

2018

DEPARTAMENTO
DE GEOTERMIA



ANALISIS CRITICO DE RESULTADOS GEOFISICOS MAGNETOTELURICOS PRIMERA CAMPAÑA

SIGNIFICADO GEOTERMICO

MARZO 2018

SIGNIFICADO GEOTERMICO DE LOS RESULTADOS GEOFISICOS MAGNETOTELURICOS

INTRODUCCION

En la primera mitad del mes de diciembre de 2017 se desarrolló la primera prospección geofísica según el método **magnetotelúrico**, específicamente en el rango audio magneto telúrico (**AMT**). Las características de esta técnica están bien detalladas en el Informe Geofísico presentando sus principios físicos y matemáticos de resolución.

La elección de esta tecnología de relevamiento subterráneo se basó en la experiencia propia y la coincidencia plena de su eficacia en prácticamente todos los proyectos de exploración geotérmica vigentes en el mundo. Asimismo por tratarse de un posible sistema geotermal ciego (*blind geothermal system*) justamente la aplicación de estas técnicas geofísicas es fundamental para su exploración.

Asimismo se agrega que los profesionales intervinientes en la adquisición de datos en campo, como en el procesamiento e inversión de los mismos en gabinete poseen una extensa trayectoria en esta especialidad geofísica en numerosos proyectos geotérmicos.

Como se ha mencionado, el presente análisis crítico de los estudios magnetotelúricos corresponde a la primera campaña enfocada a un sector del prospecto donde la geología de superficie lo consideró como propicio para descubrir anomalías de interés.

Se ejecutaron 34 estaciones de medición en un ámbito de medición del orden de los **60 km²**.

El objetivo de este primer estudio fue aplicar el esquema de registro audio magnetotelúrico que por su rango de lectura (**0.1 Hz a 1000 Hz**) tuvo un alcance en profundidad de auscultamiento del orden de los **1.000 m** y la ventaja de un tiempo de lectura breve, lo que resulto muy expeditivo para esta etapa del programa de exploración. Su capacidad de resolución es suficiente como para explorar acuíferos, outflows de fluidos, litoestratigrafías y estructuras.

Es importante destacar que este relevamiento se lo nominó como **Paño I**, a sabiendas que daría una respuesta acotada dentro de una zona del prospecto más amplia y con posibilidades de hallar rasgos que podrían ser también de interés geotérmico.

GEOLOGIA DEL SECTOR DE PROSPECCION

El área de estudio corresponde a un pequeño sector de la cuenca imbrífera que contiene a la Laguna Socompa expresión evidente de termalismo, ya de que por sí la influencia del calor emanado (posible *outflow* del sistema) del volcán activo Socompa sustenta complejos algares, estromatolitos, musgos y hepáticas (Farías et al, 2013), pozas de agua caliente y una temperatura de fondo de lago y su ribera que resulta anómala a 3.570 m.s.n.m. Al este del área de estudio se destacan manantiales calientes en la Quebrada del Agua y conspicuas alteraciones hidrotermales.

En ese marco comprendido entre Loma Colorada al Oeste y el Filo Caipe al Este, las inclinaciones de las sedimentitas de edad terciaria observadas, darían indicio de que se trataría de un sinclinal con estructuras de encuadre favorecedoras de surgencia de *outflows* de fluidos geotérmicos. Por otra parte, geomorfológicamente se constituye en el centro de la mencionada



Lic. Geol. Alejandro Conde Serra
D. Geotermia

Av. Gral. Paz 5445 (San Martín) - Tel.: (011)5670.0193
alejandro.conde@segemar.gov.ar

Ministerio de Energía y Minería

Secretaría de Minería

República Argentina

cuenca imbrífera (Galliski et al, 1987) con probabilidades de hallar en profundidad unidades acuíferas receptoras de la recarga de las aguas meteóricas de la región.

Desde el punto de vista litoestratigráfico las primeras observaciones de la misión geológica protagonizada por el Lic. Apasa F. SEGEMAR, en fecha coincidente a la prospección geofísica, y la bibliografía vigente se determinó la presencia del Complejo Volcanosedimentario Quebrada del Agua (Oligoceno Sup.- Mioceno Inf.). En general está constituida de base a techo por ignimbritas dacíticas a riodacíticas, aglomerados volcánicos, tobas lapillíticas, areniscas conglomerádicas y un remate con coladas andesíticas (20 m estimados en la campaña). Como dato a destacar los autores le asignan un espesor de **700 m**.

Subyacente cabría la posibilidad de hallar a la Formación Vizcachera (Oligoceno Inf. – Mioceno Medio, interdigitada?) constituida por areniscas cuarzo-feldespáticas, alternancias de tobas con cristaloclastos inmersos en matriz vítrica, areniscas yesíferas, conglomerados y finos niveles evaporíticos superiores. De espesor incierto (la bibliografía la menciona como una potente secuencia clástica) quizás en éste ámbito se apoye sobre la Formación Geste (Eoceno Sup.) constituida por conglomerados polimícticos con clastos de vulcanitas, granitos e intercalaciones de areniscas, todo ello procedente de facies de abanicos aluviales. Esto último le confiere una significativa permeabilidad primaria como para actuar en carácter de unidad acuífera.

