

Aplicación de técnicas geofísicas para evaluar un sistema hidrogeológico fracturado en un sector del Macizo del Deseado – Santa Cruz

Fernando Leopoldo Perera^{1,2}, *Boris Calvetty Amboni*¹, *Hugo Gabriel Paoletti*^{1,2},
*Paulino Velazquez*³, *Santiago Bertacca*³, *Fernando Salomone*³

¹ Hidroar S.A. – Calle 67 N° 1474 – 221 451 1734 –

² Cátedra de Hidrogeología – Universidad Nacional de La Plata – Calle 60 y 122

³ Cerro Vanguardia S.A. – San Martín 1032 Puerto San Julián – Tel 02962- 496002

Mail de contacto: perera@hidroar.com

RESUMEN

Con el fin de identificar preliminarmente las características hidrogeológicas favorables para la localización de perforaciones destinadas al seguimiento ambiental de un sector del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, se implementó un estudio geofísico integrado utilizando las técnicas geoelectricas SEV (Sondeo Eléctrico Vertical), y líneas de Tomografía Eléctrica. El estudio e interpretación del relevamiento geofísico reveló las áreas cuyos valores de resistividad pueden vincularse a un sustrato rocoso escasamente alterado, como así también los valores que señalan diversos grados de alteración hasta los 70 metros de profundidad. Para la obtención de evidencias directas del sustrato, se ejecutaron cinco perforaciones distribuidas estratégicamente, sobre las que se efectuaron ensayos hidráulicos específicos tendientes a determinar los parámetros hidrogeológicos locales. La información brindada por los estudios geofísicos, la obtenida durante la construcción de pozos de monitoreo, los parámetros hidráulicos de los ensayos de bombeo y la relacionada a la hidrodinámica subterránea del sitio, fue integrada para elaborar el modelo conceptual del sitio.

Palabras clave: Medio fracturado – Tomografía eléctrica – Sondeo eléctrico vertical (SEV)

ABSTRACT

In order to identify hydrogeological characteristics favorable for the location of environmental monitoring drilling in a sector of the Deseado Massif of Santa Cruz province an integrated geophysical study using geoelectrics VES (vertical electrical sounding), and Electrical Tomography lines were implemented. The study and interpretation of geophysical survey revealed the areas whose resistivity values can be assigned to a slightly altered bedrock as well as values that indicates varying degrees of alteration to 70 meters deep. To obtain direct evidences of the substrate, five boreholes strategically distributed were done. Then, specific hydraulic tests were carried out to determine the local hydrogeological parameters. The information provided by geophysical studies, as to that obtained during the construction of the monitoring wells, the hydraulic parameters of pumping tests and those related with the groundwater hydrodynamic of the site, were integrated to elaborate a conceptual model about the hydrogeological setting of the substrate

Keywords: Fractured medium – Electrical Tomography lines – vertical electrical soundings (VES)

Introducción

Con el objetivo de identificar preliminarmente las características hidrogeológicas del subsuelo, necesarias para la localización de perforaciones de monitoreo ambiental en un sector del macizo del Deseado que ocupa el Yacimiento aurífero Cerro Vanguardia en la Provincia de Santa Cruz, fueron implementadas técnicas geofísicas de tipo geoelectricas.

El área de estudio corresponde con un sector destinado al aprovechamiento del

contenido metalífero del mineral marginal remanente, que por su baja ley no puede ser procesado directamente en planta.

La base del estudio contemplo la medición de tres (3) líneas de Tomografía Eléctrica y cinco (5) Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

Las secciones realizadas, brindaron información sobre las variaciones de la resistividad en los primeros 70 metros del subsuelo, para el caso de las tomografías, y hasta 100 metros en los SEV, estableciendo de manera esquemática las condiciones de la roca

hasta dicha profundidad. En base a la interpretación de las resistividades obtenidas, fue posible identificar la presencia de diferentes zonas de alteración y su relación con el contenido de humedad del suelo.

Características del área

Ubicación

El área de desarrollo del Yacimiento Minero Cerro Vanguardia se sitúa en el Departamento Magallanes, unos 100 km al N de la localidad de San Julián en la Provincia de Santa Cruz.

