

## MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DEL SALAR DE PIPANACO, PROVINCIAS DE CATAMARCA Y LA RIOJA, ARGENTINA

Esteban Tálamo <sup>1</sup>, Marcos Rodríguez <sup>1</sup>, Sergio Bea <sup>2,3</sup>, Luis Vives <sup>3</sup>, Andrés Mira <sup>3</sup>, Rodolfo García <sup>4</sup>, Federico Moya Ruiz <sup>1</sup>, Verónica Rocha <sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> CONHIDRO S.R.L., C/ Tomás Vergara 1556, 4700. San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca, Argentina. Tel. +54 3834 454148. [conhidrocat@arnetbiz.com.ar](mailto:conhidrocat@arnetbiz.com.ar),

<sup>2</sup> CONICET. Av. Rivadavia 1917, C1033AAJ Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup> Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Usunoff". Av. República de Italia 780, 7300 Azul, Buenos Aires, Argentina. Tel. +54 2281 432666.

<sup>4</sup> Instituto de Aguas Subterráneas Para Latinoamérica (INASLA). Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5410, 4400 Salta. Tel. +54-387-4255397.

### Resumen

La cuenca endorreica del Salar de Pipanaco, situada entre las provincias de La Rioja y Catamarca, se encuentra en un valle tectónico caracterizado por presentar bloques elevados diferencialmente del basamento rocoso cristalino, que generan fosas que fueron rellenadas con importantes secuencias sedimentarias detríticas. Este relleno conforma el principal reservorio de aguas subterráneas, donde quedan involucradas sedimentitas cenozoicas y sedimentos modernos. La irregular distribución de las precipitaciones en la región, da lugar a una recarga concentrada en los bordes de la depresión intermontana; mientras que en el interior de la depresión, éstas no producirían tal efecto. En función de las características hidrodinámicas existentes, estas aguas de origen meteórico se mezclan en el interior de la depresión con: (1) aguas residentes en las sedimentitas neógenas, (2) aquellas pertenecientes al sistema termal (aguas dulces de circulación profunda), y (3) el agua de recarga proveniente del río Colorado o Salado. Las salidas naturales del sistema se producen por la intensa tasa de evaporación/evapotranspiración, originada en la zona de playa salina y en aquellos sectores donde existe presencia de vegetación freatófitas. Las salidas artificiales se originan en el intensivo bombeo de los numerosos pozos existentes en la cuenca. Existe un margen de incertidumbre en los balances hídricos, producto de la insuficiente información hidrometeorológica, de aspectos geomorfológicos y estructurales poco conocidos.

**Palabras claves:** Salar de Pipanaco, Cuenca endorreica, Recarga, Mezclas de aguas.

### Abstract

The Salar de Pipanaco endorheic basin, located between the La Rioja and Catamarca provinces, is hosted in a tectonic valley constituted by high crystalline bedrock blocks which generate depressions filled with important clastic sedimentary sequences. These sequences represent the main groundwater reservoir, and it involves Cenozoic and modern sedimentary deposits. The rainfall distribution is irregular, and the mountain ranges have the highest annual records. This situation produces that the recharge to be concentrated at the depression edges. Depending on the hydrodynamic characteristics, these meteoric waters are mixing with (1) the resident groundwaters hosted into the Neogene sediments, (2) those ones associated with the thermal system (freshwaters of deep circulation), (3) the surficial recharge into the depression from the Salado or Colorado river. The natural discharges of this system are produced by the intense evaporation/evapotranspiration in the saline playa, and those areas tightly related by the presence of phreatophytic vegetation, besides the intensive groundwater pumping in the numerous boreholes distributed in the whole basin. There is a margin of uncertainty in the water balance as a result of the scarce hydrometeorological data, and not well known geomorphological and geological structural features of the basin.

**Keywords:** Salar Pipanaco, Endorheic basin, Recharge, Waters mixtures.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La cuenca del Salar de Pipanaco, situada en una zona árida comprendida entre el norte de la provincia de la Rioja y el sur de Catamarca (Figura 1), soporta actualmente importantes proyectos olivícolas que utilizan el recurso hídrico subterráneo para el riego de plantaciones. En las zonas de borde de cuenca, la actividad productiva (mayoritariamente nogalera, de vid, aromáticas y otros frutales) captan las aguas superficiales de los principales cursos fluviales en la zona montañosa. Existen también importantes centros urbanos que consumen y modifican la calidad del agua utilizada. Ciudades como Belén, Andalgalá, Londres, Aimogasta y Pomán, entre otras, poseen importantes demandas para consumo humano y para riego. En las zonas montañosas que conforman el borde de la cuenca subterránea existe una importante actividad minera que directa o indirectamente podría impactar sobre el recurso agua.