En el sentido expresado quizás el acuífugo de esta secuencia Vizcachera-Geste lo constituya la litología del Complejo Volcánico Santa Inés (Eoceno-Oligoceno Medio) que es de baja permeabilidad primaria.

A continuación figura 1, Imagen General del Area del Prospecto con ubicación del Area de Estudio.



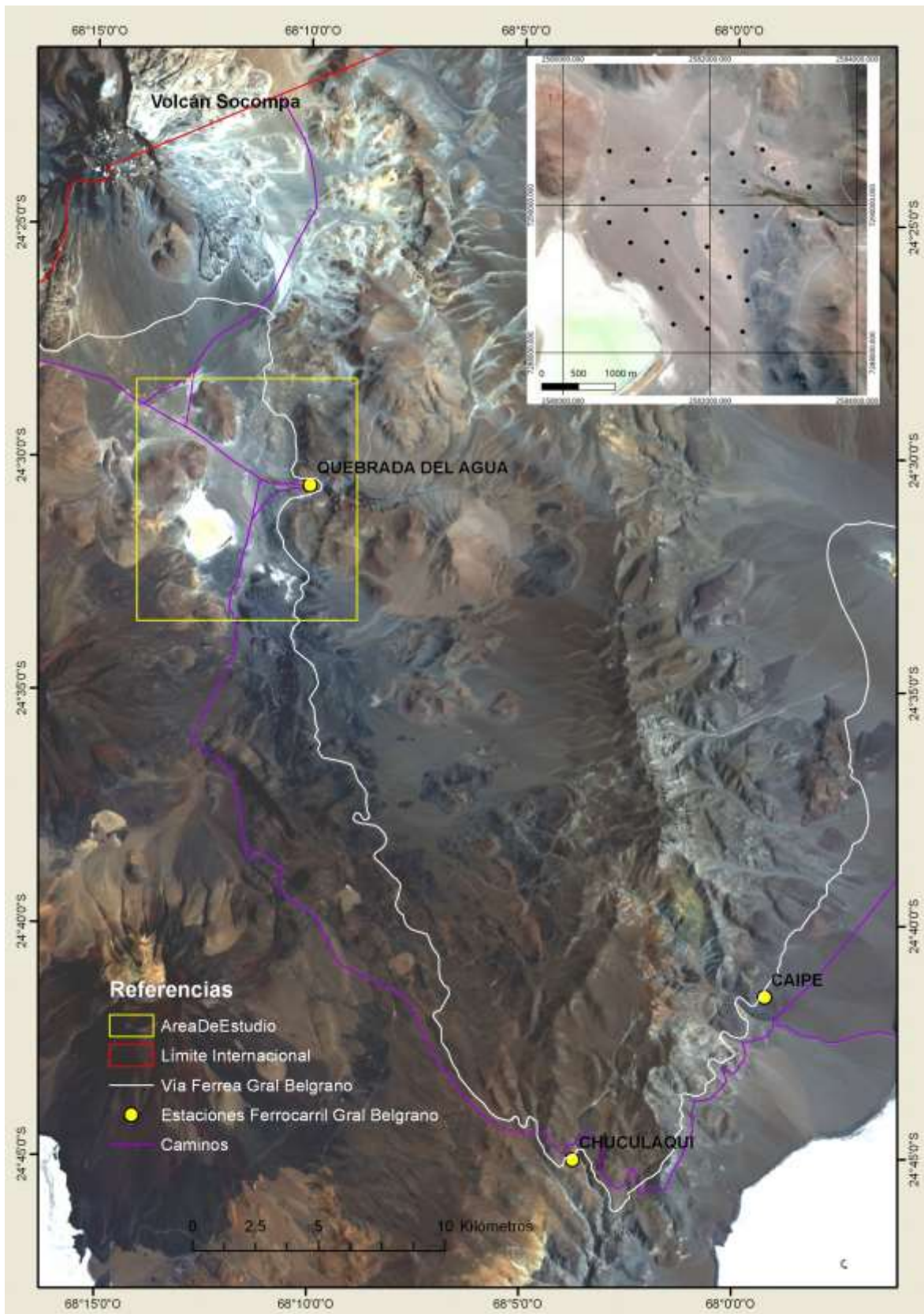
Lic. Geol. Alejandro Conde Serra
D. Geotermia

Av. Gral. Paz 5445 (San Martín) - Tel.: (011)5670.0193
alejandro.conde@segemar.gov.ar

Ministerio de Energía y Minería

Secretaría de Minería

República Argentina



Referencias

- Area De Estudio
- Límite Internacional
- Vía Ferrea Gral Belgrano
- Estaciones Ferrocarril Gral Belgrano
- Caminos

SEGEMAR
Servicio Geológico Minero Argentino

Dr. Alejandro Conde
D. Geotermia

alejandro.conde@segemar.gov.ar

Ministerio de Energía y Minería

Secretaría de Minería

República Argentina

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

Desde el punto de vista geoelectrico los parámetros obtenidos responden a un predominio electrostratigráfico de resistividad media a alta (**100 a 500 ohm.m**) con el extremo contraste de haber detectado una anomalía electroconductiva extrema (**≤ 5 ohm.m**) con una posición espacial destacada.

