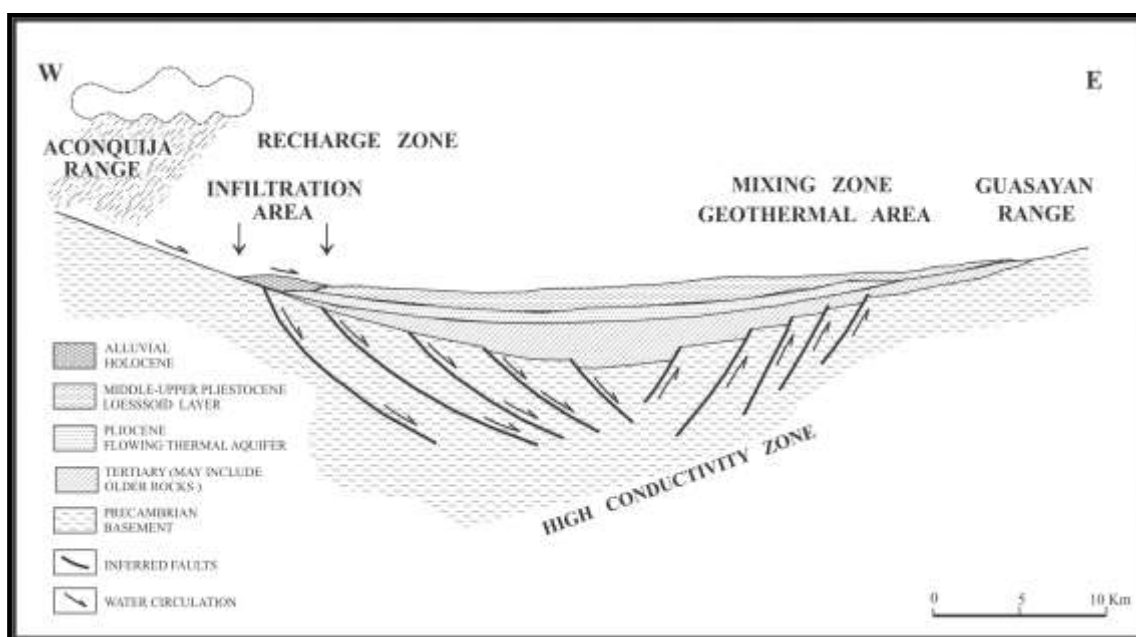


PROYECTO GEOTERMICO CUENCA V. ALBERDI – V. RIO HONDO

Prospección Geofísica AMT/MT de detalle Primera Etapa



DPTO. DE GEOTEMIA
DIRECCION DE RECURSOS GEOLOGICO MINEROS
INSTITUTO DE GEOLOGIA Y RECURSOS MINERALES

Julio 2017

RELEVAMIENTO GEOFISICO DEL SECTOR SUD ESTE DEL DISTRITO GEOTERMAL CUENCA RIO SALI – DULCE

PROVINCIA DE TUCUMAN Y SANTIAGO DEL ESTERO

PRIMERA ETAPA

RESUMEN

A los efectos de continuar los estudios pertinentes al Acuerdo Marco de Cooperación y Asistencia Técnica entre la Provincia de Santiago del Estero, la Universidad Nacional de Santiago del Estero y el SEGEMAR, se lleva a cabo un plan de trabajo ajustado a normas internacionales Best Practices avaladas por la International Geothermal Association. Para ello se está cumpliendo un programa de prospección geofísica por el método AMT (Audio Magneto Telúrico) y Magneto Telúrico (MT) con registros del campo magnético y eléctrico natural en 21 (veinte y una) estaciones de medición como acto de una primera etapa de investigación profunda.

Sobre un área predeterminada del sector Sud Este del Distrito Geotermal, comprendida entre las localidades de la Lamadrid (Tucumán), Taco Ralo (Tucumán) y Arboles Grandes (Santiago del estero) en la frontera con la provincia de Tucumán, se ha enfocado una exploración geofísica de detalle con el objeto de identificar la yacencia de unidades de importancia hidrogeológica del mencionado campo geotermal. Asimismo se espera observar anomalías geoeléctricas que se asocien a rasgos estructurales, sean fallas como fracturas, que actúen como vías de transmisión de calor mantélico a los acuíferos profundos, delimitación del reservorio de calor (*trampas estructurales*) o vías de surgencia de los acuíferos profundos termales calificadas estas como medios aptos para la fuga del sistema geotermal.

Las transectas de ubicación de las estaciones de medición fueron planificadas y concentradas en una superficie de 500 km² donde la información geológica que se dispone indica el sector de la cuenca con mayor posibilidad de convección y concentración de calor.

