

ASPECTOS HIDROLÓGICOS DEL AMBIENTE PERIGLACIAL EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA CRUZ, PROVINCIA DE SAN JUAN

Mendoza, Martín¹; Villarroel, Cristian Daniel; Tapia, Carla; Forte, Ana Paula; Gianni, Rubén; Kruse Eduardo

FCEFN-UNSJ, Av. Ignacio de la Roza y Meglioli. Mail: martin.g.mendoza@gmail.com

Resumen

En el presente trabajo se describen aspectos hidrogeológicos del sector superior de la cuenca del río Santa Cruz, en un contexto geográfico que involucra amplios sectores del ambiente periglacial y para-periglacial. Se han confeccionado mapas hidrográfico y geomorfológico, definiendo categorías específicas. Los análisis hidroquímicos reflejan propiedades heterogéneas según diferentes áreas de drenaje involucradas. Las principales corrientes de aguas minerales están ubicadas en el Cordón del Yunque y en la subcuenca del río Pachón. Los parámetros físico-químicos presentan variaciones interanuales significativas, en respuesta a diferentes ciclos hidrológicos. El análisis de caudales refleja que el río Santa Cruz presenta un comportamiento general efluente. El río Pachón presenta comportamiento influente aguas arriba de su desembocadura. Los registros geoelectricos indican la presencia de una capa resistiva en el sector de nacientes del río Santa Cruz, que podría corresponder a suelos congelados. El espesor acuífero en esa sección alcanzaría una magnitud máxima superior a 100m.

Palabras claves: Hidrología periglacial; Hidroquímica; Sondeos eléctricos verticales; Aforos.

Abstract

The present work describes hidrogeologic aspects at the upper zone of Santa Cruz river basin, involving wide regions in periglacial and para-periglacial environments due to the geographic context. It has been elaborated hydrographic and geomorphologic maps, defining specific categories. Hydrochemical analysis gives heterogeneous settings at different areas of involved drainage. Main mineral streams are sited in the Cordón del Yunque and the sub-basin of Pachón river. Physical and chemical parameters have important variety at different years, due to changes in the hydrologic cycle. Santa Cruz river responds to an effluent flow behavior, showed in flow rates revision. Pachón river presents influent flow upstream its mouth. Geoelectrical records show evidence of a high resistivity bed on the upstream side of Santa Cruz river, which could be referred to frozen soils. Groundwater thickness reaches more than 100 m in this section.

Keywords: Periglacial hydrology; Hydrochemistry; Geoelectrical soundings; Hydrometry.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio corresponde al tramo superior de la cuenca del río Santa Cruz, en el ambiente de Andes Centrales de la provincia de San Juan (Figura 1). Las condiciones climáticas propias de la alta cordillera, sus rasgos geomorfológicos, y las características geológicas que identifican al sector Norte de la cuenca de La Ramada (Ramos et al, 1996), definen una interacción compleja de diversos factores que controlan los procesos hidrogeológicos de la cuenca. Algunos antecedentes destacan la particular abundancia de crioformas del ambiente periglacial en la zona de estudio (Villarroel et al., 2014), por lo cual representa un sitio de gran interés para estudiar los fenómenos de interacción entre las precipitaciones, aguas superficiales, suelos congelados y aguas subterráneas.

Numerosos estudios han demostrado el rol hidrológico significativo que desempeñan las crioformas del ambiente periglacial en diferentes sectores de la Cordillera de Los Andes (Trombotto et al., 1999; Schrott, 2002), proponiendo modelos para la predicción de caudales frente a diferentes escenarios termométricos. Las particularidades crio-hidroquímicas que definen a este tipo de ambientes también han sido objeto de estudio en diversas investigaciones (Sileo et al, 2015).

