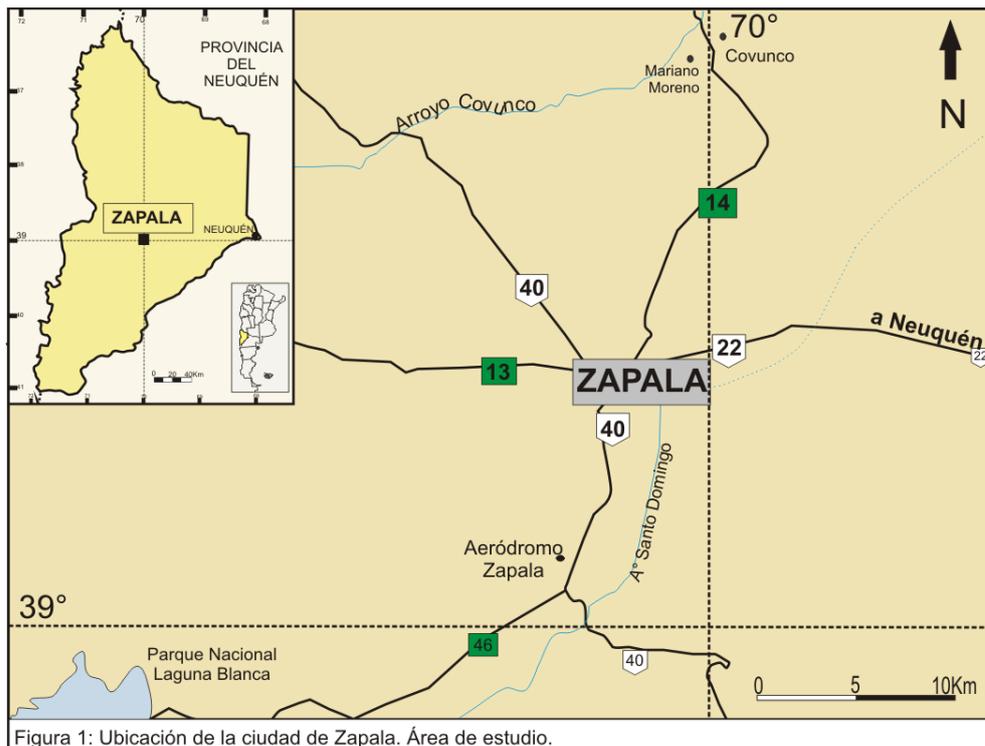
**Keywords:** aquifer, Zapala, La Bardita Formation.

## INTRODUCCIÓN

A la hora de abordar estudios y problemáticas hidrogeológicas resulta necesario contar con un estudio geológico básico previo, sobre los ambientes sedimentarios y el medio físico, ya que los mismos condicionan la yacencia del agua subterránea.

La Cuenca Hidrogeológica en estudio, se ubica en el Departamento Zapala, en la región central de la provincia del Neuquén y abarca una superficie de unos de 1790 km<sup>2</sup>. La ciudad de Zapala se ubica a los 38° 54' de latitud S y 70° 06' de longitud O, a 1020 msnm (Figura 1).

El clima de la región es del tipo Seco de Estepa (clasificación de Koeppen). Según el registro de la Estación Meteorológica del Aeródromo de Zapala, las precipitaciones acumulan un valor promedio de 180 mm anuales (período 1990-2015), mientras que las temperaturas registradas tienen un valor máximo absoluto de 35°C en enero y de -14°C en junio. La



La humedad relativa media ronda el 55% con fuerte predominio de la aridez del clima. Los vientos tienen una muy alta frecuencia y son de intensidad fuertes a muy fuertes, con predominio del sector Oeste y Noroeste, llegando a alcanzar máximas de hasta 100 km/h.

Las geoformas de mayor extensión areal y de importancia desde el punto de vista hidrogeológico son las planicies basálticas que forman las mesetas de la región; esta unidad morfoestructural está limitada hacia el Oeste por un lineamiento de aparatos volcánicos neógenos y cuaternarios. Estas mesetas basálticas tienen dos características morfológicas de interés hidrológico: la ausencia de vías de escurrimiento superficiales y por otro lado la presencia de bajos topográficos ocupados por lagunas permanentes o temporarias.