La calidad de las lecturas de adquisición fue buena, donde la resolución de los datos crudos fue mayoritariamente óptima y a sabiendas que la capacidad de expresión del campo eléctrico se acotó en la persistente presencia de las unidades electroconductoras termales.

El tiempo asignado a la presentación de los resultados será del orden de los 15 a 20 días, después de finalizadas las tareas de campo.

1.- Introducción

Entre los días 5 a 18 de julio del corriente año se dio comienzo al desarrollo de una primera etapa del mencionado relevamiento geofísico de detalle.

A los efectos de parametrizar sus resultados y asignar así un significado hidrogeológico a las anomalías que se detecten, se han ubicado algunas estaciones de medición AMT/MT cercanas a pozos con conocimiento de la columna estratigráfica perforada y posición de los acuíferos captados.

El estudio también intenta definir ciertos aspectos estructurales que afectan tanto al basamento de la cuenca como a su cubierta sedimentaria, como así también delinear la geomorfología profunda de la cubeta geotermal. Y por otra parte, respecto del escenario regional establecer las razones de la existencia de una sub cuenca artesiana surgente termal afectada o consecuencia de una pluma mantélica ascendente a la base de la corteza, como ha sido definido en estudios magnetotelúricos profundos (hasta 20 km) a escala regional (Febre et al., 1982).

Bajo la conducción del SEGEMAR ha participado una comisión de profesionales geofísicos pertenecientes al Instituto Nacional de Geología Isotópica (INGEIS-CONICET) en las personas de la Dra. Cristina Pomposiello como directora científica de la misión, la Lic. Liliana Guevara como operadora del equipo de adquisición de datos y la participación de ayudantes de campo especializados, provistos tanto por el INGEIS como por la Delegación SEGEMAR de La Rioja.

Para el montaje de los arreglos de medición de los sensores magnéticos y los dipolos eléctricos se han seleccionado sitios alejados de tendidos eléctricos, gasoductos, redes ferroviarias y carreteras con alto tránsito.

Por último, se deja constancia que se han repetido mediciones consecuencia de perturbaciones electromagnéticas solares constatadas por los reportes diarios del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) del U.S. Department of Commerce, particularmente en los días 14 y 15 de julio.

2.- Breve reseña geológica

Entre el sistema serrano del Aconquija y la Sierra de Guasayán se extiende la denominada llanura del Tucumán, concebida como una importante depresión estructural con una destacada acumulación de sedimentos neógenos y cuaternarios.

Para interpretar el comportamiento hidrológico e hidrogeológico profundo se considera entonces a las Sierras de Aconquija como el accidente orogénico occidental que permite la recarga de las aguas meteóricas que alimentan a la cuenca y con un sentido de escurrimiento predominante hacia el oriente. La existencia de un resalto estructural sepultado conocido como la dorsal Alto de la Mujer Muerta y sus fallas directas terciarias colindantes de rumbos NE-SO, se constituyen en elementos de contención de la migración de las aguas de las unidades acuíferas. Se agrega que en la margen este de la gran cuenca, se particulariza la conocida depresión de Río Hondo, ubicada en la provincia de Santiago del Estero y fronteriza con la provincia de Tucumán, donde se radica la hipótesis de un fallamiento profundo que sería el responsable de la fluencia o fuga del sistema geotermal a través de las conocidas Termas de Río Hondo. Y en general, el límite oriental del sistema de cuenca artesiana lo representa la Sierra de Guasayán como un suave alto topográfico que contribuye subordinadamente a su recarga.

La litoestratigrafía de interés que conforma la cuenca y que se toma como base para interpretar los resultados geofísicos que se obtengan, se resume en:

- Un basamento de cuenca dislocado en bloques por fallas normales constituido por metamorfitas ígneas con filitas cuarzosas bandeadas, migmatitas, micacitas y gneiss de Precámbrico – Paleozoico Inferior. (Hoja Geológica 2766-IV, Concepción, SEGEMAR, 2003.)
- Apoyadas en discordancia sedimentitas del Mioceno Superior representadas por la Fm. Guasayán que muestra secuencias de arcilitas verdes, en parte amarillentas y castaño rojizas, que incluyen nódulos y niveles de yeso como evidencia de su origen por

ingresión marina. Esta formación es portadora de un acuífero salado y se halla el techo de la formación a profundidades entre los 700 m a 2.500 metros (Pomposiello et al 2002).