El sector de estudio abarcó una superficie de 77 Has, situadas en la margen derecha del camino de acceso al área de mina. (Figura 1)

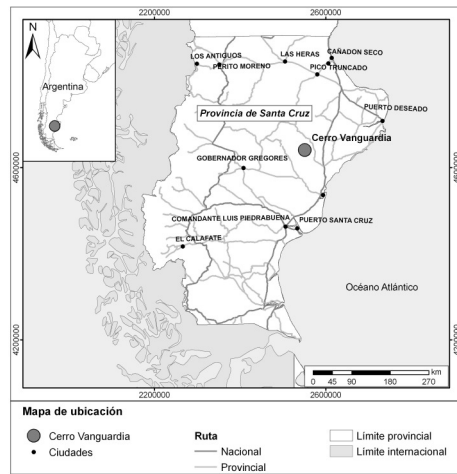


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio

Geología

Las unidades geológicas más antiguas corresponden a tobas redepositadas y arcilita perteneciente a la Fm. Roca Blanca (Triásico Superior). En forma discordante se presenta la Fm. Bajo Pobre integrada por basaltos y aglomerados volcánicos básicos (Panza *et al.*, 1994 y Black, 1994).

La principal manifestación de rocas aflorantes se evidencia con el Grupo Bahía Laura, representado por volcanitas jurásicas ácidas, principalmente riolitas, las cuales han adquirido especial importancia debido a su vinculación genética y espacial, con mineralizaciones de tipo epitermal portadoras de oro y plata. El Grupo está integrado por las unidades formacionales Chon Aike (ignimbritas, brechas lapillíticas, tobas lapillíticas, bien

consolidadas, de coloración rosácea o castaña, fracturadas) y La Matilde (tobas, tobas arenosas y limolitas tobáceas, de coloración castaña, con diaclasamiento horizontal) (Mazzoni, 1986).

El conjunto presenta vetas de cuarzo mineralizadas con plata y oro, que se emplazan en la ignimbrita con una orientación general NW-SE. Son estructuras subverticales paralelas al sistema de fracturas dominantes en la región, con rumbo ESE-WNW y N-S. Ambos sistemas están conectados por una serie de fallas tensionales de orientación NW-SE, las que están asociadas en su gran mayoría con las zonas mineralizadas (Panza *et al.*, 1982).

El Grupo Bahía Laura está cubierto en forma discordante por rocas piroclásticas y areniscas de la Formación Baqueró (Cretácico Inferior). La geología cuaternaria suprayacente presenta gravas arenosas de la Formación La Avenida y basálticos olivínicos de la Formación La Angelita. (Hernández *et al.*, 2002 y Hernández *et al.*, 2010). Otros depósitos cuaternarios incluyen materiales aluviales y eólicos no consolidados (Hernández, 2000).

Localmente el sector de estudio, se halla cubierto por sedimentos de escaso espesor, (0,3 m a 1 m) conformados por sedimentos arenosos y limosos con una fracción arcillosa subordinada. La Figura 2 representa la ubicación de las unidades mencionadas.

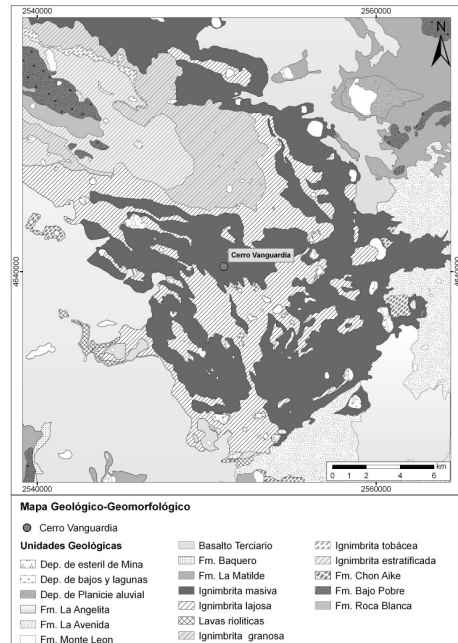


Figura 2. Mapa Geológico

Metodología empleada

Del conjunto de tomografías realizadas (tres en total), dos secciones se posicionaron en los extremos del área, con orientación aproximada NW-SE y una extensión de 460 metros. El tercero, con una longitud de 350 metros, se emplazó hacia el sur de forma transversal a los anteriormente descritos.