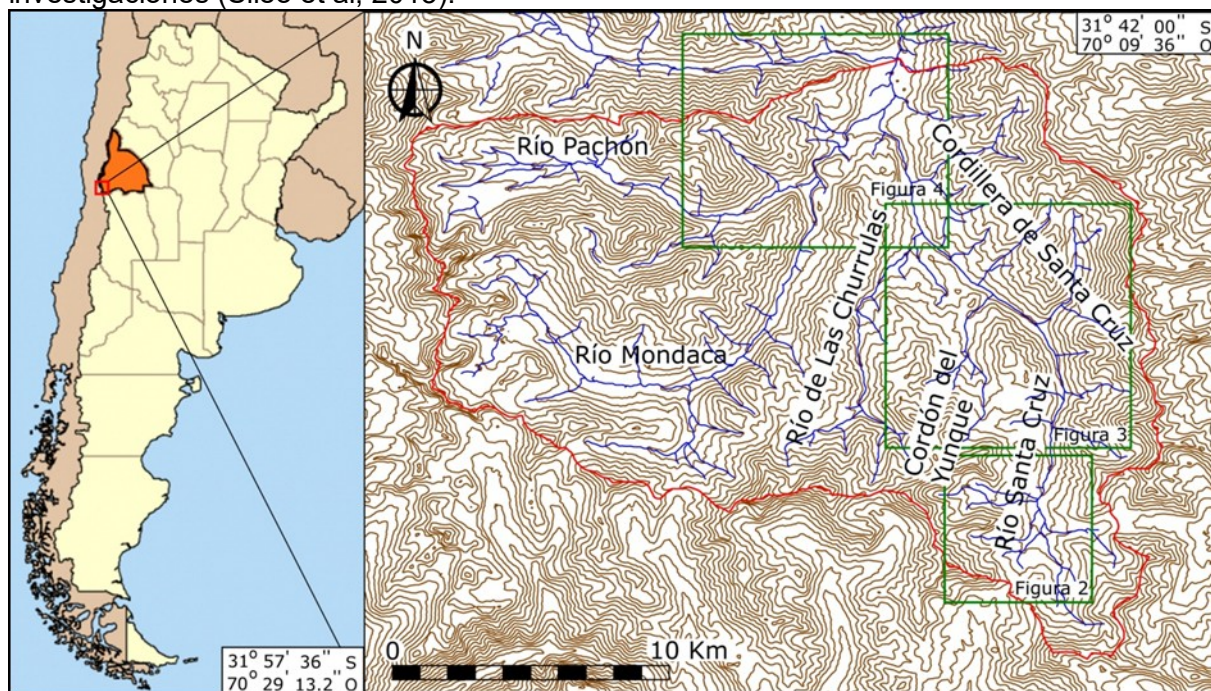


Figura 1. Mapa de ubicación.

El objetivo del presente trabajo consiste en señalar los principales aspectos hidrogeológicos que caracterizan a la zona de estudio, brindando información que pueda orientar futuras investigaciones en la región con diferentes propósitos específicos.

METODOLOGIA

Cálculo de caudales

Se han realizado aforos en corrientes de agua superficial, tanto en el propio río Santa Cruz, como en sus afluentes más significativos. Las mediciones de caudal se han realizado a finales de verano de 2015, evaluando la variabilidad espacial del escurrimiento superficial a lo largo de la cuenca. Por el momento, no se han estudiado las variaciones temporales.

Según las diferentes condiciones de caudal, régimen de flujo y morfología de las secciones, se han utilizado diversas técnicas para la medición de caudales: molinete hidrométrico, aforos químicos por inyección instantánea y aforos volumétricos.

Análisis hidroquímico

Los parámetros físico-químicos y los análisis de elementos mayoritarios revelan una notable heterogeneidad de las propiedades hidroquímicas en diferentes áreas de drenaje.



Figuras 3 y 4. Mapa hidrográfico con la ubicación de los puntos de muestreo y aforo.

Los afluentes ubicados sobre la ladera occidental de Cordillera de Santa Cruz manifiestan bajos valores de TSD (entre 80 ppm y 163 ppm) y una composición predominantemente carbonatada, con baja relación Ca^{2+}/Na^+ . Estas propiedades son más evidentes en el sector noroccidental del Cerro Bramadero (Figura 3, puntos CSC3 y CSC5), donde afloran grandes extensiones de basamento cristalino (Grupo Choiyoi). En estas cabeceras se extienden abundantes criofomas del ambiente periglacial, aproximadamente entre los 3600 y 4900 msnm. Las vertientes cercanas al frente de estas criofomas (puntos CSC4 y CSC1), suelen presentar bajas temperaturas y pH levemente alcalino, con valores de TSD y composiciones similares a los que muestran los cursos mencionados previamente.