Las unidades litoestratigráficas principales del área y que se presentan como portadoras de los niveles acuíferos corresponden a la Formación La Bardita (Delpino et al, 1995; Giusano y Deza, 1997). Desde el punto de vista litológico esta unidad está compuesta por horizontes psefíticos – psamíticos (paleocanales) de espesor variable, separados por niveles psamo-pelíticos y tufíticos, lo que da lugar a un acuífero freático de tipo multicapa.

Desde su fundación, en el año 1913, la ciudad utiliza agua de manantiales asociados al acuífero libre, que actualmente constituye la única fuente de suministro de agua, disponible para consumo. La salinidad de las aguas en toda la cuenca es muy baja y apta para todo uso (Carrica et al., 1997).

Este trabajo trata sobre las características sedimentológicas y estratigráficas de la Formación La Bardita y su relación con el agua subterránea.

## METODOLOGIA

El presente trabajo comenzó con el planteamiento del problema hidrogeológico existente en el área de trabajo, fundamentalmente relacionado a la falta de estudios de detalle en cuanto a las características sedimentológicas de la Formación La Bardita. En la fase previa fue importante una exhaustiva recopilación de datos de perforaciones y revisión bibliográfica, con la dificultad derivada de la importancia de la región en la que se ubica la zona de estudio (cuenca Neuquina). Si bien, existen muchos trabajos de investigación en el área, muy pocos están referidos a la geología de la Formación La Bardita.

En esta etapa tuvo especial importancia la observación del terreno, tanto por métodos indirectos (imágenes satelitales) como por reconocimiento de campo. Se aplicaron técnicas de estudio en superficie y técnicas de laboratorio; levantamiento de columnas litológicas (tipo Selley), sistematización de las facies y cuerpos sedimentarios, medición de paleocorrientes, toma de muestras e interpretación del subsuelo con sondeos eléctricos verticales.

La elaboración de perfiles, gráficos y esquemas de trabajo facilitaron el análisis de los datos. Finalmente se llevó a cabo la integración interpretativa del conjunto de datos para lograr construir una sección representativa de la formación geológica en estudio y elaborar un modelo que pueda utilizarse como hipótesis de trabajo de estudios posteriores vinculados, principalmente, a la cuantificación y estimación de recursos y reservas de aguas subterráneas.

## MARCO GEOLÓGICO

Ramos et al., (2011) han reconocido tres grandes provincias geológicas en la provincia del Neuquén: la Cordillera Principal, la Cordillera Patagónica y el Engolfamiento Neuquino. En el

Engolfamiento Neuquino (Bracaccini, 1970) existe un rasgo

estructural de primer orden conocido como dorsal de Huincul, definida como tal por De Ferrariis (1947), que segmenta a la cuenca en dos subcuencas: la Principal hacia el Norte y la subcuenca de Picún Leufú hacia el sur. De acuerdo a los mencionados autores (Ramos et al., 2011), el área de la ciudad de Zapala queda comprendida en el extremo suroeste de la subcuenca Principal, donde se distinguen dos elementos estructurales que controlan la complejidad morfoestructural y estratigráfica: la dorsal de Huincul, mencionada anteriormente y la faja plegada y corrida del Agrio (Bracaccini, 1970) (Figura 2).

A unos 45 km al oeste de Zapala se desarrolla el cordón del Chachil, rasgo orogénico que posibilita la exhumación del basamento de la cuenca integrado en esta región por las metamorfitas devónicas de la Formación Piedra Santa y los granitoides carbonífero-permianos del Complejo Plutónico Chachil (Leanza y Hugo, 1997). Inmediatamente hacia el este y extendiéndose hacia la ciudad de Zapala, se desarrolla el extremo meridional de la faja plegada y corrida del Agrio, complejo estructural que afecta y permite la exposición de la sucesión sedimentaria jurásico-cretácica de la cuenca Neuquina (Leanza y Hugo, 1997,