En función de los aspectos señalados, el objetivo de esta contribución es conocer el funcionamiento hidrogeológico del Salar de Pipanaco, estableciendo las principales propiedades hidrodinámicas, y en un futuro inmediato, avanzar en la resolución de un balance hídrico a nivel de cuenca.

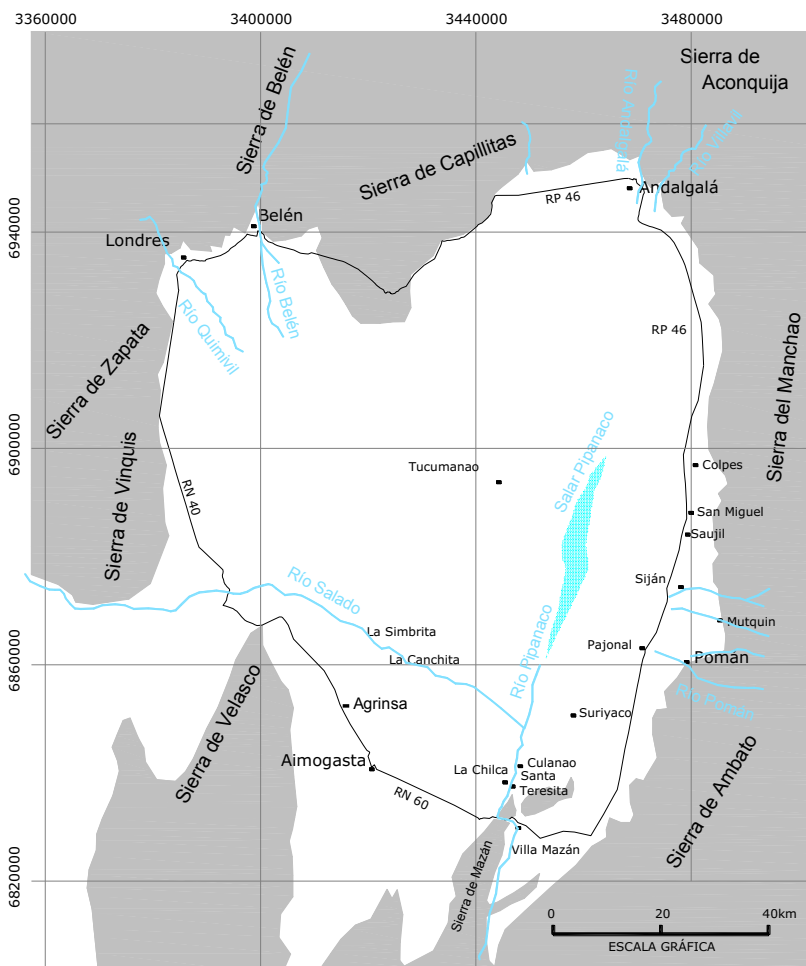


Figura 8: Ubicación de la cuenca del Salar de Pipanaco.

Los aspectos hidrogeoquímicos y la presentación del modelo numérico, se presentan en dos contribuciones dentro de este mismo Congreso (Bea et al., 2016 y Mira et al., 2016).

## METODOLOGIA

La metodología empleada para definir el modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico del sistema acuífero, incluyó un importante proceso de análisis y evaluación de los antecedentes de información climática, geológica, hidrogeológica, agronómica y de toda aquella que aporte datos de interés. En función de la cantidad y calidad de antecedentes procesados se programaron diferentes trabajos de campo tendientes a generar información de índole climática, hidrológica, geológica, geofísica, hidroquímica y de aspectos relacionados a uso del suelo y del recurso agua. Toda esta información se organizó empleando un sistema de información geográfica (SIG). No obstante existen grandes sectores de la cuenca que son prácticamente inaccesibles, en los cuales no se cuenta con información directa del subsuelo (perforaciones), ni indirecta (geofísica).

