

Relevamiento geofísico para la provisión de agua subterránea a Santa Rita de Catuna, provincia de la Rioja, Argentina

Manuel J. Mamani*
Daniel E. del Moral**

Recibido en enero de 2015; aceptado en enero de 2017

Abstract

The population of Santa Rita de Catuna city is of 1695 inhabitants; possibilities for developing in any aspect from the economic to the social, including the demographic, is limited by the availability of potable water. Under this scenario, it is imperative to know if there are possibilities to achieve water resources to a greater extent than currently exists. For its accomplishment, 30 exploratory geophysical polls (SEV) with Abem AC Terrameter equipment were carried out, one electrical tomography for the analysis of the immediate subsoil in the local University Facility, and several pseudosections; with the field data in the determined profiles validated with perforations, were carried out as well. The sites are in the city area, and in a line on the old road that leads to Milagro city, passing through the Colonia Ortiz de Ocampo city. The opening of the current electrodes was gradually increased (Schlumberger methodology) until finding increasing resistivity that denoted the presence of the rock structure (electric basement). Two profiles were made in the West East direction, the first one with the largest amount of SEV and the other, located to the South of the first, with three SEV surveys. The SEV sites were chosen where access was possible. Also, the contact of the mountain ranges with the plain was determined by the resistivity change. The results indicate the areas where the depth of the water collection stratum is greater and its exploitation is possible. Moreover, in those areas, the contamination by the waste water is lower.

Key words: Geophysical Catuna La Rioja, Underground water.

Resumen

La población de la localidad de Santa Rita de Catuna es de 1,695 habitantes. Las posibilidades de crecer en cualquier aspecto, desde lo económico hasta llegar a lo social, incluyendo la demográfica, se encuentra limitada por la disponibilidad de agua potable. Bajo esa realidad lo inmediato y urgente es conocer si hay posibilidades de contar con el recurso hídrico en mayor medida del existente

* Unidad de Geofísica, IANIGLA, CONICET, CCT Mendoza, Argentina, correo electrónico: mmamani@mendoza-conicet.gob.ar

** Universidad Nacional de La Rioja.

actualmente. Para su cumplimiento se realizaron, 30 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) con un equipamiento Abem AC Terrameter; tomografía eléctrica para el análisis del subsuelo inmediato en la Sede Universitaria; pseudosecciones, con los datos de campo de los perfiles así determinados y validado con perforaciones. Los sitios se ubicaron cubriendo el área que comprende la villa, y en una línea sobre el antiguo camino que conduce a la localidad de Milagro, pasando por la Colonia Ortiz de Ocampo. La abertura de los electrodos de corriente se incrementó gradualmente (metodología Schlumberger) hasta encontrar resistividad creciente que denotaba la presencia de la estructura rocosa (basamento eléctrico). Se realizaron dos perfiles en la dirección oeste-este, el primero con mayor cantidad de SEV y el otro al sur del primero con tres sondeos. Los sitios de emplazamiento de los SEV fueron elegidos donde había posibilidades de acceso. Asimismo, mediante el cambio de resistividad se determina el contacto de la sierra con la llanura. Los resultados indican áreas donde es mayor la profundidad del estrato de acopio de agua y es posible su explotación, además tiene menor contaminación por las aguas servidas.

Palabras Claves: Catuna, La Rioja, Geofísica, agua subterránea.

Introducción

En la región llamada Los Llanos de la provincia de La Rioja, al este y sureste de la ciudad capital, el tema mayormente recurrente es contar con agua para el desarrollo y satisfacer las necesidades básicas. La Villa de Santa Rita de Catuna (30° 57' 11.55" S–66° 13' 12" O) (Figura 1) según el censo 1960 tenía 641 habitantes, en el año 2010 cuenta con 1,695 habitantes sobre el total de 7,145 del Departamento General Ocampo, las posibilidades de crecer en cualquier aspecto, se encuentra limitada por el recurso hídrico. Sabido es que no hay cauces con circulación superficial permanente, las posibilidades de precipitaciones lluviosas son escasas (300 mm anuales), el resultado es que hay déficit hídrico. En forma habitual los habitantes de la Villa se surten de la vertiente histórica ubicada en el costado oeste de la localidad, mientras el consumo por el aumento de la población se incrementa, y los caudales de esa fuente siguen siendo los mismos con un promedio de 14l/seg con sus variaciones de acuerdo al régimen de precipitaciones anuales. La calidad química de esta agua es de regular a buena. Asimismo los pobladores y vecinos, en tiempos pasados, tenían su propio pozo cavado, sin embargo debido al cambio en el régimen de lluvias, estos se han secado. En este contexto es importante conocer la disponibilidad de acuíferos nuevos.

La provisión de agua para riego utiliza un canal a cielo abierto que atraviesa la Villa por el costado norte proveniente del dique Anzulón, (construcción 1930-1938, 550 msnm–capacidad 33 Hm³) distante 12 km al NW de Catuna. Sin embargo el caudal tiene por destino final a la localidad de Milagro, ubicada 22 km al Este de Santa Rita de Catuna. Debido al exiguo volumen almacenado en la presa por las

escasas precipitaciones, el canal no transporta el caudal establecido en el diseño original. En su recorrido, parte de ese caudal es derivado para regar las tierras de La Colonia (500 Ha) ubicada 2 km al este de la Villa Santa Rita de Catuna. Al liberar agua de los menores niveles del dique, los contenidos salinos se incrementan, luego la calidad del agua es relativamente salobre (Figura 2).