Los arroyos en el sector de nacientes del río Santa Cruz (Figura 2) manifiestan características similares a los de la Cordillera de Santa Cruz, presentando bajos valores de TSD (entre 33 ppm y 179 ppm), bajas temperaturas, pH levemente alcalino, y una composición predominantemente carbonatada con baja relación Ca^{2+}/Na^+ (puntos N1, N3 y N4). En este sector también se presume una interacción hidrológica significativa con criofomas del ambiente periglacial, tal como sugiere el mapa geomorfológico y la interpretación de perfiles geoelectrónicos.

Pese a las características generales que presentan las áreas mencionadas, existe cierta heterogeneidad en sus propiedades hidroquímicas, la cual es principalmente controlada por factores litológicos. Una clara expresión de estas variaciones se destaca en sectores donde afloran unidades estratigráficas que podrían presentar alto contenido de sulfatos, (puntos N2, sobre Fm. Diamante y CSC-P1, sobre unidades triásico-jurásicas). En el mismo sentido, los arroyos ubicados en el sector de la Cordillera de Santa Cruz que se extiende al Norte de la confluencia con el río de Las Garzas (Figura 3), si bien presentan similitud con los afluentes de Cerro Bramadero en relación a los parámetros físico-químicos, revelan mayores contenidos relativos de SO_4^{2-} y Ca^{2+} (puntos CSC6 y CSC7).

Los aportes hidrológicos del Cordón del Yunque manifiestan propiedades contrastantes en relación a los sectores descritos anteriormente, tanto en sus parámetros físico-químicos, como en su composición iónica. Estos arroyos y vertientes presentan altos valores de TSD (entre 357 ppm y 1453 ppm), y en ocasiones pH ácido. Se destacan cuatro sectores de aporte hacia el río Santa Cruz, que afectan notablemente sus propiedades hidroquímicas. Uno de ellos está representado por arroyos y vertientes situadas en el sector Norte de un extenso glaciar de escombros coalescente ubicado enfrente de la ladera suroccidental del Cerro Bramadero (Figura 2, puntos CY1 y CY2). Estos afluentes presentan

una composición sulfatada con proporciones de $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ y contenidos de Cl^- superiores al promedio del río Santa Cruz. Se destaca la presencia de depósitos de travertino cerca de estas vertientes. Los ríos de Las Garzas (punto CY3) y de Las Churrulas (punto CY4), también presentan una composición predominantemente sulfatada, en particular este último, donde el contenido relativo de sulfatos supera el 97%, siendo nulo el contenido de bicarbonatos debido a su pH marcadamente ácido. La relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ en estos afluentes también es superior al promedio del río Santa Cruz. Por último, se destaca la presencia de surgentes termales ubicadas sobre el lecho del río Santa Cruz aguas abajo de la confluencia con el río de Las Garzas (Figura 3), las cuales podrían estar relacionadas mediante control estructural con las alteraciones de origen hidrotermal que presentan varios afloramientos en el Cordón del Yunque. Presentan valores muy altos de TSD (5287 ppm), y una composición enriquecida en NaCl (punto ST1).

La subcuenca del río Pachón (Figura 4) presenta diversas propiedades hidroquímicas. Sobre el río Pachón, aguas arriba de su confluencia con el río Mondaquita, se registraron valores de TSD cercanos a 671 ppm (punto P-A1). El mencionado afluente presentó, a su vez, valores altos de TSD pero menores en un 50% respecto al río Pachón (punto P-A2). Por otro lado, en el río Mondaca, se han registrado valores de TSD cercanos a 217 ppm (punto P-A3). El análisis de elementos mayoritarios cerca de la desembocadura hacia el río Santa Cruz (punto P-A4), revela que la composición general de esta subcuenca es predominantemente sulfatada, con proporción $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ superior al promedio de este último.