En el punto medio de cada perfil se midió un SEV de 500 m de extensión (SEV 1, 2 y 4), uno intermedio entre perfiles (SEV 5) y otro en el extremo E del sector (SEV 3). La Figura 3 indica sus ubicaciones en el área.

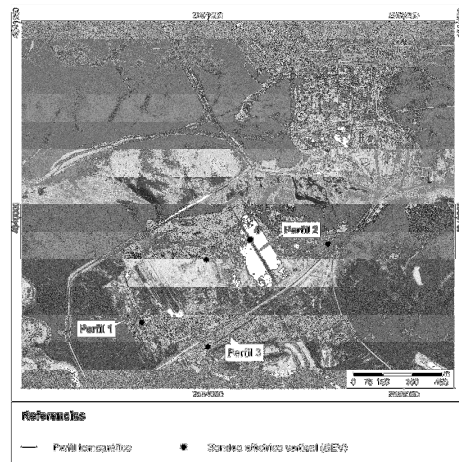


Figura 3. Ubicación de los SEV y perfiles tomográficos.

Tomografías eléctricas

La metodología utilizada se basa en un arreglo multielectrónico lineal con base en el dispositivo de Wenner para obtener modelos del terreno en dos dimensiones (Loke, 2002).

El dispositivo básico se muestra en la Figura 4, donde "a", es el espaciado eléctrico, C1 y C2 los electrodos de corriente y P1 y P2 los de potencial.

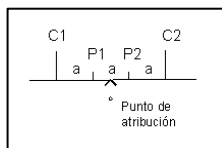


Figura 4: Dispositivo de Wenner

La resistividad aparente (ρ_a), en $\Omega \cdot m$ se calcula según la expresión:

$$\rho_a = 2\pi a (\Delta V / I) \quad (1)$$

Donde: "a" es el espaciado (en m); "I" la corriente que circula entre C1 y C2 (en mA) y " ΔV " la diferencia de potencial entre los electrodos P1 y P2 (en mV).

El valor obtenido se atribuye a un punto ubicado debajo del punto medio del dispositivo y a una profundidad proporcional con la separación entre los electrodos

La Figura 5 muestra la secuencia de mediciones con base en este dispositivo para un arreglo de 21 electrodos como el utilizado. Siendo "a" la separación entre electrodos adyacentes, el primer paso consiste en hacer todas las mediciones posibles con este espaciado. Para la primera medición se usan los electrodos 1, 2, 3 y 4, que serán respectivamente C1, P1, P2 y C2. Para la segunda medición cumplirán estas funciones los electrodos 2, 3, 4 y 5, lo que se repite a lo largo de la línea de electrodos hasta que son utilizados los electrodos 18, 19, 20 y 21 para la última medición, lo que implica 18 (21-3) mediciones con el espaciado "1a".

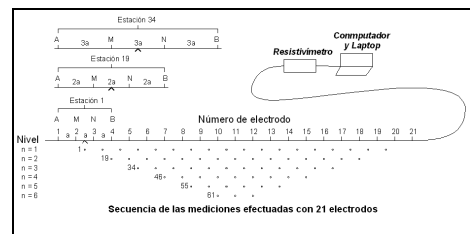


Figura 5. Despliegue con el dispositivo de Wenner para 21 electrodos

Completada la secuencia anterior, se realiza la correspondiente al espaciado "2a", en cuyo caso para la primera medición son utilizados los electrodos 1, 3, 5 y 7 y para la segunda los electrodos 2, 4, 6 y 8. Proceso que se repite hasta que son utilizados los electrodos 15, 17, 19 y 21. Repitiéndose el procedimiento para mediciones con espaciamientos "3a", "4a", "5a" y "6a". ("na" con n= 1, 2, 3, 4, 5 y 6)

Después de completar la anterior secuencia de mediciones, para extender el perfil, se desplaza el arreglo de electrodos tres espaciamientos hacia el final de la línea, efectuándose aquellas mediciones que involucran a los electrodos no superpuestos con los de la posición anterior y así sucesivamente hasta llegar a la longitud final programada.