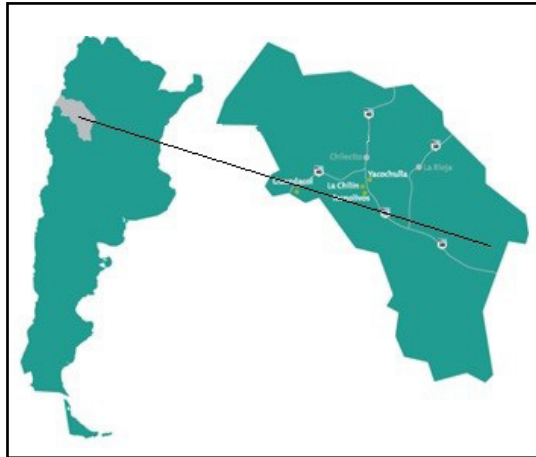


Figura 1. Sitio de la zona de trabajo, al costado oeste del territorio nacional y al sureste de la provincia de La Rioja.

De modo que queda como alternativa para el crecimiento de la Villa la extracción del fluido que circula por el subsuelo, es de tener en cuenta que estos acuíferos están alimentados verticalmente por las aguas meteóricas o en forma horizontal por las aguas provenientes del vecino macizo granítico presente al oeste de la Villa. De esta forma hay dos posibilidades de extraer agua, una es tomar desde lo que se denomina el subálveo (acuífero libre) cercano a la superficie y el segundo modo desde estratos más profundos, ambos con beneficios y dificultades.

El primer modo tiene la posibilidad de que en cercanías de la sierra, hay circulación del fluido infiltrado aguas arriba, tiene la ventaja de ser aún no contaminada por el uso consuntivo de la población, y a muy poca profundidad, la desventaja es tener poco caudal. Mientras mayor sea la profundidad del basamento hidrogeológico, aumenta la potencia de material sedimentario apto para la circulación o almacenamiento (arenas y gravas), incrementándose la posibilidad de encontrar acuíferos con buena permeabilidad y recarga. El segundo modo es de estratos más profundos. Para descubrirlo, en ambos casos, es necesario hacer

estudios geofísicos (SEV) que indiquen la constitución física del subsuelo, y de esa forma, tener mayormente certeza para ubicar el estrato portador del agua, la profundidad a la que se encuentra y su posible explotación. En cuanto a identificar los espesores probables y profundidades del fluido, se realizaron en el resto de la superficie de la Villa, a) tomografía eléctrica que sirve, en este último caso, para el análisis del subsuelo inmediato; b) 30 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) con mayor penetración en la búsqueda de la información y para el relevamiento de los estratos profundos.

La Villa se encuentra inmersa en el ambiente de las Sierras Pampeanas y en el piedemonte este de la sierra de Los Llanos (Figura 2). Su composición consiste en rocas ígneas y metamórficas muy compactas (Stella Page *et al.* 2002) y por lo tanto resistentes a la erosión, la estructura general de las sierras consiste en bloques rígidos, elevados a lo largo de fallas de gran extensión y con vuelco hacia el lado en que la pendiente es menor. El rumbo general de estas fallas es de nortesur, los grandes esfuerzos orogénicos que permitieron el ascenso de las sierras y como una consecuencia de aquellos movimientos la sierra se fracturó en bloques, otra consecuencia es que quedó flanqueado por una verdadera red de diaclasas o fracturas sin desplazamientos, abiertas en su mayoría. El rumbo principal es de NE a SO o de NO a SE o de este a oeste (Espeleta *et al.* 2006).

El conjunto de rocas de la primera edad (Precámbrico) es el sustrato en donde descansan los estratos de menor edad, estos son de edad Paleozoica, Terciaria y luego Cuartaria (M. Archangelsky 1996), que constituyen la columna sedimentaria en donde se alojan los fluidos, como el agua, y pueden circular aprovechando sus planos de sedimentación y la pendiente. El basamento cristalino tiene gran importancia en esta área —como fue observado en párrafos anteriores—, por su formación física es impermeable y no contamina con salinidad el agua que se desplaza.

Por otro lado el agua que también circula por las fracturas del basamento cristalino (diaclasas), en forma interna va a conservar la mayor parte la calidad debido a la escasa contaminación por sales y otros componentes, que sí es posible encontrar en el otro paquete del sedimentario sobreyacente al anterior descrito, donde la circulación se realiza por terrenos de variada constitución química, distintas permeabilidades y tiempos de transcurencia y permite cargarse de componentes que modifican los resultados químicos.

La emanación de agua se produce desde el basamento cristalino, que transcurre por las diaclasas del granito desde la zona de infiltración y en el caso de la extracción por molinos de viento, la profundidad del nivel del agua es no mayor de 5 metros desde la superficie (aunque estos dispositivos mecánicos tienen capacidad para extraer agua de mayor profundidad), esta es agua llamada del subálveo y transcurre a través del espesor sedimentario, la diferencia entre ellas va a ser visualizada en las conductividades del agua. Los estratos sedimentarios se van profundizando hacia el este. Hacia el norte de la localidad de Catuna, el perfil geológico varía ante la presencia de rocas sedimentarias correspondientes a la Formación Paganzo (Paleozoico) (Azcuy y Morelli 1970b, Salfity y Gorustovich

1983) arcillas rojizas y rocas de bajo metamorfismo de características esquistas, que apoyan en discordancia sobre el basamento cristalino granítico, afloramientos de estas formaciones rocosas han sido observadas en distintos puntos del área de estudio y seguramente se deben encontrar en toda el área de interés de este trabajo.