Se procede entonces a describir la morfología de esta significativa anomalía conductiva y su connotación geológica probable.

Se la observa con una notable persistencia areal a una profundidad del orden de los 600 m como se ilustra en la figura 2, a continuación:

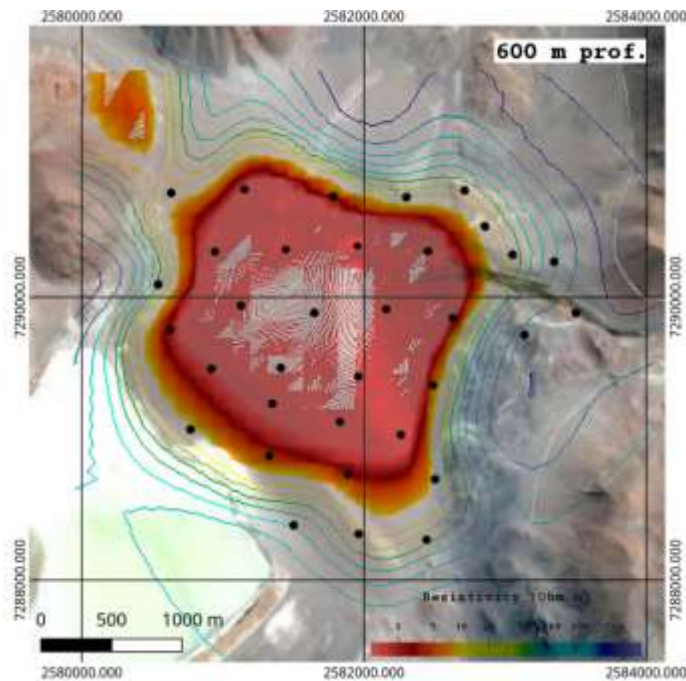


Fig. 2: Anomalía conductiva con valores < 5 ohm.m

Tanto las imágenes 2 D planares XY (fig. 3 y 4, a continuación), como las secciones más significativas (fig. 5) del block-diagrama y el diagrama corpóreo de la anomalía conductiva (fig. 6), definen un relevante control estructural estratigráfico de su morfología. Los apéndices observados en las figuras 3D, como su representación 2D planar mostrándose en aisladas anomalías conductivas a profundidades más someras de los 600 m, alimentan diversas hipótesis que finalmente hacen al sentido geológico final.