Es decir, el espaciado a es fijo y las mediciones se hacen para varios valores de n,

de modo de ir incrementando la profundidad de investigación conforme n aumenta. En el presente caso los valores adoptados fueron: $a = 10 \text{ m}$ y $n = 1, 2, 3, 4, 5$ y 6 .

Las mediciones se realizaron con un resistivímetro GEOELEC, Mod RD 10, compuesto por amperímetro y voltímetro digitales y un convertidor de corriente continua de 250 vatios, que permite adoptar como fuente de energía una batería de acumuladores de 12 voltios.

Se completó el equipo con dos manojos de cables para la conexión de los 21 electrodos de acero con revestimiento de cobre del dispositivo básico, conectados a un conmutador externo que permite la lectura de los valores de corriente y potencial para el cálculo de la ρ_a en cada una de las posiciones requeridas, que en el caso de los perfiles 1 y 2 son 225 y en el del perfil 3 son 153.

Los cálculos de los valores de la resistividad aparente para cada posición se realizaron en el mismo lugar de las mediciones mediante una pequeña computadora portátil (laptop) adecuadamente programada.

El procesamiento subsiguiente se efectuó aplicando el programa RES2DINV versión 3.54 (Geotomo Software, Malaysia), que aplicando una rutina de modelado directo, proporciona en cada caso las variaciones de la resistividad aparente mediante una pseudosección, una manera muy conveniente de presentar en forma gráfica los valores obtenidos, que sirve además como guía inicial para la posterior interpretación cuantitativa.

A continuación, elabora un modelo 2-D del subsuelo consistente en un gran número de bloques rectangulares, en los que el programa subdivide automáticamente el subsuelo, a determinar, mediante una subrutina de inversión por mínimos cuadrados, el valor apropiado de resistividad para cada bloque, de modo tal que los valores de resistividad aparente, que se calculan en iteraciones sucesivas, se vayan aproximando a los valores medidos, hasta conseguir que se localicen dentro de un rango dado por una tolerancia preestablecida.

Es decir, como todo método de inversión, el programa RES2DINV utiliza un método iterativo que procura encontrar un modelo de las propiedades eléctricas del terreno a lo largo del perfil cuyos valores de resistividad aparente calculados sean próximos a los valores medidos.

Sondeos Eléctricos Verticales

Para la determinación de la resistividad del subsuelo se utilizó el dispositivo simétrico de Schlumberger de cuatro electrodos, con una longitud máxima entre electrodos de corriente de 500 m.

El trabajo de campo consiste en obtener Curvas de Resistividad Aparente (CRA) a partir de hacer circular una corriente "I" entre dos electrodos de corriente (A y B), y medir la diferencia de potencial " ΔV " provocada entre dos electrodos de recepción (M y N) (Orellana, 1982).

Los valores de resistividad aparente (ρ_a , en $\Omega \cdot \text{m}$) se calcularon con la fórmula:

$$\rho_a = \frac{\pi}{4 MN} (AB^2 - MN^2) \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Las determinaciones se hacen ampliando en pasos sucesivos las distancias entre A y B hasta llegar al valor final establecido en cada caso.

Las mediciones se realizaron con el mismo instrumento con el que se obtuvieron los datos de los perfiles anteriores completándose el equipo con cables de conexión, para el circuito de corriente y de potencial; dos electrodos de acero inoxidable para la energización del terreno y cuatro electrodos impolarizables del tipo Cu - SO_4Cu para las mediciones del potencial.

En el subsiguiente procesamiento, realizado en gabinete, se utilizó el procedimiento propuesto por Zohdy (1989) en el que, para el cálculo de las curvas de resistividad aparente teóricas, se utilizó el filtro de Seara (1979) de 128 coeficientes.

Resultados

Las imágenes eléctricas obtenidas revelaron una resistividad heterogénea en el área investigada, hecho evidenciado por la variación de los datos que integran las mismas.