Finalmente en el sector llano (de menor altura topográfica y de menor pendiente) se desarrolla al este de la localidad de Catuna pasando por la Colonia y está conformado por una cobertura aluvial de origen Cuartario, por debajo de la misma se presentan sedimentos Terciarios (estratos de Los Llanos) que se desarrollan por encima del basamento cristalino, este se presenta a mayor profundidad a medida que nos dirigimos hacia el este, seguramente también las aguas de circulación se van profundizando y cargándose de sales que afectan la potabilidad.

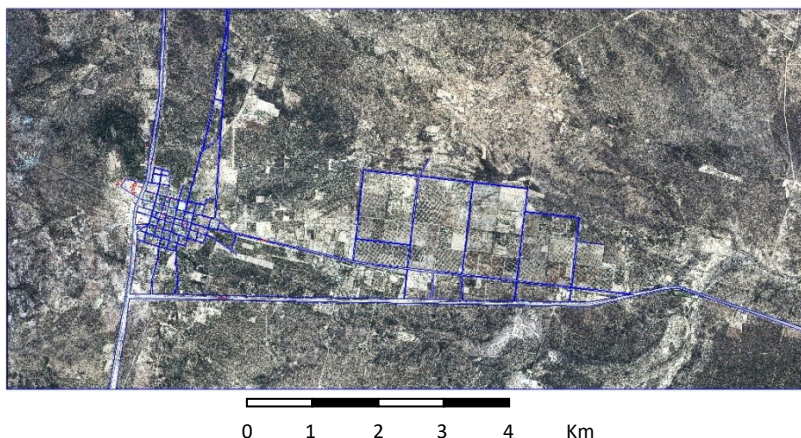


Figura 2. Villa San Rita de Catuna ($30^{\circ} 57' 11, 55'' S - 66^{\circ} 13' 12'' O$) Procesado desde imágenes IKONOS se observa la colonia Agrícola-1, la traza de la Villa, al costado oeste la ubicación de la Sede Extensión Académica de la Universidad Nacional de La Rioja-2. De sur a norte la ruta provincial 79-3 que lleva hacia el norte a Chemical y Olta, y al sur hasta Desiderio Tello y Ambil, y hacia el este la localidad de Milagros.

Materiales y resultados

Se realizaron 30 SEV exploratorios por toda el área que comprende la Villa, y en una línea en el antiguo camino que conduce a localidad de Milagro pasando por la Colonia Ortiz de Ocampo, la abertura de los electrodos de corriente se desplazaron

hasta encontrar la elevada resistividad que denotaba la presencia de la estructura rocosa (basamento cristalino). De todos ellos se eligieron para graficar dos perfiles en la dirección oeste-este AA' (SEV: 1, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 20, 26) y BB' (SEV: 24, 23 y 25). En la Figura 4 se indican los sitios de emplazamiento de los sondeos geofísicos.

Los resultados y la interpretación de los sondeos se muestran en las Figuras 5 y 6, en ellas sí se visualiza que con la extensión de los conductores AB se logra la profundidad necesaria para relevar el estrato de las sedimentitas del estrato denominado Paganzo seguido luego por el basamento cristalino.

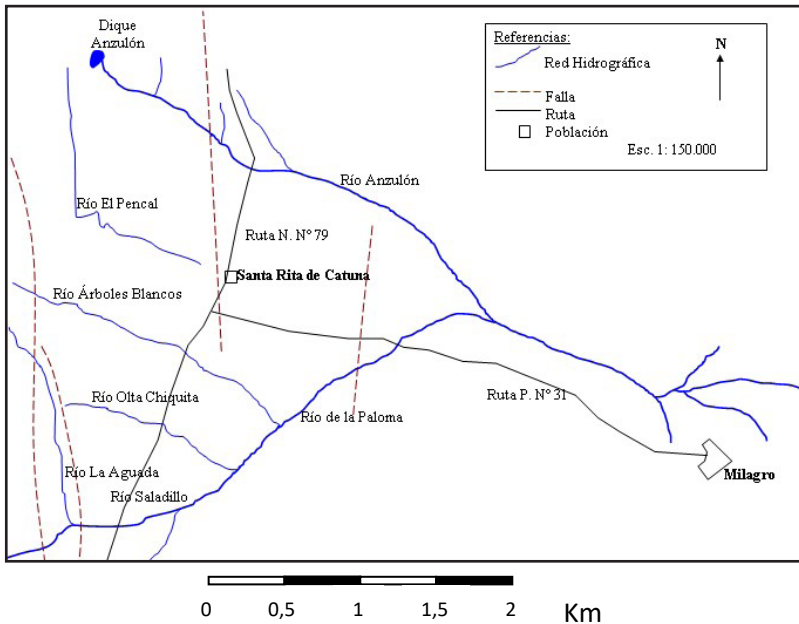


Figura 3. Red hidrográfica que indica los canales de la descarga pluviométrica en el área de la Villa Santa Rita de Catuna con indicación de las fallas de la estructura orogénica. (Bonder, G. 2009). Al norte el canal de desagüe el Dique de Anzulón, al sur el cauce del río de la Paloma sin circulación superficial.

El análisis de las imágenes satelitales Ikonos y Landsat determina la existencia de una fractura de rumbo aproximado N-S, observada claramente en la sierra de Los Llanos (Figura 6), hacia el SE hay una continuación de la misma que está representada por lineamientos de la vegetación arbustiva, indicador de un mayor desarrollo de suelo apto. Esta fractura sigue enmascarada por sedimentos hasta las surgencias.