### Estudios Geofísicos

La información geofísica preexistente cubre de manera parcial la extensión de la cuenca lo que motivó a generar nuevos datos. La prospección geoelectrica adicional se realizó utilizando el método de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). Por las condiciones de contorno existentes en algunos casos, este método se encuentra al límite de su confiabilidad en la interpretación de sus registros. A modo de ejemplo, en numerosas ocasiones no ha podido determinarse el espesor de sedimentos y/o sedimentitas que rellenan la fosa tectónica de Pipanaco. Por tal motivo se optó por realizar una transecta regional (Figura 2, perfil C-C') utilizando métodos Magnetotelúricos (MT).

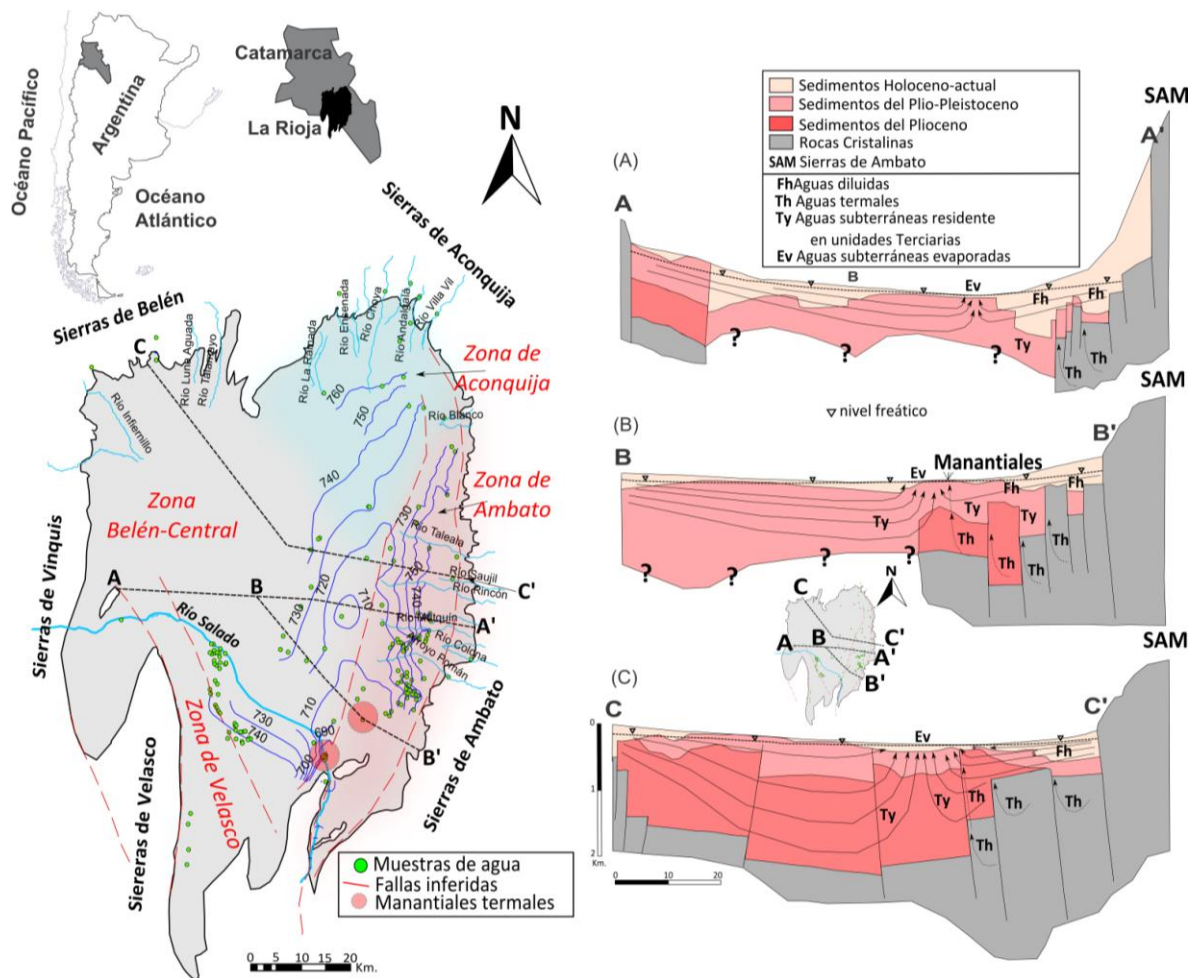


Figura 2. Esquema de la cuenca, principales ríos, isopiezas y traza de perfiles geológicos-geofísicos.