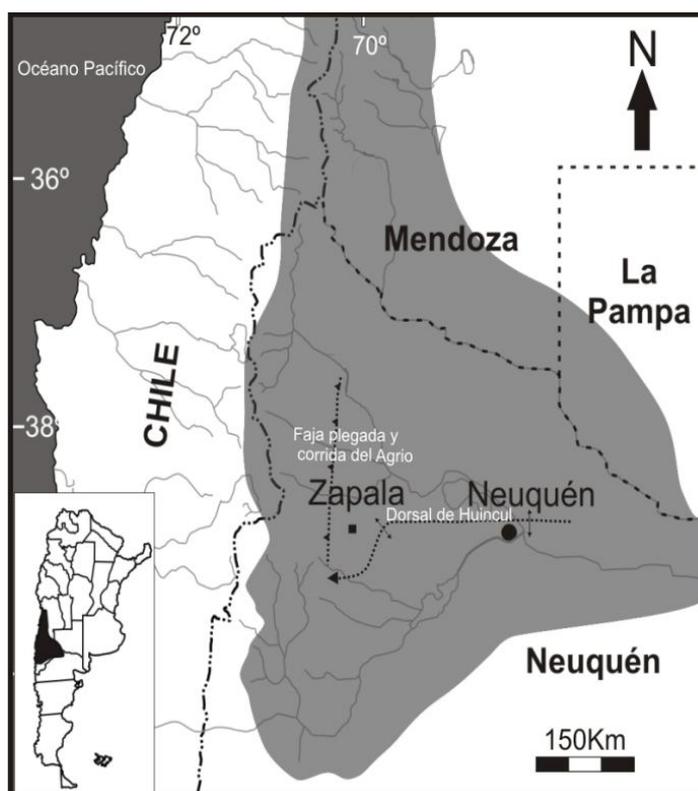


Figura 2: Cuenca Neuquina. Elementos estructurales.

2001). Las unidades mayormente afectadas comprenden a los depósitos marinos y continentales del Jurásico inferior al Cretácico Inferior, cuyos afloramientos se extienden hasta los alrededores de la propia ciudad de Zapala. Inmediatamente al este de ésta, se exponen con baja afectación tectónica los depósitos continentales del Cretácico Superior.

Las unidades cenozoicas existentes en la región comprenden a depósitos sinorogénicos epiclásticos y volcánicos, ligados a la evolución del orógeno andino. En general, estas unidades presentan un desarrollo restringido y limitado por fuertes paleorelieves generados sobre las unidades mesozoicas infrayacentes. Las formaciones Cerro Bandera y Puesto Burgos (Oligoceno superior-Mioceno inferior), de naturaleza predominantemente piroclástica y tufítica, conforman los depósitos cenozoicos más antiguos del área (Leanza y Hugo, 1997, 2001). Tras un periodo de deformación tectónica sucedidos a mediados del Mioceno, se produce durante el Mioceno superior la depositación de la Formación La Bardita (Delpino et al., 1995; Giusano y Deza, 1997), seguida luego por las extensas efusiones basálticas del Basalto Zapala (Leanza y Hugo, 1997).