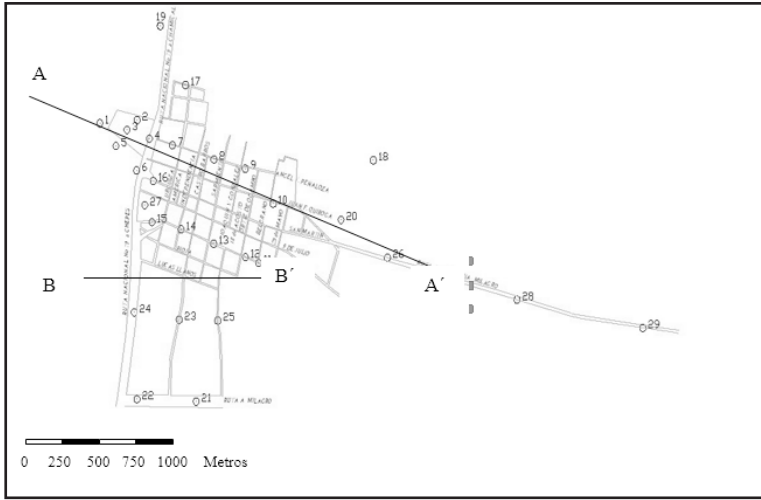


Figura 4. Ubicación de los sitios de los sondeos eléctricos verticales, mostrados sobre el plano de las calles de la Villa Santa Rita de Catuna, y los perfiles trazados. El superior corresponde al AA' y el inferior al BB'.

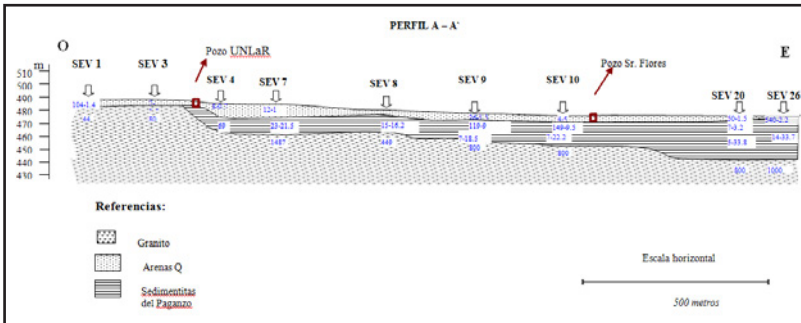


Figura 5. Perfil A-A' se observa la distribución en profundidad de los estratos componentes del subsuelo. Entre el SEV 3 y 4 se profundiza las arenas de edad Cuaternaria debido a su granulometría, se acumula agua y donde se recomienda realizar la perforación a los efectos de incrementar el volumen disponible. En la dirección este se profundiza el basamento cristalino (alta resistividad) y el nivel Paganzo adquiere resistividades menores. (SEV 20 y 26), esto trae como consecuencia que el agua desplazada tiene mayor salinidad y además se contamina debido a la infiltración de las aguas servidas de la población de Catuna (véase Figura 2).

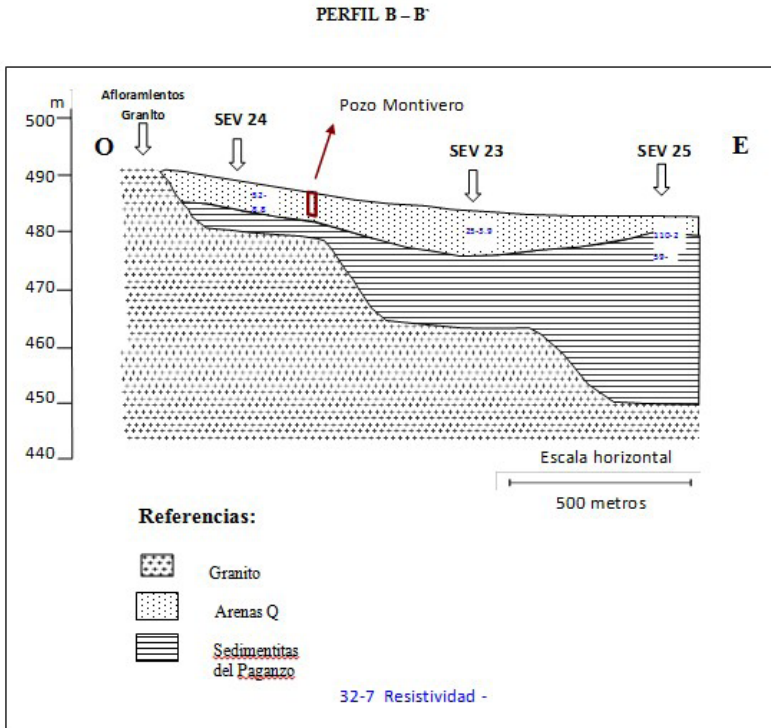


Figura 6. Perfil B-B'. En este corte oeste-este se destaca la rápida profundización del Granito a través de escalones con dirección norte-sur, sobryace el material sedimentario de distinta edad y granulometría, hay un estrato continuo que le atribuimos a tosca terciaria.

La fractura descrita precedentemente, también es detectada por los SEV, ya que en el SEV N° 1 se interpretó la presencia del basamento cristalino a 4.61 metros de profundidad, mientras que en el SEV 7 el basamento se encuentra a 21.6 metros de profundidad. Por tal motivo es que se deduce que la mencionada fractura atraviesa el predio de la Universidad aproximadamente por el centro. Esta estaría generando un escalón en el subsuelo quedando el bloque hundido hacia el este del mencionado predio. La fractura está ejerciendo control estructural originando una circulación selectiva del flujo subterráneo. Este escurrimiento aflora en las vertientes debido al ascenso del basamento hidrogeológico.