La Figura 6 muestra los modelos eléctricos (imágenes eléctricas) obtenidos en los tres perfiles de la tomografía, representados mediante rangos de resistividad que se diferencian de acuerdo con las escalas de grises que figuran al pie de los gráficos.

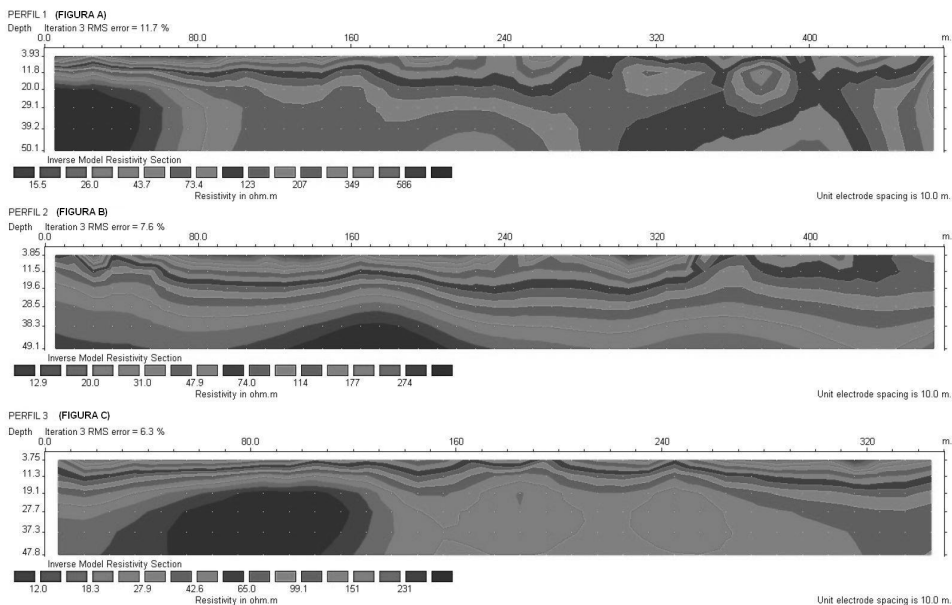


Figura 6: A) Modelo resistivo (Imagen eléctrica) del Perfil 1; B) Modelo resistivo del Perfil 2; C) Modelo resistivo del Perfil 3

Según la imagen eléctrica del Perfil 1, (Figura 6A), el subsuelo es mayormente heterogéneo. En la parte superior se observan delgadas capas de baja resistividad que estarían asociadas a los materiales arcillosos dispuestos en superficie, en los primeros metros y hasta la progresiva de 100 m la resistividad presenta valores altos a partir de los 10 m de profundidad, atribuibles a roca con escaso grado de alteración, condición que podría extenderse hasta los 250 m.

Entre las progresivas de 320 m y 420 m, las resistividades halladas fueron menores a 100 Ω .m, relacionando las mismas al sector con una mayor alteración de la roca a lo largo del perfil, que en su parte final tiende nuevamente a valores superiores a los 300 Ω .m.

Los resultados del SEV 2 (Figura 7) medido en el centro del Perfil 1 indican un esquema aceptablemente coincidente con la imagen eléctrica hasta su máxima profundidad, aportando valores del orden de los 300 Ω entre los 70 y 100 m atribuibles a roca poco alterada.

La imagen eléctrica del Perfil 2, (Figura 6B), muestra capas superficiales de baja resistividad asociadas a las arcillas distribuidas en el

terreno, aunque a diferencia del perfil anterior, los aumentos de resistividad con la profundidad son progresivos a lo largo de todo el perfil. El substrato rocoso a una profundidad media de 30 metros, no presenta alteraciones significativas, manteniéndose muy homogéneo.

Los resultados del SEV 4 (Figura 7) medido en el centro del Perfil 2, coinciden aceptablemente con la imagen eléctrica asociada, sugiriendo además que, por debajo de los 64 m la roca se presenta más compacta, con valores de resistividad de 300 Ω .

Resultados similares se obtuvieron en el SEV 3, ubicado en un extremo distal del área de estudio, en un sector paralelo al camino de acceso principal.