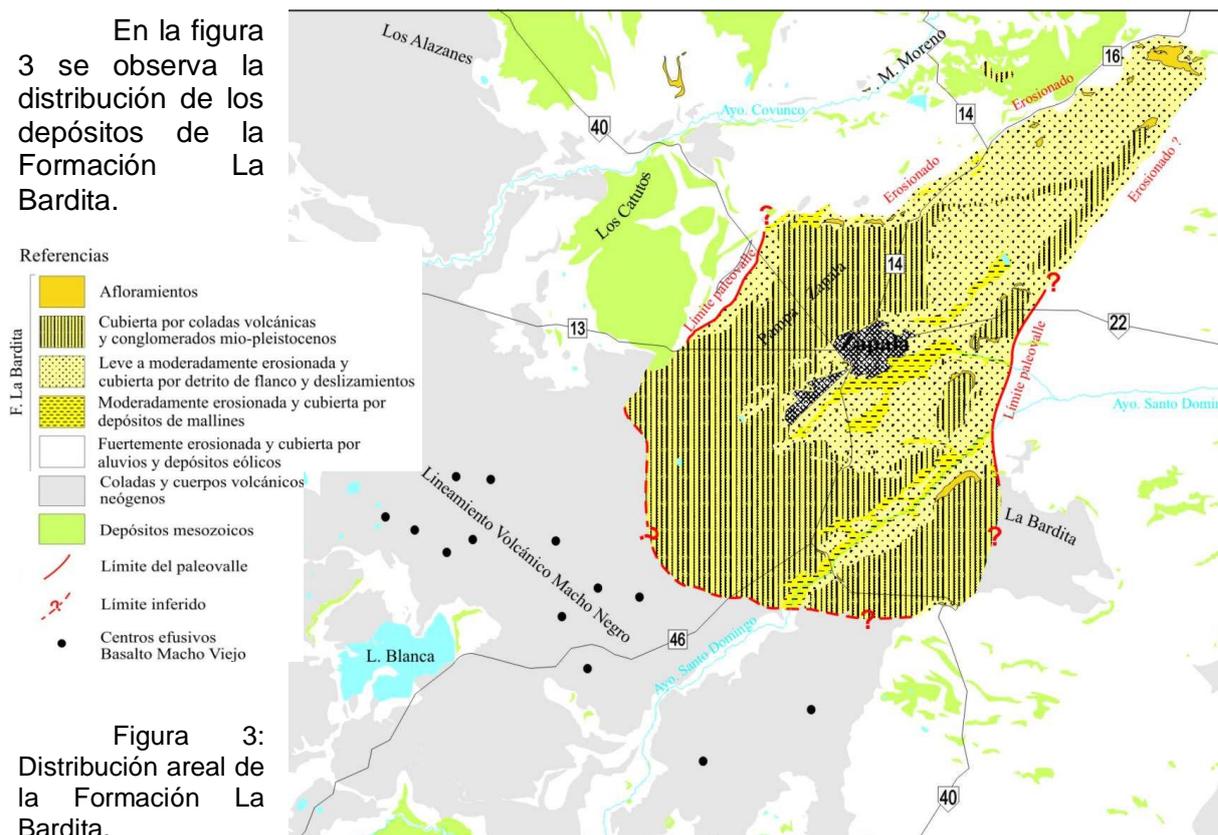
A comienzos del Cuaternario (Pleistoceno) se constatan episodios fluvio-glaciales (Formaciones Las Coloradas y Codihue) sobrepuestos por nuevas efusiones volcánicas que dan origen a los basaltos Macho Viejo, Los Mellizos y Laguna Blanca (Leanza y Hugo, 1997). Hacia finales del Pleistoceno se registran episodios de acumulación vinculados con niveles de terrazas fluviales como las de los arroyos Covunco y Santo Domingo (Leanza y Hugo, 2001). Finalmente completan la secuencia depósitos aluviales, de remoción en masa, y eólicos desarrollados durante el Holoceno.

La estratigrafía mesozoica se encuentra en permanente estudio producto de la intensa exploración hidrocarburífera de la cuenca, mientras que las secuencias terciarias y cuaternarias no han sido íntegramente descritas y definidas con el mismo alcance.

## DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA FORMACIÓN LA BARDITA

### Distribución areal

En la figura 3 se observa la distribución de los depósitos de la Formación La Bardita.



En el sector oriental, se halla cubierta por coladas volcánicas mio-pliocenas del Basalto Zapala y, en menor medida, por conglomerados pleistocenos de la Formación Las Coloradas.

La superficie y el interior de estas coladas se caracterizan por la presencia de diaclasas, grietas y fracturas originadas durante el proceso de enfriamiento.

En el sector central, la unidad, está leve a moderadamente erosionada y cubierta por detrito de flanco y deslizamientos y moderadamente erosionada y cubierta por depósitos de mallines, en el sector noreste.

El basamento de la Formación La Bardita corresponde a depósitos de edad mesozoica. Hacia el sector oeste, apoya sobre las unidades sedimentarias del Cretácico Inferior que son afectados por la faja plegada y corrida del Agrio, mientras que al este se apoya de forma discordante y erosiva sobre los sedimentos poco deformados del Grupo Neuquén (Cretácico Superior).