En el área de la Sede Universitaria, se realizaron además tomografías eléctricas a los efectos de determinar, con alta resolución, los canales de circulación de agua cercana a la superficie y facilitar la instalación de pozos cavados con molinos de viento o perforaciones. Con los datos experimentales colectados en el terreno se

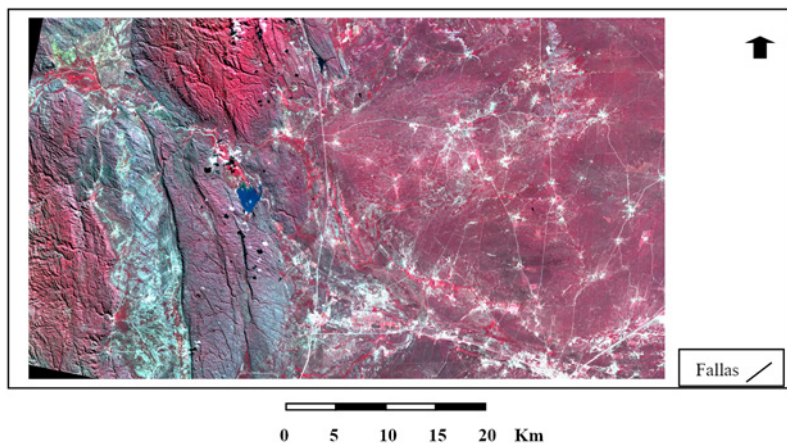


Figura 7. Imagen Landsat ETM7 con la digitalización de las fracturas geológicas identificadas.

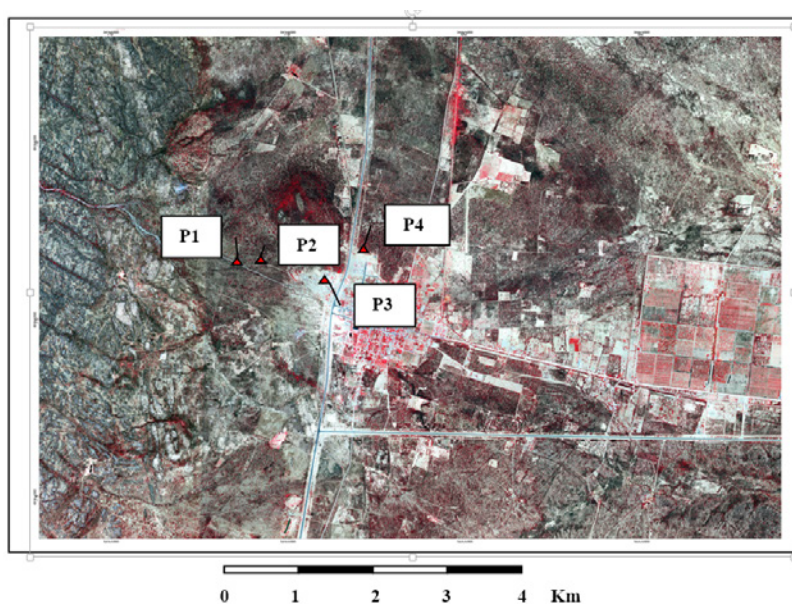


Figura 8. Imagen IKONOS con la ubicación geográfica de las perforaciones exploratorias realizadas en Santa Rita de Catuna.

construyeron pseudosecciones para visualizar las variaciones de la resistividad en vertical y horizontal. En las tareas de campo se utilizó un resistímetro ABEAM y conductores de 2 mm con electrodos de cobre para el MN y de hierro para el envío de la corriente (AB). Con el objetivo de validar los resultados y las interpretaciones de los SEV se realizaron perforaciones (Figura 8) de carácter exploratorio.

En la perforación N° 1 que se ubicó en el límite oeste de la Sede Universitaria, (labio elevado de la fractura) se detectó el basamento cristalino a los cuatro metros de profundidad, este dato es coincidente con los valores del SEV N° 1. La perforación N° 2 se encuentra en el límite Este del predio (labio hundido de la fractura), donde existe una potencia mayor de sedimentos Cuaternarios que pueden albergar agua subterránea (Figura 9).

En la Figura 10 están representadas las otras perforaciones exploratorias que se realizaron en la zona. Las perforaciones P3 y P4 fueron con resultados negativos desde el punto de vista hidrogeológico, ya que no se detectaron acuíferos de interés para ser explotados.

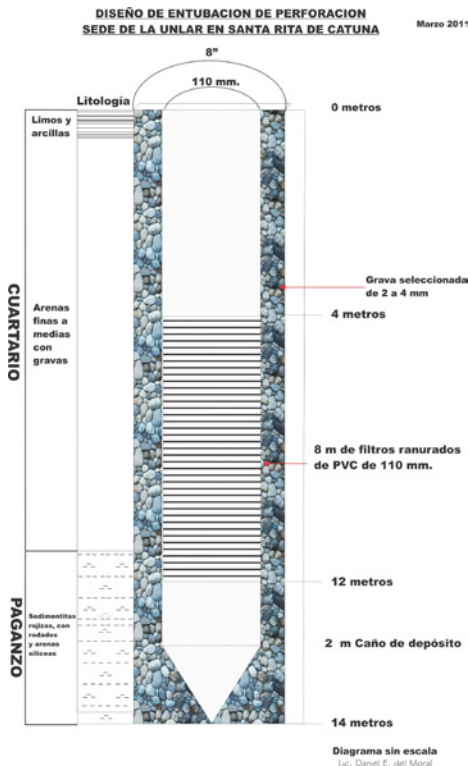


Figura 9. Gráfico del diseño de entubación de perforación de la Sede Universitaria.