- Suprayacen, también en discordancia, el Plioceno Medio representado en la Fm. Las Cañas conformada por conglomerados, arenas cuarzosas, limonitas arcillosas de origen fluvial y cineritas volcánicas. Esta formación de 350 m a 700 m de espesor aloja al Complejo Termal Surgente.
- Y finalmente la expresión del Pleistoceno con la Fm. Concepción integrada por conglomerados, areniscas, limolitas y arcillas loessoides con espesores de 200 m a 400 m con alojamiento de acuíferos.

La distribución de los acuíferos es prácticamente omnipresente y las direcciones preferenciales de circulación es oeste-este y sudoeste-noreste, Galindo et al. 2000000

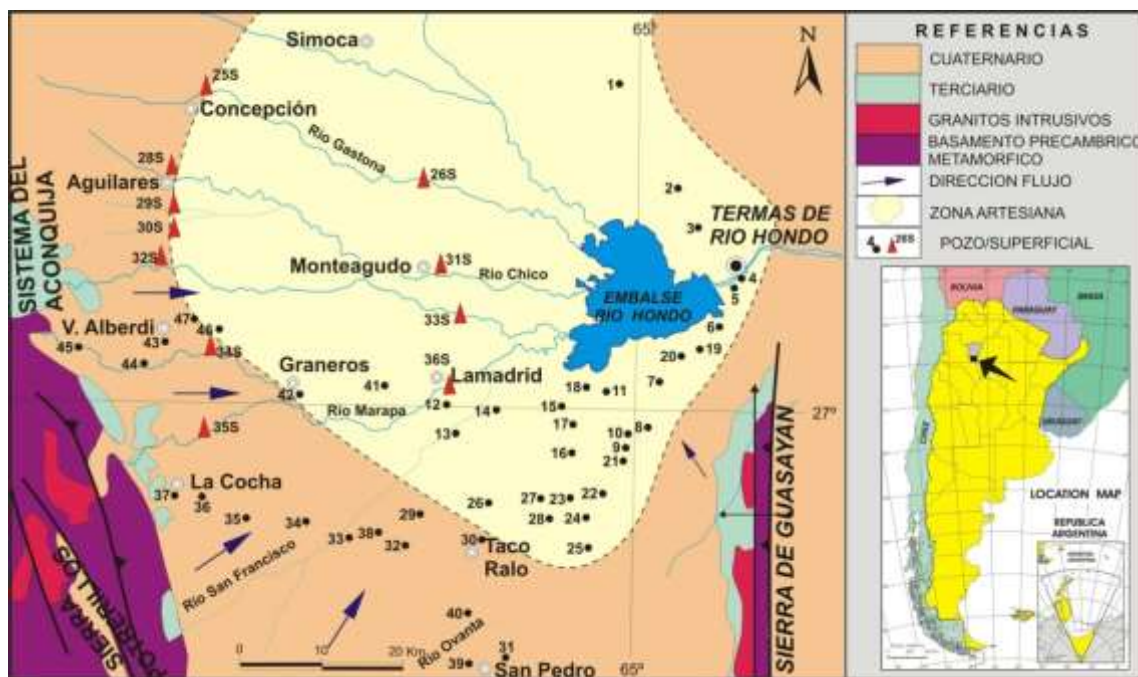


Fig. 1: Mapa geológico esquemático.

3.- Antecedentes geofísicos

Se ilustran los mapas de resultado de trabajos geofísicos anteriores y que han sido útiles para orientar el enfoque de estos estudios.

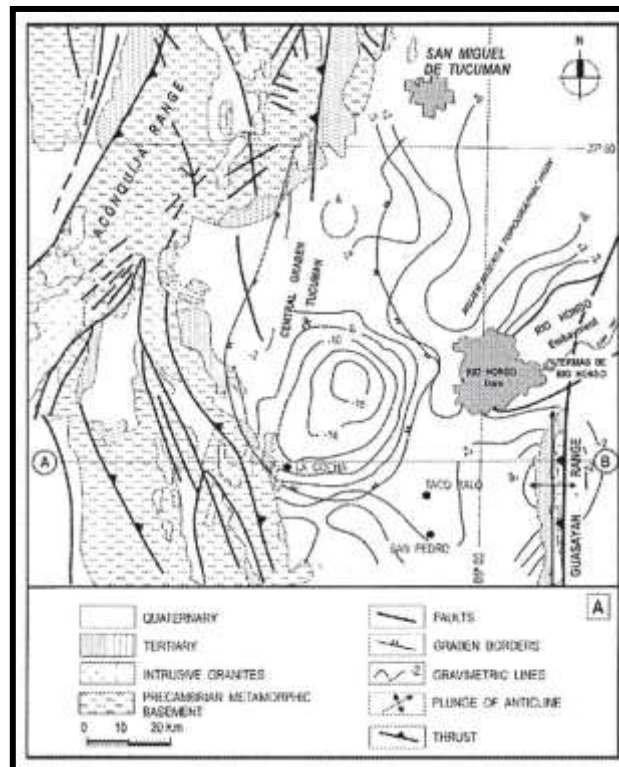


Fig. 2: Mapa gravimétrico de anomalía residual. Evidente ilustración sobre la geomorfología profunda de la cubeta sedimentaria.