### Afloramientos de la Formación La Bardita. Descripción

La Formación La Bardita (Mioceno superior), comprende un conjunto de depósitos fluvio-aluviales dispuestos sobre un marcado paleorelieve labrado en sedimentitas cretácicas de la Cuenca Neuquina. En general, dichos depósitos se presentan mayormente cubiertos por las coladas basálticas del denominado Basalto Zapala (Mioceno superior alto-Plioceno bajo), o bien, por delgados depósitos de mallines y sedimentos eólico-aluviales modernos en

aquellos sectores donde el basalto se presenta erosionado. Las coladas basálticas que lo cubren no exceden los 10 m de potencia máxima, presentando en el área de estudio un espesor promedio de aproximadamente 4,5 m.

Sus afloramientos son escasos, presentando pequeñas exposiciones aisladas donde solo es posible observar secciones incompletas de esta unidad. En este sentido, el perfil expuesto más completo para estos depósitos se ubica en el paraje Ojo de Agua, distante 22 km al NE de la ciudad de Zapala, sitio en el cual se midió un espesor parcial (sin base visible) de 64,2 m (Figura 4). Sin embargo las estimaciones del espesor total de la

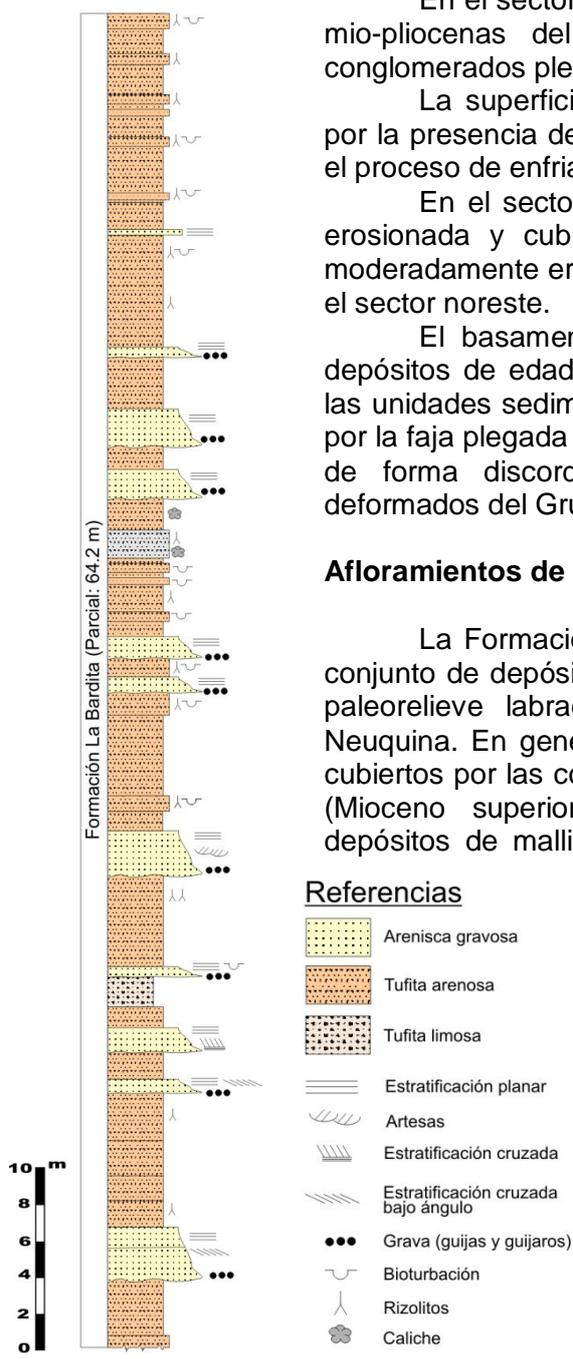


Figura 4: Perfil de la Formación La Bardita en el Paraje Ojo de Agua

Formación La Bardita en este sector, sugieren que la misma superaría los 100 m de potencia. Es necesario asimismo aclarar que dada su disposición bajo la forma de relleno de un paleovalle, esta unidad presenta espesores muy variables, desconociéndose hasta el momento el espesor máximo que habría alcanzado la misma.

### Registro litológico de perforaciones. Descripción

La descripción litológica del cutting de algunas perforaciones, como la que se representa en la figura 5 permitieron confeccionar perfiles de subsuelo, donde se observa que en los primeros 120 metros de profundidad la Formación La Bardita presenta, en general, una sucesión de cuerpos arenosos y gravosos de diversa granulometría intercalados con mantos arcillosos y limo-arcillosos de espesores variables. A partir de dicha

profundidad se evidencia un incremento de la fracción pelítica y del cemento calcáreo, a la par que aumenta la consolidación del sedimento.