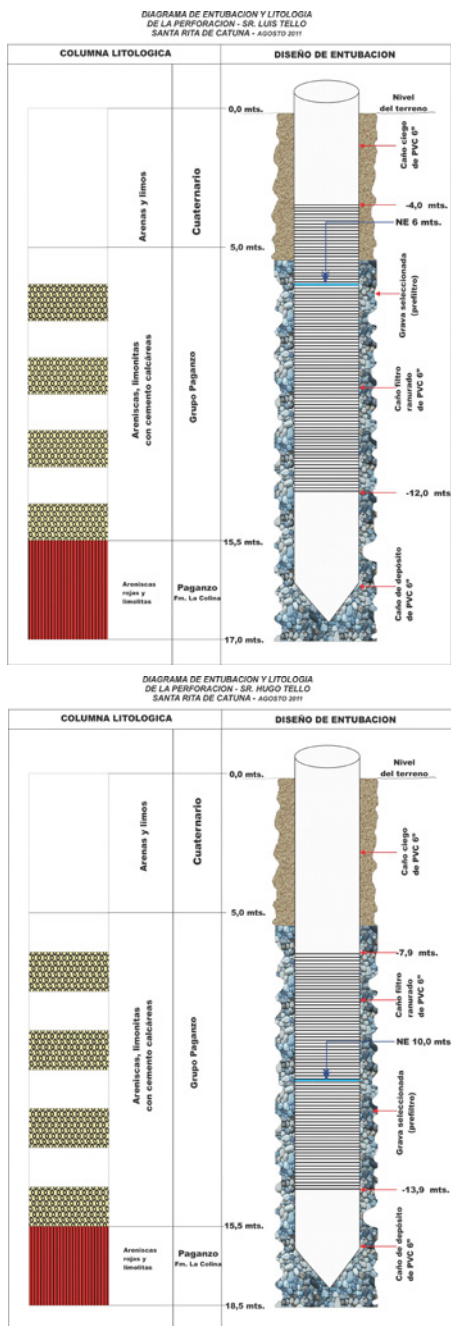
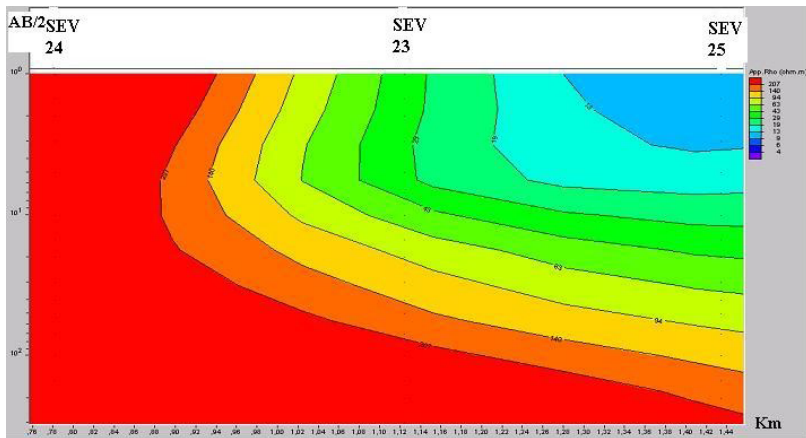


Figura 10. Diseño de entubación de las perforaciones exploratorias P3 y P4.

Resultados

Pseudosecciones

Con los resultados del procesamiento de los SEV se construyeron pseudosecciones en una sola figura indicativa, mediante un arreglo en dos dimensiones de un perfil de resistividad que indica la variación aparente lateral y vertical, con datos a igual profundidad. Un punto de estas figuras es un promedio de la resistividad en un entorno del mismo (Figuras 11 y 12). Allí se observan, desde la profundidad indicada por la resistividad (a 100 ohm m), el contacto del estrato sedimentario con el basamento cristalino. También es destacable los sectores de mínimas resistividades (a 10 ohm m) indicando la morfología, en el subsuelo, el espesor del total sedimentario. Es observable también sectores de la gráfica de baja resistividad, el primero de ellos (AA) entre los SEV 3, 4 y 7 y luego bajo el SEV 10. Este sector de baja resistividad coincide con la traza de las fallas indicadas anteriormente. Analizando en particular ese total sedimentario, es de destacar que esos estratos saturados sirven como depósitos del agua desde donde mediante una perforación existen las posibilidades de extraer agua y de buena calidad.

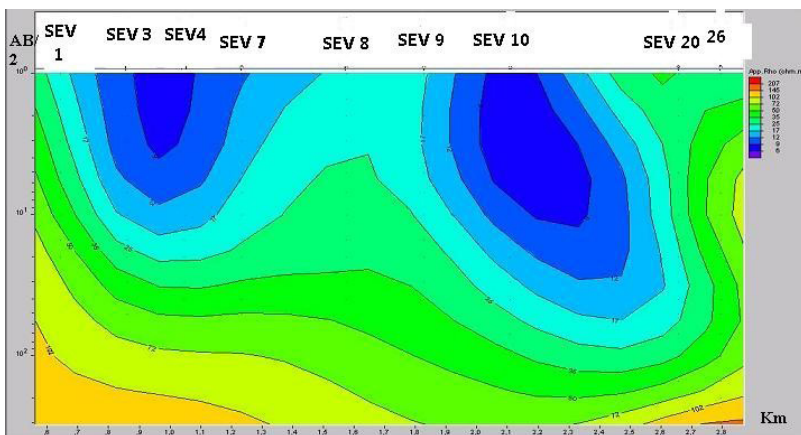


CATUNA, LA RIOJA. PERFIL BB'. Seudosección de resistividades de campo

Figura 11. En la escala vertical las aperturas de los electrodos de envío de corriente AB desde 1 (margen izquierdo superior) -300 m; en el eje horizontal inferior las distancias entre los SEV involucrados. En isolinéas las resistividades según la paleta de colores ubicadas en el costado derecho superior. Se observa el contacto entre el espesor de relleno sedimentario (ρ) y el crecimiento del mismo hacia el oeste indicando el basamento eléctrico (color rojo).