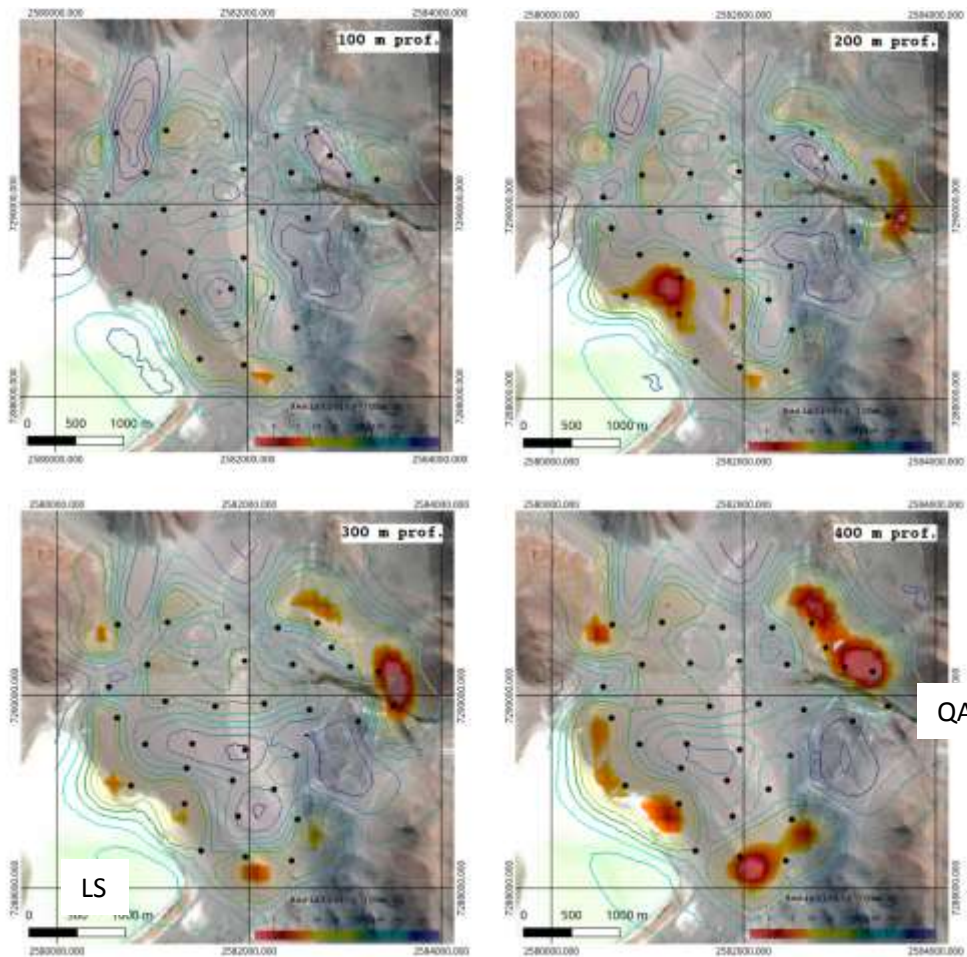


Fig. 3: Se observan anomalías conductivas asomando en cercanías de la Laguna Socompa (LS) y el manantial caliente de Quebrada del Agua (QA).

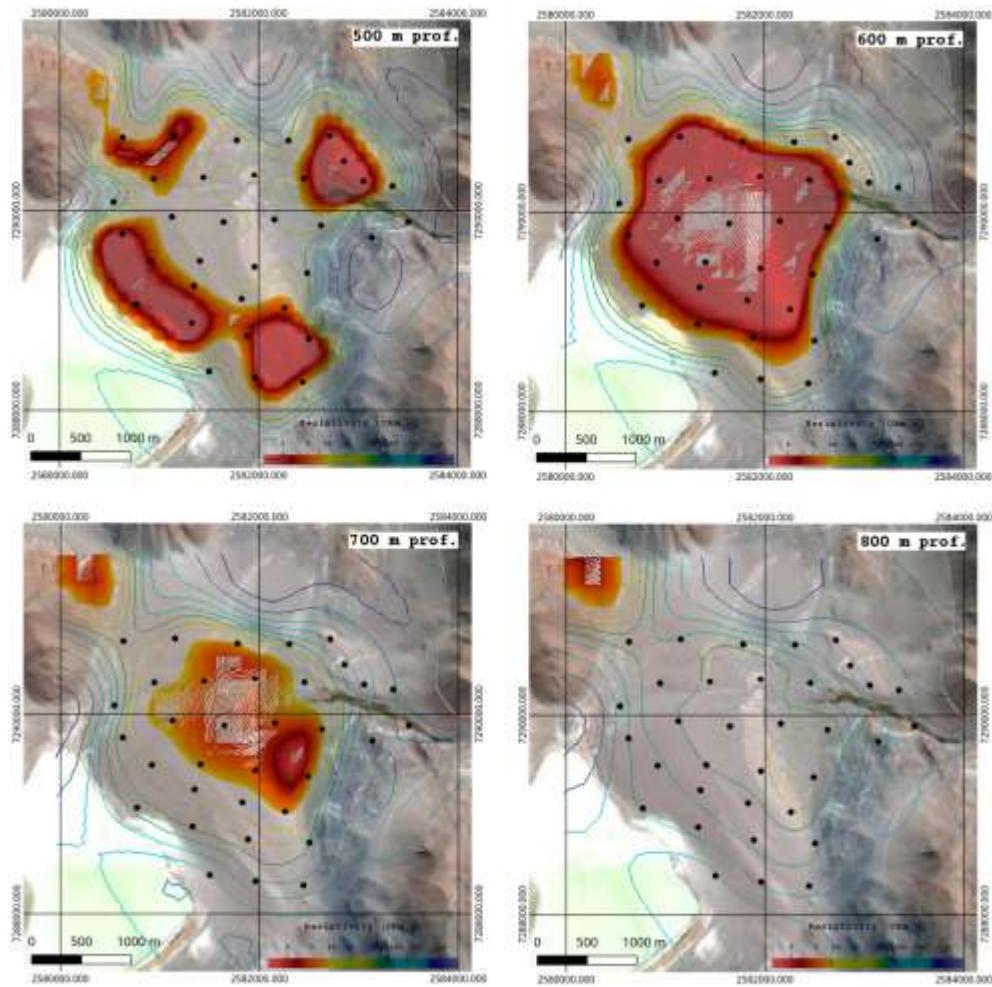


Fig. 4: Se observa que la anomalía conductiva se extingue alrededor de los 700 m de profundidad.