A lo largo del Perfil 3 (Figura 6C), las variaciones de la resistividad son del mismo orden hasta los 20 metros de profundidad. Por debajo, la resistividad presenta algunas heterogeneidades significativas. Hasta la progresiva de 160 m, entre los 20 y 50 m de profundidad, predominan valores superiores a los 300 Ω .m asignables a un sector de roca más compacta, en coincidencia con la parte sur del Perfil 1.

En el resto de la sección, las resistividades son heterogéneas y de valores menores, vinculadas a un sector de roca con algún grado de iteración.

Los resultados del SEV 1 (Figura 7) medido en el centro del Perfil 3, coinciden aceptablemente con los obtenidos en la imagen eléctrica del mismo sector y aportan información por debajo de los 50 metros de profundidad, revelando un esquema de resistividades crecientes, del orden de 100 Ω .m hasta los 55 metros, 250 Ω .m hasta los 73 metros y a partir de allí, mayor a 300 Ω .m.

Finalmente el SEV 5 (Figura 7), medido en el centro del área de estudio, en un punto intermedio entre los perfiles 1 y 2, refleja un esquema similar al SEV 1, con un aumento progresivo de la resistividad a partir de los 10 m de profundidad, hallándose valores superiores a 100 Ω a los 13 m y mayores a 200 Ω a partir de los 54 m, relacionado con un esquema del subsuelo que incrementa la homogeneidad de la roca con la profundidad.

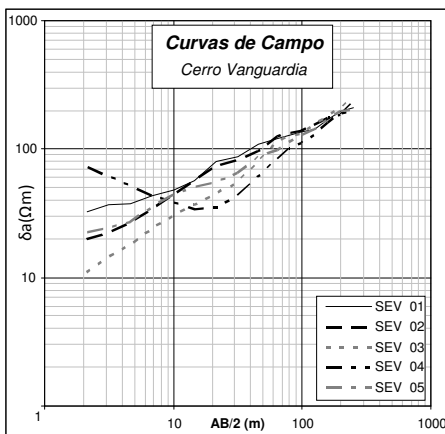


Figura 7. Curvas de resistividad aparente

En la mayoría de las secciones analizadas, pudo identificarse un sector superior asimilable con delgadas capas de baja resistividad asociadas a los materiales arcillosos ubicados en la superficie del terreno con fines constructivos, necesarios para la colocación de la membrana impermeabilizante.

En términos generales, en el sector SW del área bajo investigación, los valores de resistividad se atribuyen a un sustrato rocoso poco alterado, mientras que en el sector NE y NW, revelan mayor grado de alteración hasta

los 50 y 70 metros de profundidad respectivamente.

Construcción de pozos de monitoreo

Con el doble propósito de obtener evidencias directas del sustrato analizado y contar con perforaciones ambientales funcionales al estudio, se ejecutaron cinco (5) perforaciones (Figura 8) distribuidas estratégicamente en función del flujo subterráneo (ver apartado Hidrodinámica subterránea), y sobre la base de los resultados geofísicos obtenidos.

Análogamente con las evidencias geofísicas alcanzadas, el sector SW del área de interés, reveló un perfil litológico integrado por rocas mayormente compactas, en especial a partir de los 10 metros de profundidad en el pozo PM-2 y a unos 60 metros bajo nivel del terreno en los pozos PM-1 y PM-3.

Por su parte, el pozo PB-1 denota una secuencia con mayor grado de alteración, respecto a los anteriores, principalmente hasta los 50 metros de profundidad.

La información geofísica aportada por el perfil 2 y los SEV 4 y 5 reflejan lo arriba descrito. No se han interceptado en los pozos ejecutados sectores vetiformes o estructuras cuarzosas de importancia

Una situación intermedia fue reflejada en el pozo PB-2, ubicado en el sector E del área, donde las ignimbritas presentaron diversos grados de alteración hasta los 50 – 52 metros, condición reflejada por el estudio geofísico practicado.

Ensayos hidráulicos

Con la finalidad de incrementar y perfeccionar el conocimiento de los parámetros hidrogeológicos básicos del sector de estudio se realizaron ensayos de bombeo en los pozos PB 1 y PB 2.