Esta situación se repite en el perfil transversal BB', la baja resistividad comienza entre los SEV 23 y 25, y el contacto con el basamento entre los SEV 23 y 24 (color rojo), observando los sitios de emplazamiento de los sondeos los sectores de mayor conductividad son continuados entre los dos perfiles asegurando la coherencia en los resultados. La figura que representa el perfil DD', (submeridiano), comprende los sitios 19, 17, 7, 14, 23 y 21, únicamente debajo el SEV 19 se encuentra el sector de menor resistividad, en los otros resultados la corriente enviada por los electrodos AB, denota la presencia de estratos que se corresponden con el basamento.

Analizando los perfiles, se puede concluir parcialmente que la traza de los fallamientos también indicados por la carta geológica, está mejor definida e indicada por los resultados de estos sondeos exploratorios, y atraviesa el área de la Villa por el costado oeste y entre los sitios 19 y se continúa entre el 23 y el 24.



CATUNA.LARIOJA.PERFIL AA'.Seudosección de resistividades de campo

Figura 12. Se observan las zonas de menor resistividad debajo de los SEV 3-4, y 10, coincidente con lo indicado en el perfil AA' donde la interpretación realizada indican la presencia de arenas donde es posible la presencia de depósitos de agua. En estos sitios se recomendó realizar una perforación en busca de agua subterránea.

Tomografía eléctrica TE (alta resolución)

Es reciente el uso de la tomografía en la geofísica para la búsqueda arqueológica, cables enterrados, etc., que se encuentren a poca profundidad. La tomografía es reservada para representar, mediante imágenes, los valores de propiedades físicas, como la resistividad aparente medidas desde la superficie de donde se encuentre

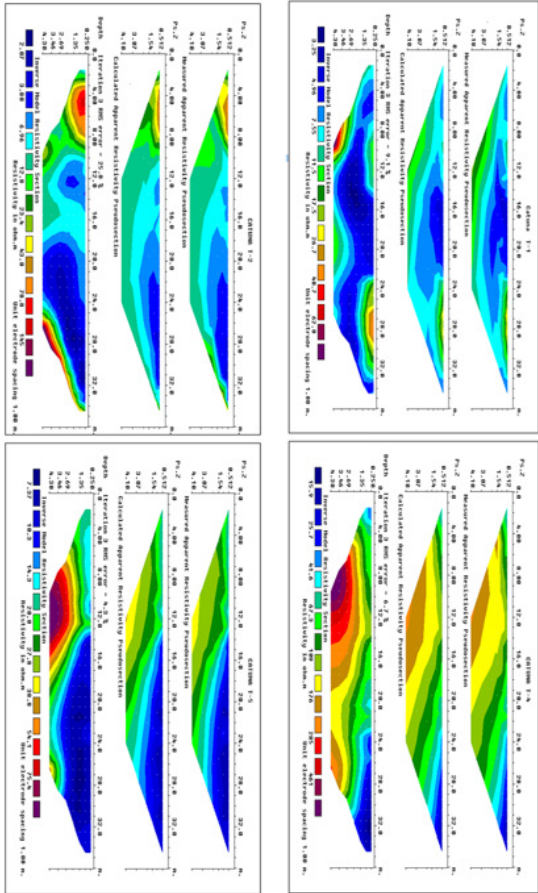


Figura 13.

En los resultados de los cuatro sitios explorados T₁ y realizados en la Sede Universitaria, se muestra la secuencia del procesamiento desde la resistividad aparente, la pseudosección y el modelo final, luego de las iteraciones y el porcentaje de error. Se describe el código de colores: la paleta adoptada indican las resistividades, van en aumento desde el azul hacia el rojo. En este caso, se extendieron 36 y 24 electrodos separados a 1 metro de distancia entre ellos, indicados en el eje de las abscisas superior. En el eje de las ordenadas, a la izquierda de la figura, la profundidad de estudio, según este distanciamiento, alcanza 4,30 m y 3,46 m respectivamente. Se puede interpretar que desde una resistividad de 40 ohm metro hacia menores valores indican estratos húmedos, con posibilidades de saturación de agua, los colores cercanos al rojo, indican basamento eléctrico que este caso puede deberse a la formación Proganzo o en otros casos al basamento cristalino, a partir de cual no es posible tener estratos saturados con agua, debido a la porosidad y a la prácticamente nula permeabilidad.

el objeto. Para ello se utilizan dispositivos geoeléctricos que sirven luego para generar imágenes del subsuelo, donde se representa la resistividad verdadera de los sitios en estudio. La relación entre la resistividad aparente y la resistividad verdadera, es compleja. Para determinar esta última se tomó como base los valores de la resistividad aparente, y se aplica la técnica de la "inversión" (Loke 2004).