La fracción fina (arcillitas, arcillitas arenosas y limo-arcillitas,) proviene probablemente de la alteración del material piroclástico cinerítico que caracteriza a las tufitas de esta unidad, exhibiendo una coloración amarillenta a parda-amarillenta. La fracción psamítica presenta una granulometría variable, incluyendo desde términos finos a gruesos con moderada a baja madurez textural. Las mismas son clasificadas como areniscas líticas, reconociéndose como elementos componentes dominantes la presencia de granos de cuarzo, volcanitas básicas, pirocalstitas ácidas y sedimentitas. La fracción conglomerádica está formada por gravilla, guijarros hasta guijones, subredondeados a redondeados, integrados por volcanitas básicas a mesoácidas, pórfidos alterados y/o silicificados, granitoides, sedimentitas y cuarzo; siendo los clastos de diversa coloración (verdes, negros, pardos, morados y blancos). Una alta proporción de los clastos se hallan partidos por el trépano.

Es notoria en la mayoría de las descripciones, la presencia de material tobáceo (cinerítico), principalmente en los niveles superiores de la unidad (arenas finas tobáceas y tufitas). La composición predominante de los clastos de mayor tamaño es de naturaleza volcánica. Cuando es evidente la presencia de cemento, éste es de composición calcárea.

De acuerdo a la ubicación y distribución espacial de las perforaciones estudiadas, los espesores máximos están canalizados a lo largo de un eje imaginario en sentido suroeste-noreste atravesando, aproximadamente, el ejido urbano de la ciudad. En la Figura 5 se muestra un perfil de pozo que alcanza los 200 m de profundidad y donde se observan las variaciones litológicas descriptas.

### Contexto paleoambiental de la Formación La Bardita

Tal como se mencionara anteriormente, la Formación La Bardita conforma un relleno de paleovalle en los que dominan los depósitos de planicie aluvial integrados por tufitas cineríticas y areniscas líticas, asociadas a eventos de desbordes y desarrollo de paleosuelos.