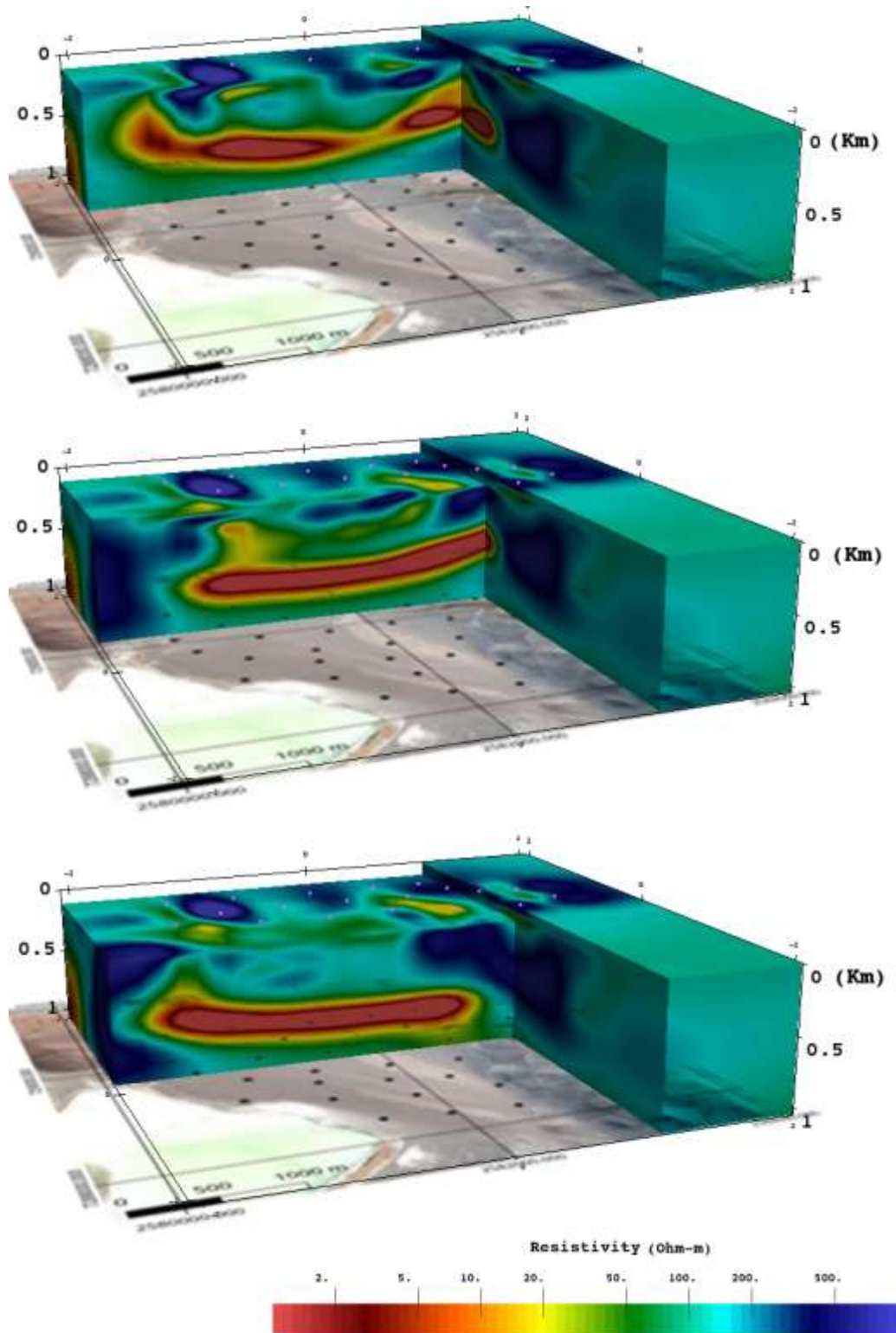


Fig. 5: Secciones del block diagrama que ilustran la anomalía electroconductiva de fondo en profundades del orden de los 700 a 800 m y con valores de resistividad < a los 5 ohm.m.