El procedimiento de generación de una tomografía eléctrica mediante inversión, parte de los datos de resistividad aparente medidos, representados en forma de pseudoperfil. A continuación se genera un modelo hipotético de resistividades verdaderas del subsuelo y resolviendo lo que se define como "cálculo del problema directo", se llega al modelo de resistividades aparentes que se derivaría del mismo. Estas resistividades aparentes se comparan con las realmente medidas, y se calcula el error cometido. A través de él se modifica el modelo hipotético real de resistividades verdaderas, y se repite el proceso anterior. De este modo, tras una serie de iteraciones, se consigue un modelo de resistividades verdaderas del subsuelo que da explicación a las resistividades aparentes medidas. En este caso el procesamiento se realizó con el software IPI2Win (Bobachev *et al.* 1998, 1999-2000) que genera modelos compatibles con el perfil real, es de destacar que sobre esos modelos resultantes, debe necesariamente incorporarse la experiencia y el conocimiento del intérprete con el aporte de los antecedentes geológicos de la región.

El equipamiento utilizado es el mismo que para los sondeos eléctricos verticales (ABEAM), la diferencia radica en un arreglo específico de ubicación de los electrodos. Sobre una sola línea se colocan los electrodos conectados mediante conductores a una consola y partir de allí se van realizando las mediciones modificando las aberturas de AB y de MN. El espaciamiento fue de 1 m en la longitud total de 24 m en un caso y 36 m en otros, este arreglo de espaciamientos y longitudes tiene que ver con la profundidad de investigación y la resolución de detalles que es posible observar en el subsuelo inmediato.

Los resultados del procesamiento de la TE, permite discriminar detalles, pero con menor profundidad de investigación, comparado con un SEV. En el caso que nos ocupa, la ejecución de las tomografías se realizó dentro del predio de la Extensión Académica de Catuna, para la búsqueda de la circulación de agua en el subálveo, se destacan los volúmenes de terreno donde hay humedad (color azul, véase Figura 13) que puede llegar a la saturación con agua. En estos sitios es esperable que una perforación tenga resultados positivos, sin descuidar que esta interpretación proviene desde datos indirectos como se puede apreciar desde la metodología utilizada.

La validación de estos resultados se encuentra en los dos pozos cavados donde se instalaron molinos de viento con capacidades de extraer agua desde los 4.5 m con un caudal que supera los 1000 lt/h.

Conclusiones

Los resultados de las metodologías utilizadas (SEV, tomografía eléctrica, pseudosecciones eléctricas y validación con perforaciones) han servido para determinar la profundidad de los depósitos de agua dulce, y como queda de manifiesto se encuentran muy cercanos a la vertiente que sirve para proveer el consumo humano de la Villa. Realizando perforaciones de baja profundidad (28 m) de bajo costo por el tipo de suelo, además menor contaminación por el uso consuntivo y las cercanías al sitio poblado, sirven para incrementar la radicación de la población y evitar el desgrane de la misma por falta de agua, mejorando asimismo la calidad de vida de los habitantes. Conviene extraer el agua en el sector oeste de la Villa, evitando el aumento de salinidad en el transcurso de la dirección opuesta y la disminución del relleno cuaternario (5 a 7 metros).

Bibliografía

- Archangelsky, Miguel, 1996, *El sistema Pérmico en la Republica Argentina y en la República Oriental del Uruguay*, Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, Argentina.
- Azcuy C. L. y Morelli, J. R. 1970, "Geología de la comarca Paganzo Amana, el Grupo Paganzo, formaciones que lo componen y sus relaciones", *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, vol. XXV, núm. 4, pp. 405-429.
- Bobachev A.A.; Bolshakov D.K.; Ivanova S.V.; Modin I.N.; Pervago E.V.; Safronov V.S. and Shevnin, 1998, V.A. Pipelines' Studies -- New Problem for Geophysics. Proceedings of 4th EEGS-ES Meeting in Barcelona, Spain, 4 p. MSU, Geological faculty, 119899 Moscow, MSU.
- Bobachev, A.; Modin, I.N. y Shevnin V., "1990-2000, Programa desarrollado por el Department of Geophysics", Geological Faculty, Moscow State University y Geoscan-M. Ltd.
- Bonder Guillermo, 2009, "Estudio hidrogeológico a través de métodos eléctricos en Villa Santa Rita de Catuna. La Rioja, Argentina", Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Geología, Trabajo Final Director Interno: Profesor Geólogo Frontera, Héctor, Director Externo: Ingeniero Mamani, Manuel.
- Ezpeleta, M.; Dávila, F.M. y Astini, R.A. 2006, "Estratigrafía y Paleoambiente de la Formación Los Llanos (La Rioja): una secuencia condensada Miocena en el antepais fragmentado andino central", *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, vol. 61, núm. 2.
- Limarino Carlos O.; Spalletti Luis A. y Colombo Pinol Ferrán, 2010, "Evolución paleoambiental de la transición glacial-postglacial en la Formación Agua Colorada (Grupo Paganzo), Carbonífero, Sierra de Narváez, NO argentino", *AndGeo [online]*, 2010, vol. 37, núm. 1, pp. 121-143 [citado 2015-05-11].

- Loke M. H., 2004, Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys (PDF). Retrieved 2007-06-11.
- Salfity J. y S. Gorustovich, 1983, "Paleogeografía de la cuenca del Grupo Paganzo (Paleozoico superior)", *Asociación Geológica Argentina*, vol. XXXVII, núm. 3-4, pp. 84-106.
- Page Stella; Litvak Vanesa D. y O. Limarino Carlos, 2002, "Nueva edad en el basamento de la Sierra de Los Llanos, La Rioja: Intrusividad Pampeana en el arco famatiniano, Nota Breve", *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, vol. 57, núm. 3, pp. 345-348.