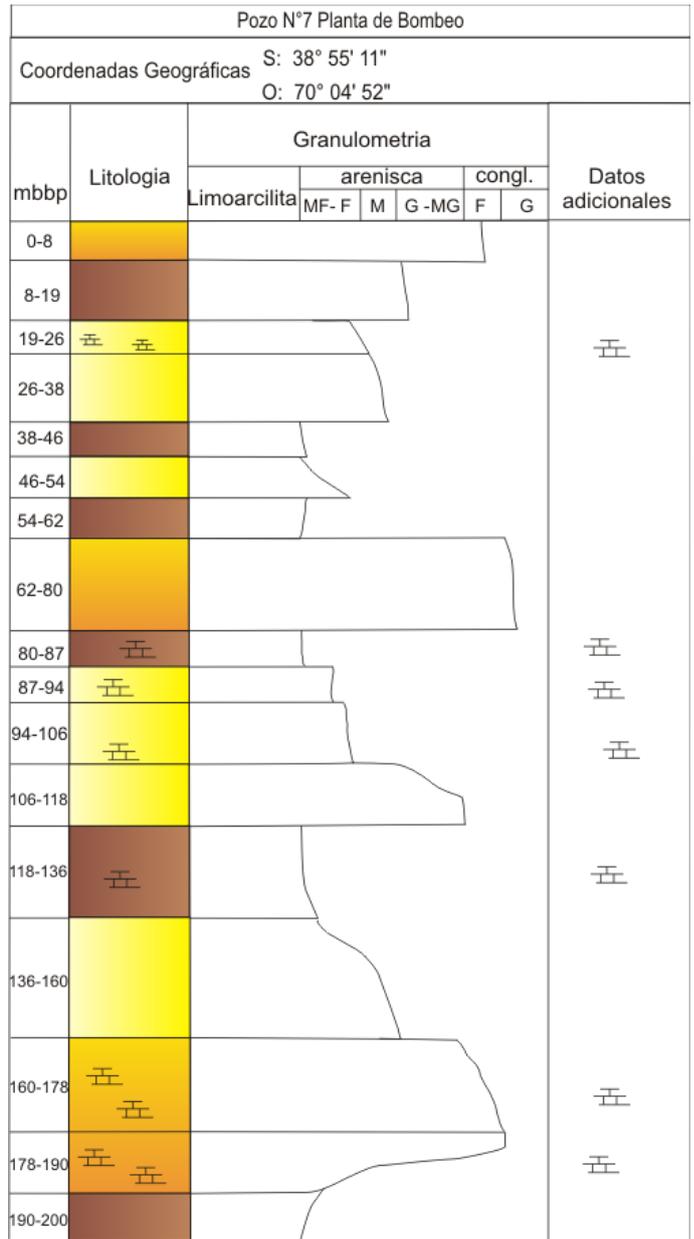


Figura 5: Perfil litológico del Pozo N°7 de la Planta de Bombeo de la Zapala

REFERENCIAS

- ☐ Conglomerado
- ☐ Arenisca
- ☐ Limoarcillita
- ☐☐ Carbonato de calcio

En las zonas próximas a los bordes del paleovalle, se suceden pequeños depósitos coluviales y/o aluviales que generan cuerpos brechosos conformados por clastos (guijas y guijones) angulosos, de disposición caótica e integrados en su totalidad por rocas mesozoicas provenientes de la erosión de las unidades infrayacentes.

Hacia las zonas depocentrales, se observan importantes depósitos de paleocanales integrados por conglomerados polimícticos y areniscas líticas gruesas, cuyo análisis litofacial permite inferir el desarrollo de sistemas fluviales de tipo entrelazado gravoso y gravo-arenoso. En estos sectores, los cuerpos canalizados presentan un alto grado de amalgamamiento, factor que posibilita que dicha sucesión facial alcance varias decenas de metros de espesor. En general, las paleocorrientes indican una dirección dominante del flujo hacia el cuadrante NE.

## **ACUÍFERO LIBRE DE LA FORMACIÓN LA BARDITA**

La Formación La Bardita es portadora de un acuífero libre en contacto directo con las fases superficiales y atmosféricas del ciclo hidrológico. Se trata de un potente depósito de sedimentos fluviales y aluviales, ampliamente distribuidos en el área de Zapala, en posición aflorante o cubiertas por coladas basálticas mio-pliocenas. Presenta una litología compuesta por cuerpos psefíticos-psamíticos, separados por mantos pelíticos de espesor y continuidad lateral variables. Las características sedimentológicas de la unidad, definen un sistema hidráulico con una sucesión de niveles litológicos acuíferos-acuitardos intercalados con niveles acuicludos en la que no hay que descartar, en profundidad, un cierto grado de confinamiento debido a la heterogeneidad litológica. El sistema sedimentario puede definirse como portador de un acuífero de tipo multicapa que se comporta como un sistema de transmisión de agua único. Las diferentes perforaciones realizadas en el acuífero revelan un importante incremento en la fracción arcilla, del cemento calcáreo y consecuentemente de la consolidación del sedimento a partir de los 150 metros de profundidad, nivel litoestratigráfico que actuaría como hidroapoyo del complejo acuífero. La geometría del acuífero, puede definirse como un cuerpo cordoniforme alargado en dirección Suroeste-Noreste de espesor y extensión lateral restringido por el paleorelieve y condicionado por las características sedimentarias de los antiguos depósitos fluviales (paleocanales). Los sedimentos superficiales modernos permeables (conglomerados pleistocenos, detritos de flanco y deslizamientos, depósitos de mallines, aluvios y depósitos eólicos) y las coladas de basalto (caracterizadas por la presencia de vesículas producto de escape de gases, diaclasas, grietas y fracturas) favorecen la rápida infiltración del agua meteórica (lluvia y nieve) por lo que la recarga del sistema se produce en toda la superficie de la cuenca. La descarga natural del acuífero se verifica hacia los bordes de los frentes erosivos del sistema de mesetas bajo la forma de manantiales y mallines.