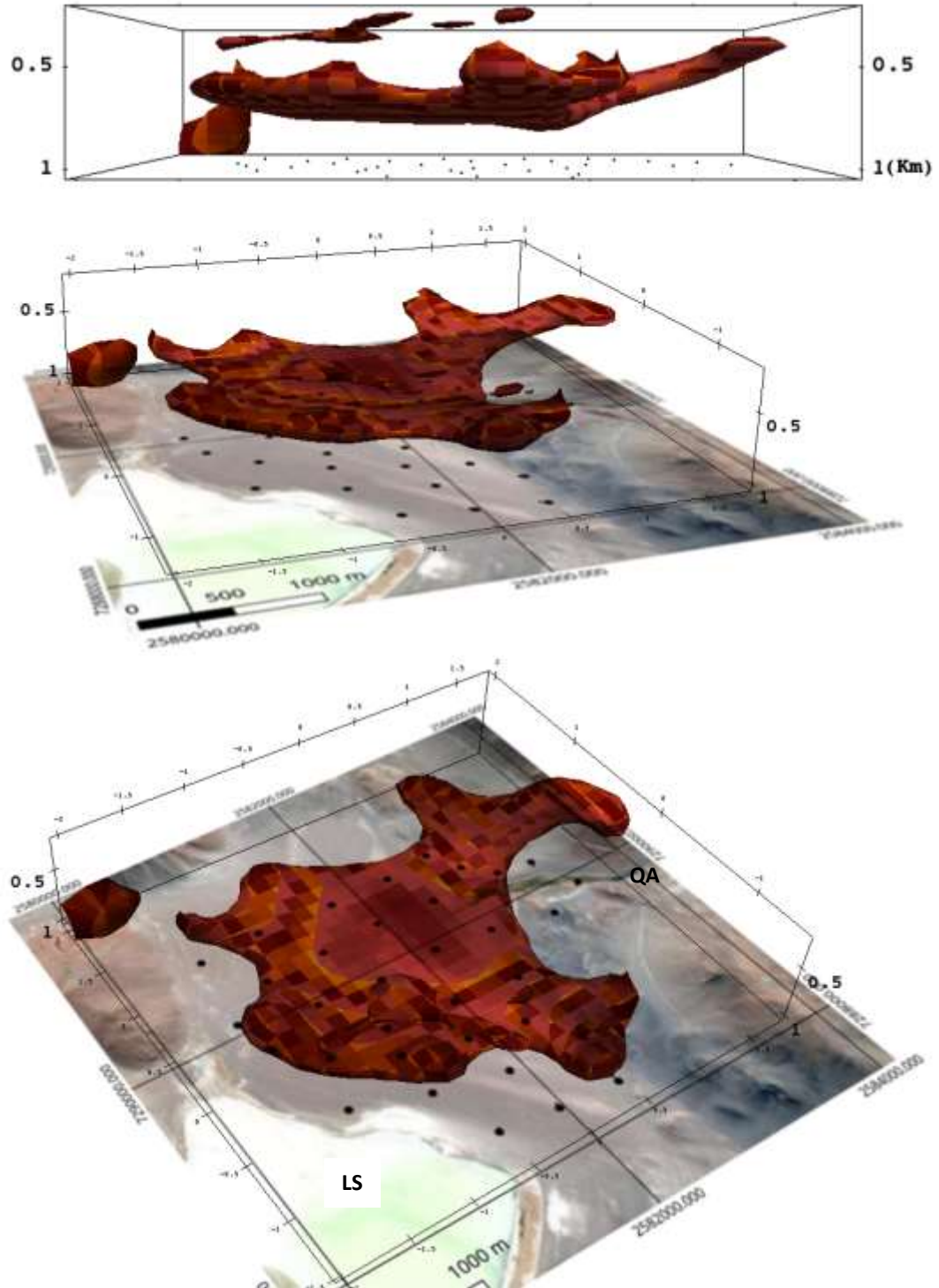


Fig. 6: Imágenes corpóreas de solo la unidad electroconductiva. Es interesante observar como apéndices de la misma se proyectan hacia la Laguna Socompa (LS) y el curso de agua caliente de en la Quebrada del Agua (QA).

Las hipótesis que se plantean en orden de menor a mayor factibilidad, serían:

1.- Que se trata de un **nivel acuífero** cuya yacencia coincide con niveles permeables de la **Fm. Quebrada del Agua** (Oligoceno Sup- Mioceno Inf.) cuyos contenidos salinos actuarían de electrolitos promotores de las bajas resistividades detectadas. Las conductividades superficiales con proyección en profundidad, hasta vincularse con la unidad conductiva de fondo, responderían a percolaciones de aguas meteóricas cargadas de sales de la cuenca cuyas vías de ingreso están controladas estructuralmente.

2.- Que en cambio, esta anomalía extrema conductiva podría estar asociada a una verdadera **alteración hidrotermal del techo de un reservorio** o acuífero en condición inclusive de contener calor. La temperatura colaboraría en la cinética química de devitrificación del vidrio volcánico composicional, minerales aluminosilicatos, sales en solución, etc., generando una respuesta marcadamente electroconductiva.

La experiencia de hallazgos en profundidad de este tipo de anomalías conductivas en los numerosos trabajos de prospección geofísica MT de sistemas geotermales volcánicos, han dado como resultado que su determinación se asocie a los techos de sus reservorios.

En este caso se ubicaría entre los **700 a 800 m** de profundidad.

Por otra parte se deduce que litoestratigráficamente la unidad geológica con la permeabilidad suficiente como para albergar los fluidos geotermales sería la Fm. Vizcachera, inmediatamente infrayacente a este *cap-rock* de aproximadamente 700 m de espesor. Hasta inclusive la subyacente Fm. Geste.

Relevante coincidencia entre las observaciones de campo y los resultados geoeléctricos.

En cuanto a los apéndices, su ubicación podría estar controlada estructuralmente por fallas y fracturas cercanas a los flancos de aquel sinclinal mencionado por Galliski et al 1987. O en adelante, en caso de que los estudios estructurales de detalle de la comisión científica dirigida por el Dr. R. Seggiaro, (SEGEMAR, abril 2018) determinasen la posibilidad de un bajo estructural con un marco de fallas y fracturas, estas podrían avalar la explicación de la existencia de los mencionados apéndices. Probablemente sean *outflows* con surgencias de fluidos geotermales.