### Balance Hídrico

El balance hídrico es un aspecto clave para alimentar los modelos hidrogeológicos. Para el análisis estadístico de las precipitaciones se recopiló información de 52 estaciones pluviométricas, provenientes de dos fuentes: Dirección Provincial de Hidrología y Evaluación de los Recursos Hídricos de la Provincia de Catamarca y Servicio Meteorológico Nacional. Se procedió a calcular las precipitaciones medias mensuales y anuales de las series de cada estación con sus desvíos estándares. Para las estimaciones de valores anuales, solo se utilizaron los datos de años completos. Estos resultados permitieron observar la evolución pluviométrica histórica, identificando los ciclos húmedos y secos. También, se determinó mediante una regresión la relación entre la precipitación y la altitud relativa en cada sector. Para la elaboración del mapa de isohietas anuales, se utilizó como base el mapa digital "Distribución geográfica de las lluvias en el noroeste de Argentina" (Volante et al., 2012) extraído del sitio web del INTA ([www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar)) y se lo modificó de acuerdo a los 52 puntos de control local, topografía, vegetación y mapa de suelos.

Con la información meteorológica disponible se calculó la Evapotranspiración Potencial (ETP) por el método de Thornthwaite (1948) y se realizaron Balances Hídricos de paso mensual para un año promedio de las localidades de Andalgalá y Aimogasta y también en Finca Agrinsa S.A., situada en la localidad de Bañado de los Pantanos. En el caso de la mencionada finca se utilizaron las estimaciones de evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) proporcionadas por la empresa, y además se incorporó un balance hídrico de paso diario.

Para el caso de la vegetación natural, se estimó el consumo de agua de la zona saturada (CAZs) mediante un balance hídrico basado en índices de vegetación. La vegetación natural dominante que se comporta como freatófitas (Algarrobal), posee un marcado rol en las salidas del sistema de esta cuenca, calculándose que las mismas generan un consumo de agua de la zona saturada comprendido entre 200 y 350 mm/año. La validez de estos resultados se establece en el monte periférico a la playa salina. De acuerdo a la distribución arbórea, se estima la profundidad de acción radicular de los Prosopis hasta la curva de isoprofundidad del nivel piezométrico de 30 metros.

### **Hidrología superficial**

Con el objeto de actualizar el comportamiento de la red hidrológica, se recopilieron datos de aforos realizados por la Secretaría de Recursos Hídricos de Catamarca. Se realizó un análisis estadístico clásico para estimar la evolución y variabilidad de los caudales. Para ello se calcularon los caudales medios mensuales, anuales, módulo y sus desvíos estándar tomados de 20 estaciones de aforos. Se comparó la evolución de caudales con las precipitaciones.

### **Hidrología subterránea**

La realización del mapa piezométrico de la cuenca del Salar de Pipanaco fue un objetivo prioritario para comprender el funcionamiento hidrogeológico de la cuenca. En este sentido, se realizó un censo de las principales manifestaciones de aguas subterráneas (57 pozos excavados, 142 perforaciones y 2 manantiales), con lo que se intentó analizar la evolución piezométrica en toda la cuenca. Todos los puntos empleados fueron relevados con una planialtimetría de detalle utilizando dos receptores geodésicos Marca Trimble R4 RTK, empleando la metodología de medición de tipo "Estático". La gran mayoría de los proyectos productivos (olivares y jojoba) de la región, explotan acuíferos desarrollados en sedimentos modernos, mediante perforaciones de gran caudal (superiores a 200 m<sup>3</sup>/h y en algunos casos superiores a 300 m<sup>3</sup>/h) con profundidades inferiores a los 200 metros. Algunos proyectos, por su posición dentro de la cuenca y en función de los diseños de las perforaciones, podrían estar haciendo una extracción mixta, es decir explotando agua subterránea proveniente de sedimentitas Plio-Pleistocenas y agua almacenada en los sedimentos de los aluviones más modernos. En estos casos, los caudales de producción son inferiores a los antes descriptos, manteniéndose la buena calidad del agua.

### **Hidrogeoquímica**

Para esta etapa del estudio se utilizó información antecedente y se efectuaron muestreos y análisis para la caracterización hidroquímica e isotópica de las aguas subterráneas, superficiales y de manifestaciones termales. El objetivo principal fue identificar y cuantificar los principales procesos de mezcla que permita analizar la relación con la hidrodinámica de las aguas subterráneas, brindando o no un soporte al modelo hidrogeológico conceptual. Los resultados del estudio hidroquímico, se presentan en otra contribución en este mismo congreso, (Bea et al., 2016).