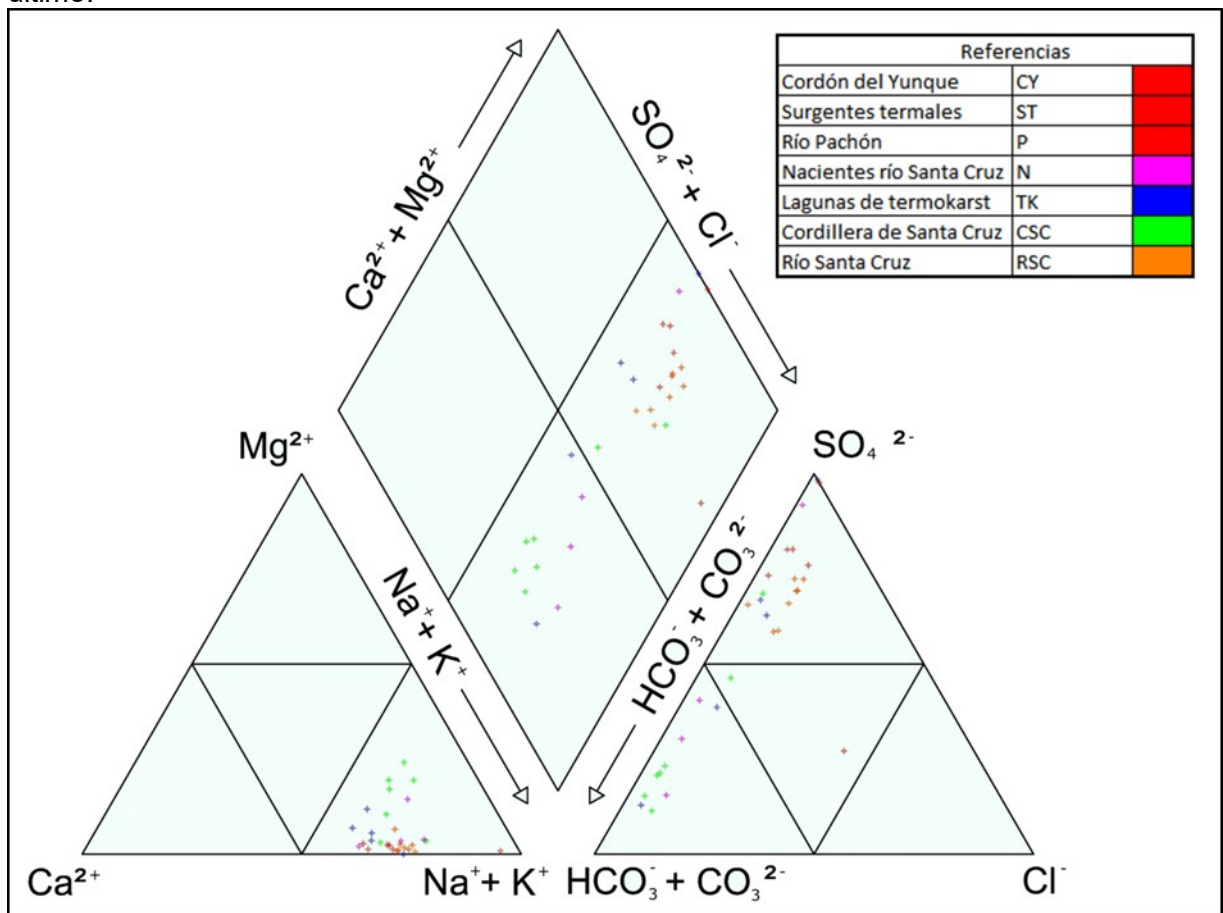


Figura 5. Composición de iones mayoritarios, representados en un diagrama de Piper.

Los puntos de agua relevados en lagunas de termokarst presentan variadas propiedades en función de su ubicación y tamaño. Las lagunas situadas en el glaciar de escombros coalescente ubicado sobre el Cordón del Yunque (Figura 2) reflejan una distribución heterogénea de los factores que regulan las interacciones crio-hidrogeológicas,

presentando una composición predominantemente sulfatada en el sector Norte (puntos Tk2 y Tk4), en ocasiones con elevado TSD (1055 ppm) y pH ácido, mientras que las lagunas ubicadas en el sector Sur (Tk1 y Tk3) presentan composiciones carbonatadas y moderadamente sulfatadas, con bajos valores de TSD (119 ppm y 48 ppm) y pH levemente alcalino. Por otro lado, las lagunas de termokarst relevadas en glaciares de escombros ubicados en Cordillera de Santa Cruz (Figura 3, punto Tk5), presentan composición carbonatada y calcosódica, con una proporción Ca^{2+}/Na^+ similar al promedio del río Santa Cruz. Presentan valores muy bajos de TSD (39 ppm) y pH levemente alcalino, lo cual sugiere un probable origen nival de estas masas de agua y una baja interacción con los materiales geológicos del medio circundante.