En otras palabras estas estructuras podrían ser las vías preferenciales de ascenso de fluidos calientes con su efecto de alteración hidrotermal conexas sobre la roca de caja (cuya composición se sabe es sumamente sensible a la argilitización por ejemplo). Al respecto hay una significativa coincidencia de estos apéndices o proyecciones de la anomalía conductiva de fondo, con sectores de la Laguna Socompa (termalmente anómala) y la zona de manifestaciones termales de la Quebrada del Agua.

Entonces en caso de confirmarse que se trata del techo de un reservorio, el que suscribe expresa cautela en que este descubrimiento pueda representar inicialmente un **primer reservorio somero (< 700 - 800m)**. Y la posibilidad de hallar otro electroconductivo a mayor profundidad podría ser factible, como sucede en numerosos modelos de campos geotermales del tipo volcánico (ejemplo Volcán Tuzgle).

Un dato no menor es que la anomalía conductiva está acotada solo a la resolución algorítmica del software que la grilla de estaciones ha medido. Es decir, **los límites de la anomalía están abiertos tanto en sentido N-S como O-E**. Ampliando la grilla de medición no solo definiría la

extensión areal del conductivo de fondo sino que hasta podría modificar la morfología de los “apéndices” conductivos hallados al momento. Inclusive la morfología de los “apéndices” conductivos podría modificarse.

RECOMENDACIONES

Sobre lo antedicho se recomienda:

- Ejecutar la prospección (AMT) del **Paño II**, en derredor de la Laguna Socompa, para determinar si existe persistencia areal de la anomalía conductiva de fondo como de su posición en profundidad. Fig. 6.
- Desarrollar una grilla de estaciones para aplicar mediciones MT de baja frecuencia con el objeto de explorar a profundidades mayores, inclusive del orden de los 5 a 10 km, o más, buscando un reservorio más profundo, plumas de la cámara magmática, feeders y fallas profundas.

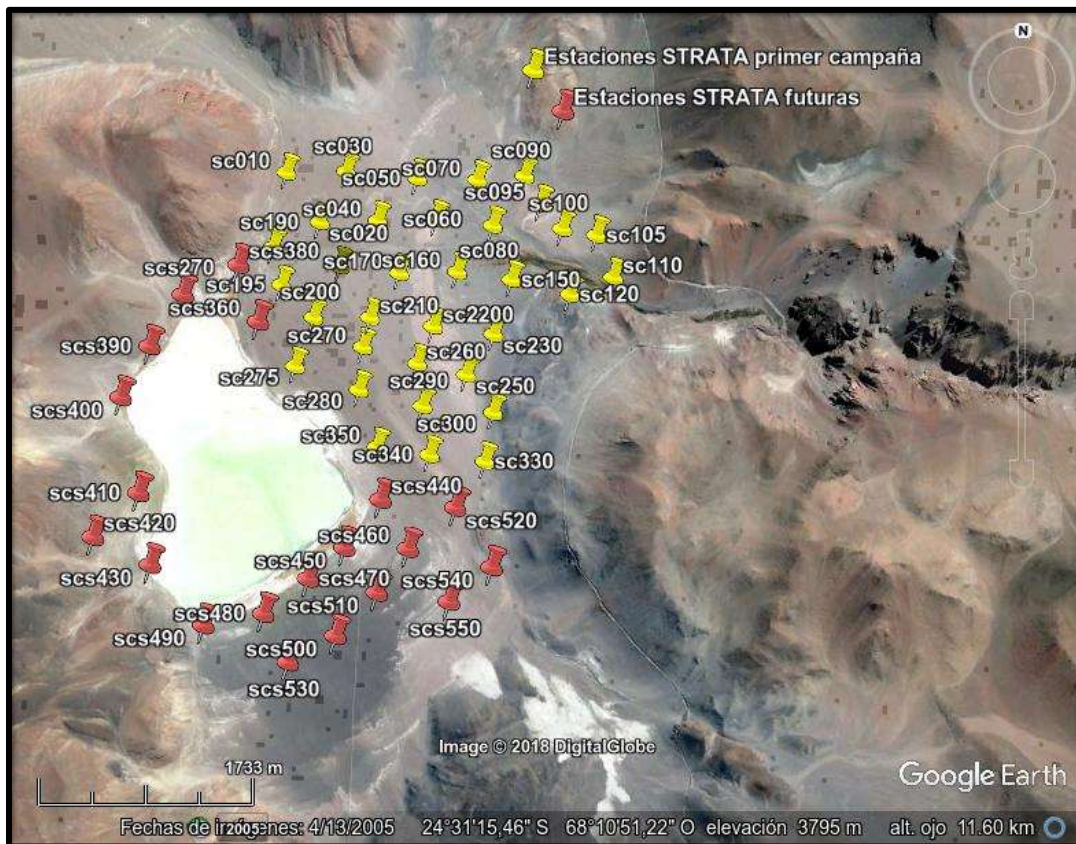


Fig. 7: Señalado en rojo la posición de nuevas estaciones AMT.