## **CONCLUSIONES**

La Formación La Bardita conforma un relleno de paleovalle de edad miocena en los que dominan los depósitos de planicie aluvial asociados a eventos de desbordes y desarrollo de paleosuelos. Hacia los bordes del paleovalle, se suceden depósitos coluviales y/o aluviales provenientes de la erosión de las unidades mesozoicas infrayacentes. Hacia las zonas depocentrales, se observan importantes depósitos de paleocanales integrados por conglomerados y areniscas gruesas, cuyo análisis litofacial permite inferir el desarrollo de sistemas fluviales de tipo entrelazado gravoso y gravo-arenoso. El alto grado de amalgamamiento que presentan los cuerpos canalizados hace que dicha sucesión facial alcance varias decenas de metros de espesor. De acuerdo al registro de perforaciones se constatan espesores de hasta 200 m, posiblemente coincidentes con el depocentro de la cubeta de sedimentación. En general, las paleocorrientes indican una dirección dominante de las antiguas corrientes fluviales hacia el cuadrante NE, coincidente con la orientación general del paleovalle.

La configuración del paleovalle define los límites hidrogeológicos de la cuenca hidrogeológica, mientras que la disposición y distribución de las litofacies que componen la sucesión sedimentaria de la Formación La Bardita condiciona las características hidráulicas en cuanto a almacenar y transmitir el agua. Las heterogeneidades litológicas y su arreglo espacial definen un acuífero de tipo multicapa con un comportamiento hidráulico único. El sustrato que actuaría como hidroapoyo del acuífero, se ubicaría a partir de los 150 metros de profundidad coincidente con la presencia de material fino y cemento calcáreo.

El estudio geológico corrobora el modelo conceptual geohidrológico planteado en trabajos anteriores (UNS, 2002), y representa, a una escala de mayor detalle, un aporte en el avance del conocimiento de las aguas subterráneas en la región, en particular a la hora de cuantificar recursos y reservas del acuífero.

Por su posición geográfica y características áridas-semiáridas del clima, el desarrollo económico de Zapala depende del recurso hídrico subterráneo, única fuente de abastecimiento disponible. Una explotación racional y sustentable debe basarse en el conocimiento geológico-hidrogeológico por lo que este estudio tiene un inminente sentido práctico a la hora de llevar a cabo la gestión del acuífero.

## REFERENCIAS

- Braccini, O.**, 1970. Rasgos tectónicos de las acumulaciones mesozoicas en las provincias de Mendoza y Neuquén, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 25 (2): 275-284. Buenos Aires.
- Carrica, J., D. Delpino y G. Bonorino.**, 1997. Aspectos hidrogeológicos de los alrededores de la ciudad de Zapala, provincia del Neuquén. I Congreso Nacional de Hidrogeología. Actas: 165-182. Bahía Blanca.
- De Ferraris, C.**, 1947. Edad del Arco o Dorsal Antigua del Neuquén Oriental de acuerdo con la estratigrafía de la zona inmediata. *Revista de la Sociedad Geológica Argentina* 2 (3): 256-283.
- Delpino, D., Giusiano, A. y Deza M.**, 1995. Mapa geológico del Departamento Zapala (escala 1:200.000). Dirección Provincial de Minería. Zapala.
- Giusiano, A. y Deza, M.**, 1997. Geología y recursos minerales del Departamento Zapala, provincia del Neuquén, República Argentina. *Boletín de la Dirección Provincial de Minería*, 2:1-50. Zapala.
- Leanza, H y Hugo, C.**, 1997. Hoja Geológica 3969-II Picún Leufú, provincias del Neuquén y Río Negro. Instituto de Geología y Recursos Naturales. SEGEMAR. Boletín 218: 1- 135. Buenos Aires.
- Leanza, H y Hugo, C.**, 2001. Hoja Geológica 3969-I Zapala, provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Naturales. SEGEMAR. Boletín 275: 1- 128. Buenos Aires.
- Ramos, V., Folguera, A. y García Morabito, E.**, 2011. Las Provincias Geológicas del Neuquén. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino, 317-326. Neuquén, República Argentina.
- UNS, Universidad Nacional del Sur**, 2002. Estudio para la exploración racional del agua subterránea y la detección y control de la contaminación del acuífero que abastece a la ciudad de Zapala, provincia del Neuquén. ANPCyT- Departamento de Geología. 87 pp. y anexos. (Inédito).