La medición de los niveles de agua fue realizada sobre los pozos construidos para el presente estudio y complementada con perforaciones preexistentes en sectores aledaños.

La prueba de bombeo practicada en el pozo PB 1 se extendió por un período de 24 hs según un caudal de 9 m^3/h y una depresión de 20 metros, mientras que el ensayo practicado en PB 2 tuvo una duración de 3 hs, con un caudal de extracción que alcanzó los 1,2 m^3/h con el mismo nivel de descenso del pozo precedente.

Los resultados obtenidos, interpretados por analogía con métodos de base Theisiana (recuperación de Theis), muestran una

correlación entre los valores de permeabilidad, la presencia de sectores de mayor fracturación y las estimaciones de resistividad reflejadas en la geofísica practicada. De este modo, para el pozo PB1 se estimó un valor de permeabilidad de $8,9 \times 10^{-1}$ m/d, mientras que en el pozo PB2 se alcanzó un valor de $2,9 \times 10^2$ m/d. En ambos casos se reflejan cualitativamente los indicios alcanzados en el relevamiento geofísico como en las evidencias obtenidas durante el control geológico

En tanto los pozos PM-1, PM-2 y PM-3, evidenciaron durante el control geológico practicado, menor fracturación en coincidencia con altos valores de resistividad obtenida por geofísica, hecho que desestimó la implementación de ensayos de bombeo debido a la escasa afluencia de agua.

Hidrodinámica subterránea

La red de flujo local presenta un área de mayor valor equipotencial coincidente con la Planta de Tratamiento del proyecto minero (cota de agua próxima a 190 msnm), y filetes convergentes hacia el S-SW (sector de estudio).

En el área de investigación, las cotas de agua reflejadas por los pozos PB2 y PB1 (160 msnm), disminuyen considerablemente hasta alcanzar valores inferiores a 140 msnm en PM 2 al S del área.

En la Figura 8 se presenta el mapa equipotencial del sitio.

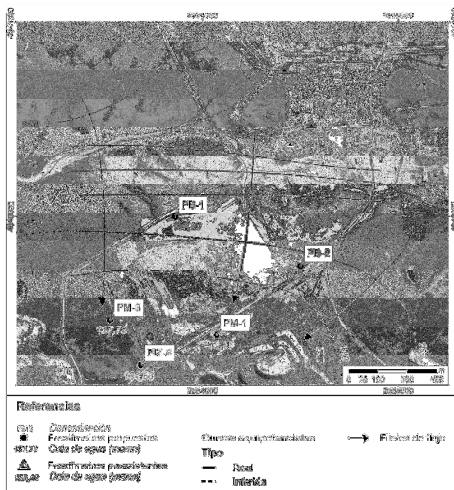


Figura 8. Mapa equipotencial

Conclusión

El análisis e interpretación de los datos obtenidos durante la realización de las tareas de

campo y gabinete en el área de emplazamiento, han permitido establecer una estrecha vinculación entre la información generada mediante las técnicas indirectas de la geofísica y aquella proveniente de las evidencias directas, como control geológico de las perforaciones e implementación de los ensayos hidráulicos.

El estudio de secciones eléctricas, SEV y tomografías eléctricas, han revelado que en el sector SW del área los mayores valores de resistividad se vinculan a un sustrato rocoso escasamente fracturado, mientras que en el sector NE y NW, los resultados señalan diversos grados de alteración hasta unos 70 metros de profundidad.

La ejecución de perforaciones en las áreas seleccionadas dentro de los límites del sector de estudio han permitido corroborar las características hidrogeológicas locales.

En coincidencia con la geofísica efectuada, en el sector SW del área, las rocas se presentan mínimamente fracturadas a partir de los 10 metros de profundidad en el pozo PM-2, y a unos 60 metros bajo nivel del terreno en los pozos PM-1 y PM-3.

En el pozo PB-2, ubicado en el sector E del área, las ignimbritas evidenciaron un aumento en el tenor de fracturación hasta los 50 – 52 metros, mientras que el pozo PB-1 reveló una secuencia principalmente fracturada y alterada.