## **RESULTADOS**

### **Marco Geológico**

El Salar de Pipanaco se ubica dentro de la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas Noroccidentales (Caminos, 1979). En ella afloran diferentes tipos litológicos,

con características hidrogeológicas propias y muy variables. Estas unidades son: Basamento Rocoso Cristalino, Unidades Sedimentarias del Paleozoico Superior, Unidades Sedimentarias neógenas, Unidades cuaternarias Antiguas, Unidades Volcánicas Cuaternarias, Unidades Cuaternarias Pleistocenas, Holocenas y Recientes.

El complejo marco tectónico de la comarca, involucra un sistema de fallas que han elevado los bloques del basamento cristalino, generando los bordes de la cuenca subterránea (sierras de Ambato, Aconquija, Capillitas, Belén, Vinquis, Velazco y Mazán). De acuerdo a (Alvarado y Ramos, 2010), la depresión tectónica generada fue rellenada por secuencias continentales detríticas, de edades plio-pleistocenas, holocenas y recientes, que conforman el sistema acuífero del Salar de Pipanaco. Las principales estructuras existentes, son actualmente activas, generando disectaciones en abanicos aluviales modernos, como una clara muestra de neotectónica. Estas fallas condicionan también la geometría del reservorio, el flujo subterráneo y serían también una vía preferencial de flujo profundo, explicando el origen de las fuentes termales existentes en Santa Teresita (sector central y sur del área de estudio).

Los perfiles geofísicos - geológicos realizados (Figura 2) muestran una geometría compleja del reservorio, el cual posee espesores variables de relleno sedimentario que superarían los 2700 metros en la zona central del salar de Pipanaco. Esta depresión tectónica involucraría sedimentitas neógenas (Formación Sálidas y/o equivalentes) con facies de baja permeabilidad y presencia de agua salobre y/o salada; sedimentitas Plio-Pleistocenas (Formación Las Cumbres) portadora de acuíferos con agua de buena calidad y los sedimentos aluviales modernos, que constituyen el principal reservorio de agua subterránea de la cuenca, también con agua de buena calidad física y química. El espesor de estas facies aluviales modernas alcanza su máxima potencia en las zonas apicales de los depósitos de piedemonte o bajadas aluviales, disminuyendo notablemente en dirección a depocentro del Bolsón de Pipanaco.

La génesis de las secuencias Plio-Pleistocenas, hace que su composición litológica tenga similitudes en con las diferentes facies modernas, razón por la cual resulta difícil su determinación y distinción, tanto en el muestreo de las perforaciones, como en la respuesta geofísica de estas unidades geológicas.

### **Marco Climático**

De manera resumida, la región se caracteriza por una marcada aridez y temperaturas templadas. El efecto orográfico de las montañas que la circundan es notable y produce un efecto de barrera climática para los vientos húmedos occidentales. De esta manera, se produce una gradación de un clima desértico en el centro de la cuenca, a uno semidesértico en las laderas bajas e, incluso, sub-húmedo en las vertientes de los sistemas serranos. En líneas generales, al analizar las precipitaciones, puede observarse que la pluviometría disminuye en la dirección del viento, de NE a SO a escala regional, pero se incrementa con la altitud de forma radial-centrípeta a escala local, en el interior de los valles y bolsones. Las precipitaciones anuales varían desde 100 mm en el centro de la cuenca, 300 mm en los piedemontes a 600 mm en los faldeos montañosos. Las precipitaciones son de tipo torrencial.

Los valores medios de Evapotranspiración Potencial (ETP), calculados para las localidades de Andalgalá, Aimogasta y Finca Agrinsa (al Norte de Aimogasta), se encuentran en el orden de 915, 1004 y 1640 mm/año, respectivamente. Para las mismas localidades se realizaron Balances Hídricos (BH) de paso mensual en un año promedio, encontrando en todos los casos un déficit hídrico en todos los meses, totalizando valores de 623, 904 y 1536 mm/año. La Evapotranspiración Real (ETR) resultante del BH es igual al valor de la precipitación, siendo de 298 mm/año en Andalgalá, de 101 mm/año en Aimogasta y de 103 mm/año en Finca Agrinsa, para el BH de paso mensual. En el caso particular de los cultivos, considerando el índice de cultivo (Kc) del Olivo se obtuvo una Evapotranspiración del cultivo (ETc) de 1010 mm/año, siendo esta la demanda de riego.