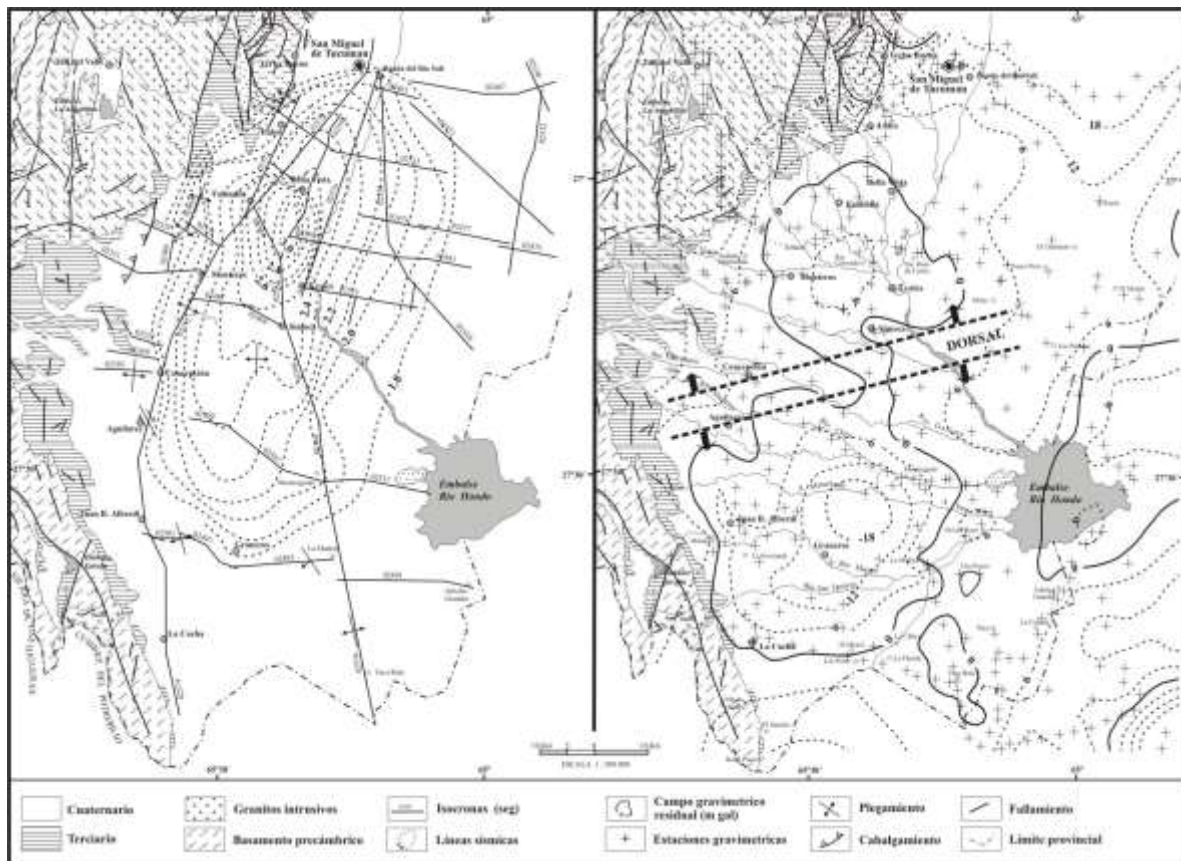


Fig. 3: Líneas sísmicas, isócronas y campo gravimétrico (residual) que brindaron pautas de la morfología profunda de la cuenca.