Los resultados de la metodología empleada se han validado con la información de campo recopilada en la ejecución de las perforaciones.

El ingreso de agua durante las perforaciones se localizó en coincidencia con los tramos más heterogéneos y alterados de los perfiles. En el caso particular del pozo PM-2, no se ha indicado registro de afluencia de agua durante la perforación, en consistencia con las estimaciones geofísicas del sector.

Los pozos de bombeo, PB1 y PB2 mostraron una correlación entre los valores de resistividad, vinculados a la existencia de diversos grados de fracturación y las observaciones provenientes de la ejecución de los pozos.

En el resto de los pozos de monitoreo (PM 1, PM 2 y PM3) se ha determinado una concordancia entre los datos geofísicos, litológicos y las propiedades hidráulicas que denotan características de bajo fracturamiento de roca en el sector SW del área bajo estudio.

Por lo anteriormente expuesto, se deduce que los métodos geofísicos, en particular las tomografías eléctricas y sondeos eléctricos verticales, proporcionan una valiosa herramienta para la toma de decisiones a nivel preliminar. El presente estudio muestra la versatilidad de las

técnicas geofísicas de investigación, las que complementadas con evidencias directas han permitido definir la ubicación de perforaciones de monitoreo.

Agradecimientos

Para viabilizar la divulgación de los estudios y actividades desarrollados en el presente trabajo, se ha contado con la colaboración profesional y disponibilidad de la información proporcionada por la empresa Cerro Vanguardia S.A., cuyo agradecimiento especial hacen los autores en el presente.

Se extiende el agradecimiento a profesionales y técnicos de la firma Hidroar S.A. que han participado en los trabajos de campo y gabinete.

Referencias

- Black, J. 1994. *Hydrogeology of fractured rocks – a question of Uncertainty about geometry*. Applied Hydrogeology 2,3:56-70.
- Hernández, M.A. 2000. *Estudio geohidrológico de la región Cerro Rubio- Cerro Vanguardia. Provincia de Santa Cruz (Geohydrological study in Cerro Rubio-Cerro Vanguardia region. Province of Santa Cruz)*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Naturales y Museo. Universidad Nac. de La Plata . La Plata.
- Hernández MA, González N, Hernández L (2010). *Procesos de recarga de acuíferos en regiones áridas de Argentina*. Rev. Latinoam Hidrogeología. 7:71–78
- Hernández MA, González N, Sánchez RA (2002). *Mecanismos de recarga de acuíferos en regiones áridas. Cuenca del Río Seco, Provincia de Santa Cruz. Argentina*. XXXII IAH Congress—VI Congreso ALHSUD. Mar del Plata, Ed. CD Rom y Libro de Resúmenes
- Loke, M. H., 2002. *Electrical Imaging surveys for environmental and engineering Studies*. info@terraplus.com.
- Mazzoni, M. 1986. *Procesos y depósitos piroclásticos (Piroclastic process and deposits)* AGA, Serie "B", Serie Didáctica y Complementaria No 14, Buenos Aires.
- Orellana, E., 1982. *Prospección geoelectrica en corriente continua*. Paraninfo. Madrid.
- Panza, J.L., Zubia, M., Genini, A. y Odeas, M. 1994. *Hoja Geológica 4969-II Tres Cerros. (Geologic map 4969-II Tres Cerros)* Progr. Nac. de Cartas Geológicas de la Rep. Argentina 1:250000, Bol. No 213 (Nueva Serie). DNSG-SMN. Buenos Aires.
- Panza, J. L., and Secretaría de Minería^ dServicio Geológico Nacional. "Descripción geológica de las Hojas 53d" Gobernador Moyano" y 54e" Cerro Vanguardia", provincia de Santa Cruz." Servicio Geológico Nacional (inédito), Buenos Aires. [Links] (1982).
- Seara, J. L. 1979. *Computer programs for resistivity interpretation*. Application Brief 79-1. Scintrex. Concord (Toronto), 66 págs.
- Zodhy, A. R, 1989. *A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves*. Geophysics, v 54, N° 2, pag: 245-253.