### Hidrología superficial

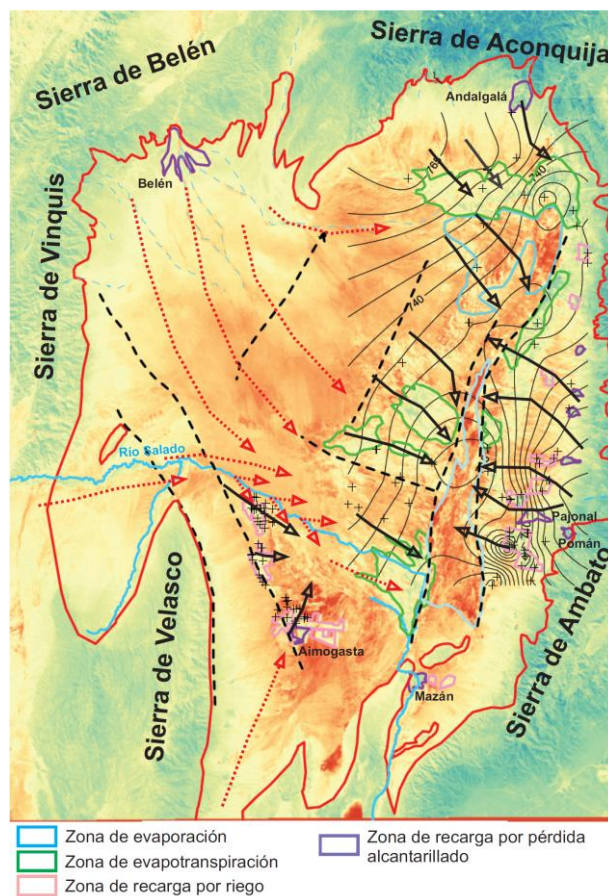
Los sistemas fluviales que vuelcan sus aguas en la depresión de Pipanaco, proceden de los diferentes frentes montañosos con un régimen permanente. En casi todos los casos, son captados para satisfacer necesidades de uso para riego y abastecimiento poblacional. Los excedentes, al abandonar el ambiente serrano, se infiltran en los depósitos aluviales permeables, recargando al sistema acuífero. Cuando ocurren precipitaciones torrenciales, gran parte del agua que escurre superficialmente alcanza la zona central de la depresión, donde se acumula y luego, se evapora. Los módulos anuales obtenidos muestran al río Belén con 2,2 m<sup>3</sup>/s, el río Andalgalá con 0,7 m<sup>3</sup>/s, Quimivil o Londres con 0,5 m<sup>3</sup>/s, Pomán con 0,3 m<sup>3</sup>/s y el resto de los cursos menores muestran valores comprendidos entre 0,2 y 0,01 m<sup>3</sup>/s. La información existente de aforos es discontinua, insuficiente y parcial. Aun con estas limitaciones se puede observar, en los hidrogramas analizados, que existe un mínimo entre los meses de octubre y enero, mientras que los máximos se ubican entre los meses de febrero y mayo, siendo abril y marzo los de mayor frecuencia. También se pudo observar un caudal máximo entre julio y agosto en los ríos que drenan la alta montaña, producto de las precipitaciones nivales, aunque de estas no se tienen registros.

El río Salado, merece un análisis especial por ser un curso fluvial que drena una gran cuenca vecina, que ingresa por el oeste a la depresión de Pipanaco recargando en parte el sistema acuífero y que, luego, se convierte en un colector de agua subterránea que egresa del ambiente de la depresión, por la quebrada de Villa Mazán.

### Hidrología subterránea

En la Figura 3, se observan las líneas de flujo subterráneo regional, con componente O-NO, NO y E que convergen hacia el depocentro y hacia el sur del salar. Se adicionan además, los flujos provenientes desde la sierra del Velasco hacia el río Salado, que confluyen con los anteriores en la zona de Santa Teresita, dirigiéndose posteriormente hacia Villa Mazán a través de la quebrada homónima y, finalmente, hacia su salida, en el sector sur. La piezometría actual presenta deformaciones en las zonas de producción olivícola sobre el piedemonte del Am-bato, debido a la explotación intensiva.

Figura 3: Modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico. Flechas negras indican flujo subterráneo según isopiezas reconstruidas. Flechas rojas señalan flujo inferido. Las cruces muestran a las captaciones que originan el dato piezométrico. (Según CONHIDRO S.R.L.-IHLA-DPhyERH, 2013 y 2015).