Análisis de variación interanual

La comparación interanual de parámetros físico-químicos ha revelado variaciones significativas, lo cual indica que las propiedades hidroquímicas presentan estrecha correlación con los factores climáticos que caracterizan a diferentes ciclos hidrológicos. La turbidez es el parámetro que refleja mayores variaciones, siendo el valor de la mediana cercano a -69%. Los parámetros TSD y CE presentan una variación cercana a -42%, tomando el mismo estimador como referencia. El parámetro que presenta mayor estabilidad en sus valores corresponde al pH, siendo el valor de la mediana cercano a 1,2%.

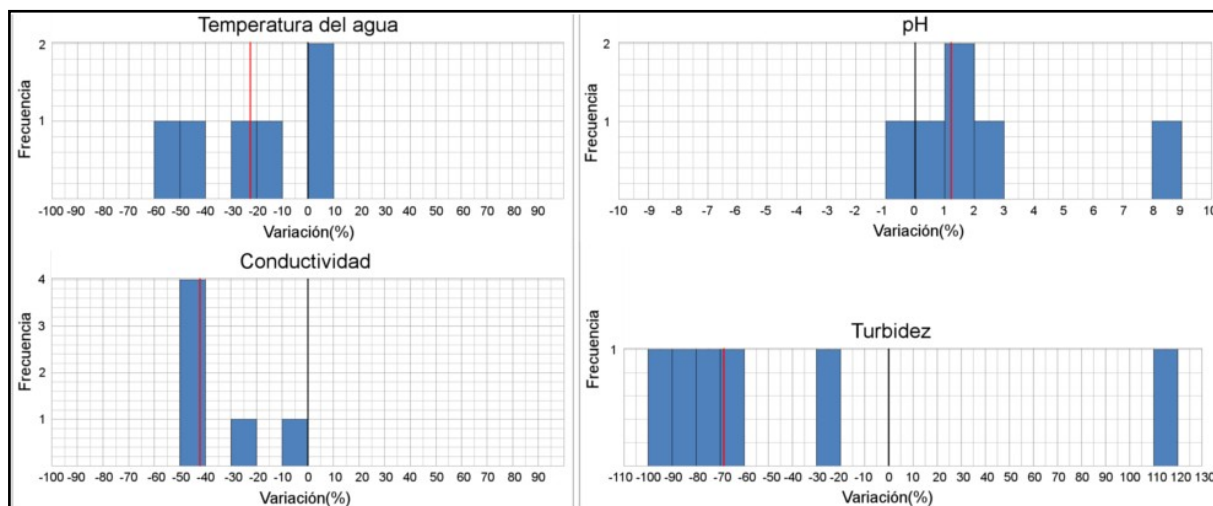


Figura 6. Variaciones interanuales de diferentes parámetros. La línea roja representa la mediana.

Análisis de caudales

Los caudales relevados en diferentes secciones sugieren que el río Santa Cruz presenta un comportamiento general efluente, desde sus nacientes hasta la confluencia con el Río de la Carnicería. Aguas arriba de dicha unión (punto RSC-A7), el caudal del río Santa Cruz hacia fines de Febrero de 2015 fue de 0,77 m³/s.

Dentro de la subcuenca del río Santa Cruz que se extiende desde sus nacientes hasta la confluencia con el río Pachón, los caudales que provienen desde la Cordillera de Santa Cruz y el Cordón del Yunque son similares entre sí, lo cual explica que las propiedades químicas en el colector principal presenten un comportamiento intermedio entre los diferentes tipos de agua aportados por ambos sectores. En Febrero de 2015, el río Santa Cruz registró un caudal de 0,175 m³/s aguas abajo del glaciar de escombros coalescente ubicado en el Cordón del Yunque (punto RSC-A1). En el intervalo que se extiende desde ese sitio hasta el punto RSC-A4, aguas abajo de la confluencia con el río de Las Garzas, se registró un incremento de 0,13 m³/s sobre el caudal, con aportes predominantes desde Cordillera de Santa Cruz. A su vez, el río de las Churrulas representó el mayor aporte proveniente del Cordón del Yunque, con un caudal aproximado de 0,11m³/s. Dichas

magnitudes, sumadas a aportes mixtos en otros intervalos totalizaron un caudal de 0,46m³/s en el río Santa Cruz, poco antes de su confluencia con el río Pachón.