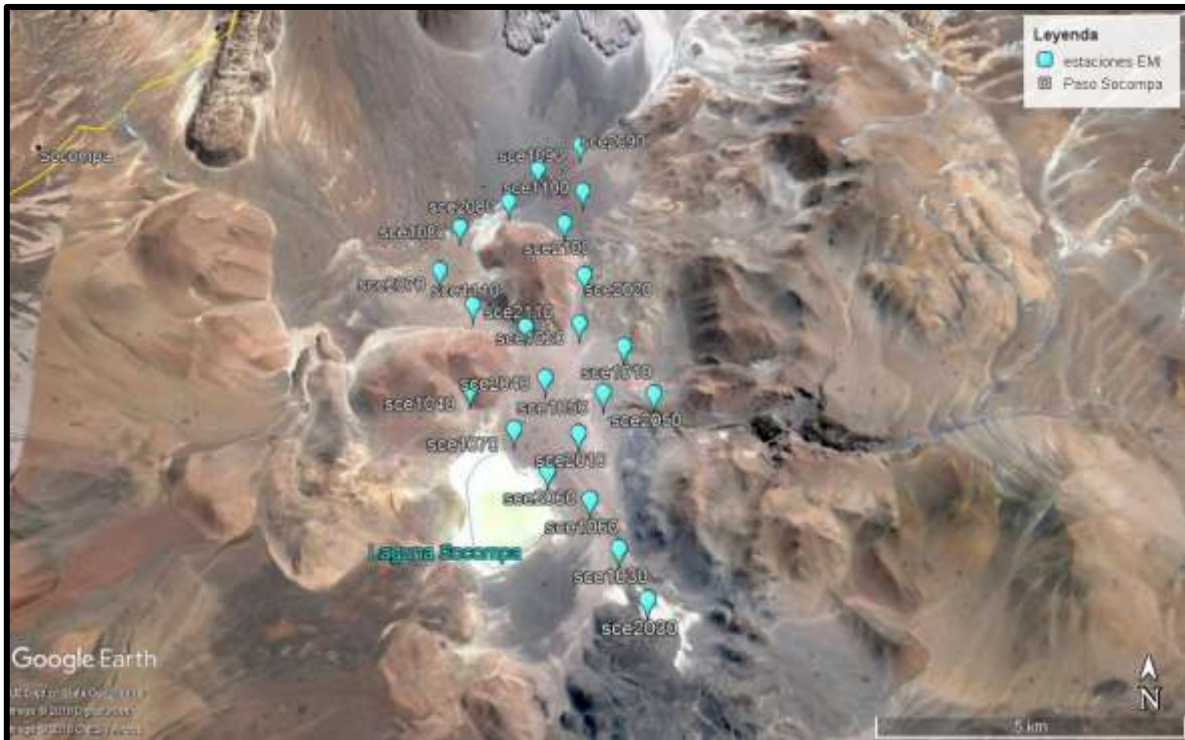


Fig. 8: Señalado en celeste, posición de las estaciones MT LF previstas Paño II.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, R. N., 2000. El terciario de la Puna en tiempos de la ingresión marina paranense. INSUGEO, Serie Correlación Geológica, 14: 163-180, Tucumán.
- COSTELLO, E.; HALLOY, S.; REED, S.; SOWELL, P.; SCHMIDT, S. 2009. Fumarole-Supported Islands of Biodiversity within a Hyperarid, High-Elevation Landscape on Socompa Volcano, Puna de Atacama, Andes. Applied and Environmental Microbiology, p.735–747.
- FARIAS, M.; RASCOVAN, N.; TONEATTI, D.; ALBARRACIN, V.; FLORES, M.; POIRE, D.; COLLAVINO, M.; AGUILA, M.; VAZQUEZ, M.; POLERECKY, L. 2013. The Discovery of Stromatolites Developing at 3570 m above Sea Level in a High-Altitude Volcanic Lake Socompa, Argentinean Andes. PLOS ONE 8(1): e53497. doi:10.1371/journal.pone.0053497.
- GALLISKI, M.; ARIAS, J.; COIRA, B. y FUERTES, A. 1987. Reconocimiento Geotérmico del Area Socompa, Provincia de Salta, Argentina, UNSA – INENCO.
- GROSSE, P.; GUZMAN, S.; PETRINOVIC, I.; .2017. Volcanes Compuestos Cenozoicos del Noroeste Argentino. Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA Relatorio del XX Congreso Geologico Argentino - Tucuman 2017.
- ZAPPETTINI, E. O. y G. BLASCO, 2001. Hoja Geológica 2569-II, Socompa. Provincia de Salta. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 260, 62 p. Buenos Aires.
- Dr. Paolo Bona, Consultor en Exploración Geotérmica, CEPAL – ONU, Misión de Enfoque Geotérmico al Volcán Socompa. Comunicación personal, 2017.