La configuración de la piezometría regional, marcaría una descarga hacia el río Salado en un sector cercano a la zona de Santa Teresita y hacia el sur, en Aimogasta. De hecho puede afirmarse que el río Salado, vuelve a hacerse permanente y de carácter efluente. Por otro lado, en el sector occidental del bolsón de Pipanaco, por ausencia de información, no es posible establecer claramente la relación entre el río Salado y el sistema acuífero.

El análisis de los niveles piezométricos en tres de las cuatro subcuencas en las que se dividió la zona de estudio (Andalgalá, Pomán, Aimogasta y Belén), permitió caracterizar su evolución. La evolución temporal de la piezometría en la subcuenca Andalgalá no presenta variaciones importantes. Las líneas de tendencia muestran desniveles de entre + 0,25 y - 0,38 m en aproximadamente 9 años, lo que totaliza un descenso promedio ponderado de 0,015 m/año. En la zona de Pomán, en cambio, las máximas variaciones registradas muestran líneas de tendencia con desniveles de hasta -14 m en 12 años, lo que resulta en un descenso promedio ponderado de 1,17 m/año. Para el sector de Aimogasta-Bañado de los Pantanos, utilizando las mediciones piezométricas de Conhidro S.R.L., (2011 y 2013), se obtienen líneas de tendencia con desniveles de hasta -22 m en 14 años, lo que resulta en un descenso promedio ponderado de 1,59 m/año. Estos descensos generalizados surgen de un intensivo uso de las aguas subterráneas, para satisfacer las necesidades de abastecimiento poblacional, pero principalmente para el riego de una importante superficie de cultivos de olivos y jojoba (220 km<sup>2</sup>), con una demanda hídrica equivalente a una lámina de agua de entre 901 y 1.060 mm/año.

Los gradientes calculados al oeste, en la zona de influencia del río Belén son variables entre 0,0023 y 0,00034 por el eje de la depresión, entre 0,003 y 0,005 por la vertiente oriental (Ambato) y poseen un valor de 0,0016 m/km en la zona de Arauco, Provincia de La Rioja.

## **DISCUSIÓN**

En base al análisis de la información hidrometeorológica, geofísica, hidrológica, hidrogeológica e hidroquímica, se han elaborado dos modelos conceptuales de funcionamiento del acuífero del Salar de Pipanaco: (1) Cuenca endorreica y (2) Cuenca endorreica con un sistema de fallas transmisivas. El primer modelo, se basa en el hecho de que todos los egresos de agua en el Salar de Pipanaco se producen por evaporación tanto en la zona de playa, como por evapotranspiración en las zonas vegetadas anexas a estas y que se caracterizan por presentar especies arbóreas de carácter freatófitas. En estos sectores se observa que la evaporación/evapotranspiración son procesos importantes, a tal punto que, muchas de las muestras de agua subterráneas se presentan, hidroquímicamente, evaporadas. El segundo modelo añade, por coherencia geológica y estructural, un egreso de aguas subterráneas de la cuenca a través de una zona de fallas transmisivas. Ambos modelos asumen que la recarga se produce por precipitación desde las cuencas en las sierras de Ambato, Aconquija, Velasco, y desde la sierra de Vinquis y que recargarían directamente a las unidades Cuaternarias y depósitos aluviales del piedemonte a través de sus cursos principales y desde el subálveo. Por el oeste, otro ingreso importante de agua al sistema hidrogeológico, lo representa el río Salado y el flujo de aguas subterráneas a través de su álveo y que tendría su recarga desde una cuenca hidrogeológica localizada al Noroeste.

En el Salar de Pipanaco, la recarga más importante provendría del Norte, desde las serranías de Belén y del Aconquija. Sin embargo, no se cuenta hasta el momento con evidencias hidrogeológicas que permitan vincular como área de aporte a las sierras de Belén y su potencial relación con el río Salado. Solo en algunas perforaciones localizadas en el sector central del Salar de Pipanaco se pueden encontrar evidencias hidroquímicas que sugieren mezcla con aguas de menor salinidad, lo que permite especular que existiría una importante descarga de la cuenca del río Belén en este sector. Con la información disponible, no habría evidencias de descarga provenientes del sector de Andalgalá, lo que implicaría que toda el agua que se recarga desde el sector de Andalgalá, es completamente evaporada/evapotranspirada en la zona de playa.