Aguas abajo de la confluencia con el río Mondaca, el río Pachón registró una disminución de caudal, alcanzando un valor de 0,26 m³/s poco antes de la confluencia con el Río Santa Cruz (P-A4). Este comportamiento señala que, a lo largo de ese tramo, el río Pachón presenta un carácter influente, aportando al flujo subterráneo en esa sección del valle. Del mismo modo, los manantiales ubicados sobre la margen occidental del río Santa Cruz reflejan que existe una componente del gradiente hidráulico en dirección Sur-Oeste.

Análisis de registros geoelectricos

Los perfiles geoelectricos obtenidos en el sector de nacientes del río Santa Cruz (Figura 2, 3780 msnm) reflejan la presencia de una capa altamente resistiva cerca de la superficie, presentando valores que superan el rango común de resistividades en capas saturadas. Este comportamiento podría ser indicativo de la presencia de suelos congelados, en forma temporal o de permafrost. El sondeo N°2 manifiesta la presencia de dos capas saturadas, por encima y por debajo de la capa resistiva, tal como ha sido observado en la curva de resistividades aparentes, que presenta una geometría tipo "HK".

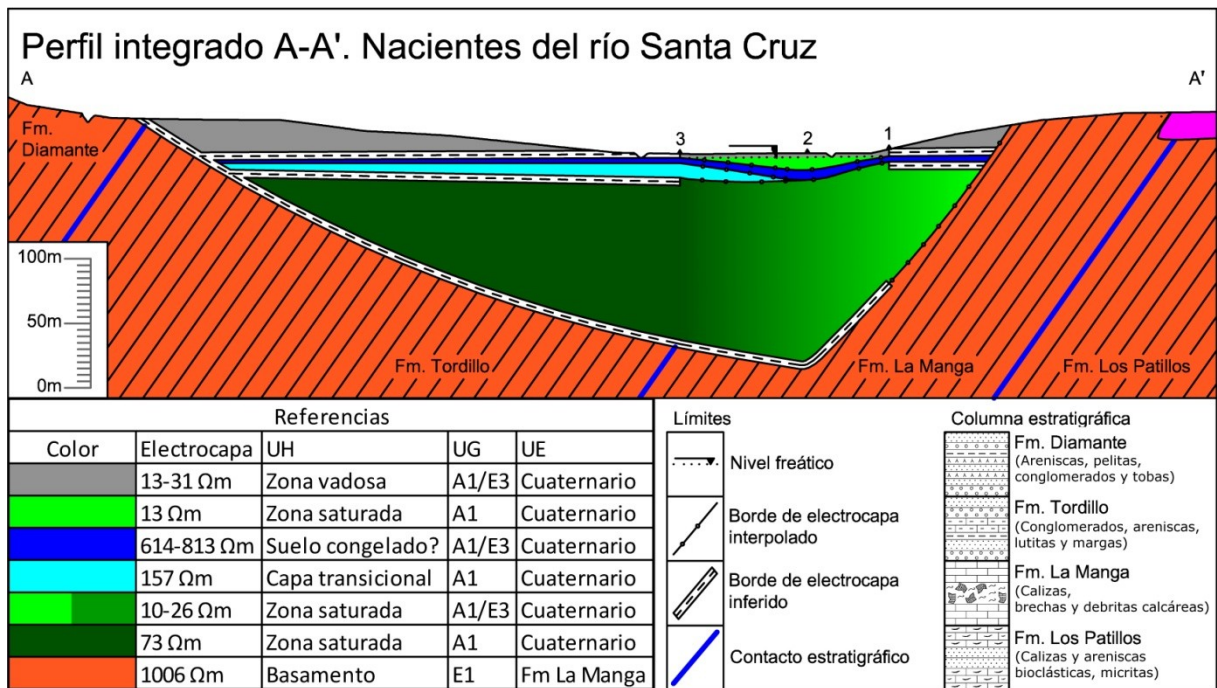


Figura 7. Perfil integrado del sector de nacientes del río Santa Cruz.