El sistema hidrogeológico con recarga desde la sierra de Ambato estaría restringida a la planicie localizada entre el frente serrano y la zona de playa, y no se observa que tenga influencia más allá de su descarga al río Salado, a la latitud de Villa Mazán.

En el sector norte del piedemonte de las sierras de Ambato se han detectado potenciales mezclas de aguas provenientes de las unidades Terciarias.

El contexto y ambiente geológico en donde se encuentra emplazado el Salar de Pipanaco y la existencia de importantes fallas geológicas a nivel regional, hace necesario considerar un modelo conceptual alternativo que podría resolver cuestiones genéticas de esta cuenca, como la no existencia de un cuerpo salino en el sector central del salar teniendo en cuenta el grado de aridez de la región. Por ello, se ha considerado el segundo modelo conceptual (Cuenca endorreica + sistemas de fallas transmisivas). Otras de las evidencias que sugieren la posibilidad de flujo de agua a través de fallas transmisivas, es la existencia de un sistema termal, como las que se manifiestan en Suriyaco (surgencia natural), o las de Santa Teresita (perforaciones surgentes). La evidencia de que dicho termalismo estaría asociado a un sistema de fallas en profundidad, es su baja salinidad, en contraste con las aguas de circulación profunda asociadas al Terciario de mayor salinidad.

## CONCLUSIONES

La gran extensión de la depresión de Pipanaco, con sus más de 10.000 km<sup>2</sup>, involucra una enorme cantidad de ambientes geológicos y geomorfológicos, con marcadas variaciones topográficas y climáticas. El reservorio estudiado se encuentra inmerso en un marco estructural complejo, con fallas y lineamientos de carácter regional y con una importante actividad neotectónica, que le imprime una geometría irregular y muy variable. A este cuadro descriptivo se debe agregar la intervención antrópica, que usa de manera intensiva el recurso hídrico en toda la cuenca. Todos estos factores, condicionan, influyen y caracterizan el comportamiento de las aguas subterráneas, explicando en parte el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico de la cuenca.

La cantidad y calidad de información relevada, es todavía insuficiente. Este aspecto no solo aporta interrogantes sino que introduce una gran incertidumbre, sobre todo, cuando se trata de realizar balances hídricos.

El modelo conceptual propuesto, con sus dos variantes, reúne un interesante grado de coherencia en función de los aspectos hidrodinámicos analizados y, validados por el modelo hidroquímico (Bea et al., 2016) y modelados numéricamente (Mira et al., 2016).

Los grandes volúmenes de agua que se extraen por bombeo, sumado a la intensidad del proceso de evaporación/evapotranspiración planteado, explicarían la tendencia de descensos que se advierte en la evolución piezométrica regional, dando indicios de una explotación intensiva del sistema.

## REFERENCIAS

- Alvarado Patricia y Víctor Ramos**, 2010. La estructura ándica de las Sierras Pampeanas basada en los mecanismos focales de terremotos en su región Noroeste. Revista de la Asociación Geológica Argentina 67 (4): 461-472
- Bea S., Mira A., Vives L., Tálamo E, y Rodríguez M.**, 2016. Identificación de los procesos de mezcla en el sistema hidrogeológico del Salar de Pipanaco, Provincias de Catamarca y La Rioja, Argentina. IX Congreso Argentino de Hidrogeología. Catamarca.
- Caminos, R.**, 1979. Sierras Pampeanas Noroccidentales Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. Geología Regional Argentina – Vol. I – p 225-291.
- Conhidro S.R.L.**, 2014. Informe 19 – Monitoreo de pozos Finca AGRINSA S.A. 25 pp (inédito).
- Conhidro S.R.L., IHLLA; -DPHYERH.** 2013. Modelo Conceptual sobre el Funcionamiento Hidrogeológico del Salar de Pipanaco (Catamarca, Argentina). Informe Técnico. Gobierno Catamarca, 176 pp
- Mira A., Bea S., Vives L., Tálamo E, y Rodríguez M.**, 2016. Modelo numérico de flujo subterráneo para una cuenca endorreica en ambiente árido: Salar de Pipanaco (Catamarca, Argentina). IX Congreso Argentino de Hidrogeología. Catamarca.
- Thorntwaite C.W.**, 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, Vol. 38, No. 1: 55-94.
- Volante, N., Noe Y., González A. C., Elena H. J. y Bianchi A. R.**, 2012. Mapa de Isohietas Anuales del NOA- <http://inta.gob.ar/documentos/isohietas-anuales-del-noroeste-argentino>.