El espesor acuífero en el sector de nacientes del río Santa Cruz presenta una gran magnitud, factor que se justifica debido a la extensa amplitud del valle y la abundancia de depósitos glaciales. El techo del basamento hidrogeológico ha sido identificado en el sondeo 1 a una profundidad de 104 m (Figura 7). Los registros obtenidos en los sondeos 2 y 3 sugieren que este límite se encontraría en profundidades superiores a 100 m.

CONCLUSIONES

Las particularidades del área de estudio, así como los objetivos de trabajo, han orientado la utilización de categorías específicas para la confección de un mapa base de unidades geomorfológicas. Estas unidades están relacionadas con diferentes potenciales de comportamiento acuífero, acuífugo y acuícludo, tomando en cuenta los espesores inferidos de materiales detríticos no consolidados y la presencia inferida de permafrost.

Los afluentes provenientes desde la Cordillera de Santa Cruz, así como del sector de nacientes del río Santa Cruz, presentan en general bajos valores de TSD, pH levemente alcalino y composiciones predominantemente carbonatadas con baja relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$. En algunos casos, estas masas de agua podrían presentar una interacción crio-hidroológica significativa con diferentes crioformas del ambiente periglacial. Algunas variaciones sectoriales de las propiedades hidroquímicas, como el enriquecimiento relativo en iones de SO_4^{2-} y Ca^{2+} , son controladas presumiblemente por factores litológicos.

Los afluentes ubicados en el Cordón del Yunque presentan altos valores de TSD, y en ocasiones pH ácido. Poseen composiciones predominantemente sulfatadas con proporciones de $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ superiores al promedio del río Santa Cruz, en ocasiones también presentan enriquecimiento en cloruros. A su vez, la subcuenca del río Pachón presenta una composición final predominantemente sulfatada, con proporción $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ superior al promedio del río Santa Cruz. Los ríos Pachón y Mondaquita aportan la mayor cantidad de iones en esta subcuenca, mientras que el río Mondaca presenta bajo TSD.

Las lagunas de termokarst presentan diversas propiedades hidroquímicas, en ocasiones demostrando una heterogeneidad significativa dentro de un mismo glaciar de escombros (área del Cordón del Yunque). Estas variaciones representarían la manifestación de diferentes interacciones crio-hidrogeológicas con el medio circundante.

Los parámetros físico-químicos presentan variaciones interanuales significativas, por lo que se infiere una estrecha correlación con los factores climáticos que caracterizan a diferentes ciclos hidrológicos. Entre finales de verano de 2015 y 2016, la turbidez presentó una disminución cercana a 69%, los parámetros TSD y CE se redujeron cerca de un 42%, y el pH registró un incremento próximo a 1,2%.

Los registros geoelectrónicos en el sector de nacientes del río Santa Cruz reflejan la presencia de una capa altamente resistiva cerca de la superficie, tal comportamiento podría estar relacionado con la presencia de suelos congelados en forma temporal o de permafrost. El espesor acuífero en esta sección alcanzaría una magnitud máxima superior a 100m.

REFERENCIAS

- Ramos, V. A., Cegarra, M., y Cristallini, E.,** 1996. Cenozoic tectonics of the High Andes of west-central Argentina (30–36 S latitude). *Tectonophysics*, 259(1), 185-200.
- Schrott, L.,** 2002. Hidrología del permafrost de montaña y su relación con la radiación solar. Estudio de una cuenca colectora en Agua Negra, Altos Andes de San Juan (Argentina). En Trombotto D et Villalba R., IANIGLA, 30 años de investigación básica y aplicada en Ciencias Ambientales. Ed. ZETA, Mendoza, Argentina. Págs. 83-87.
- Sileo, N., Trombotto Liaudat, D. y Dapeña, C.,** 2015. Estudios preliminares del agua, nieve y hielo en la cuenca del río Vallecitos, Mendoza, Argentina. *Acta geológica lilloana*, 27(2), 130-145.
- Trombotto, D., Buk, E. y Hernández, J.,** 1999. Rock glaciers in the southern central Andes (approx. 33–34 S), Cordillera Frontal, Mendoza, Argentina. *Bamberger Geographische Schriften*, 19, 145-173.
- Villaroel, C.D., Peralta, S. H. y Güell, A.E.,** 2014. Crioformas de ambiente periglacial en el tramo superior de la cuenca del río Santa Cruz, Cordillera Principal, San Juan. XIX Congreso Geológico Argentino. Córdoba, Argentina.