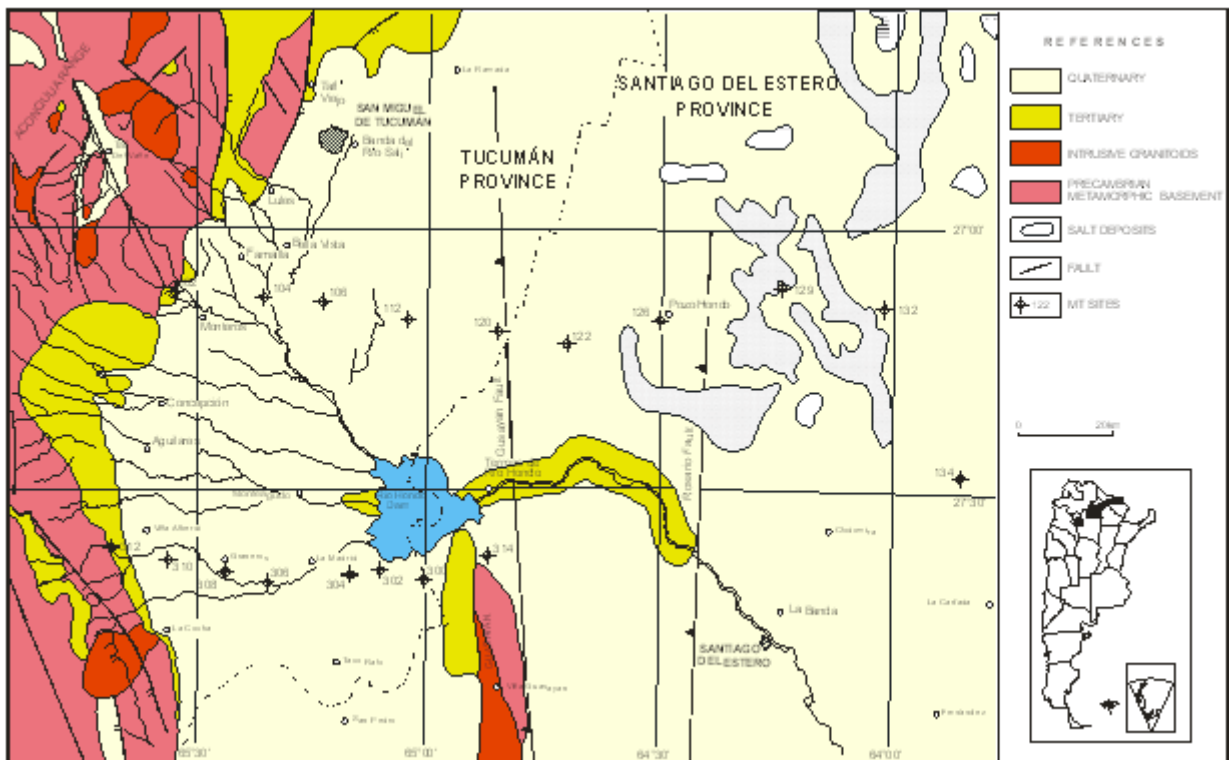


Fig. 4: Ubicación de las estaciones MT medidas en 1998. La serie de estaciones ubicadas en la transecta norte se denominó Línea 100 y la cuasi paralela al sur, Línea 300.

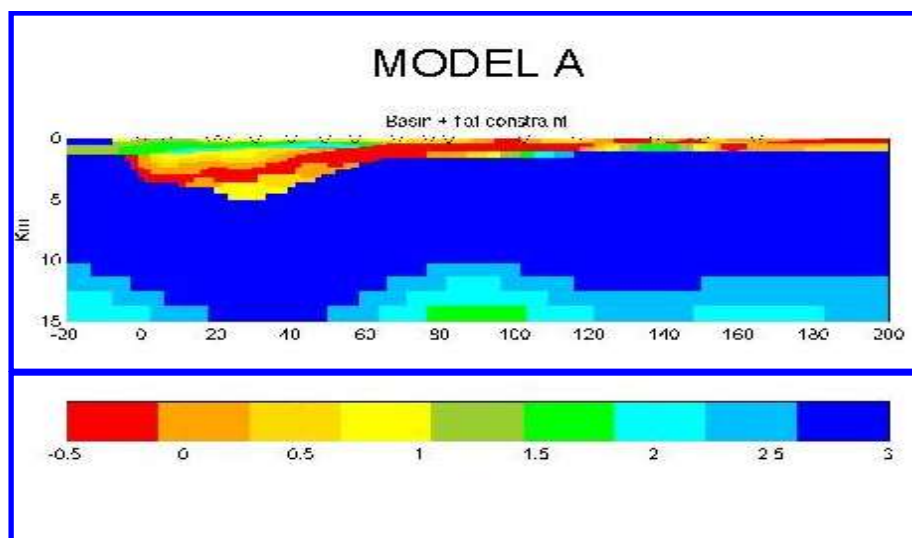


Fig. 5: Pseudosección desarrollada a partir de los resultados de las estaciones MT de la Línea 100. Se aprecia el perfil profundo de la cuenca y un alto conductivo asociado al acuífero termal. La escala de colores es la resistividad en ohms/m.

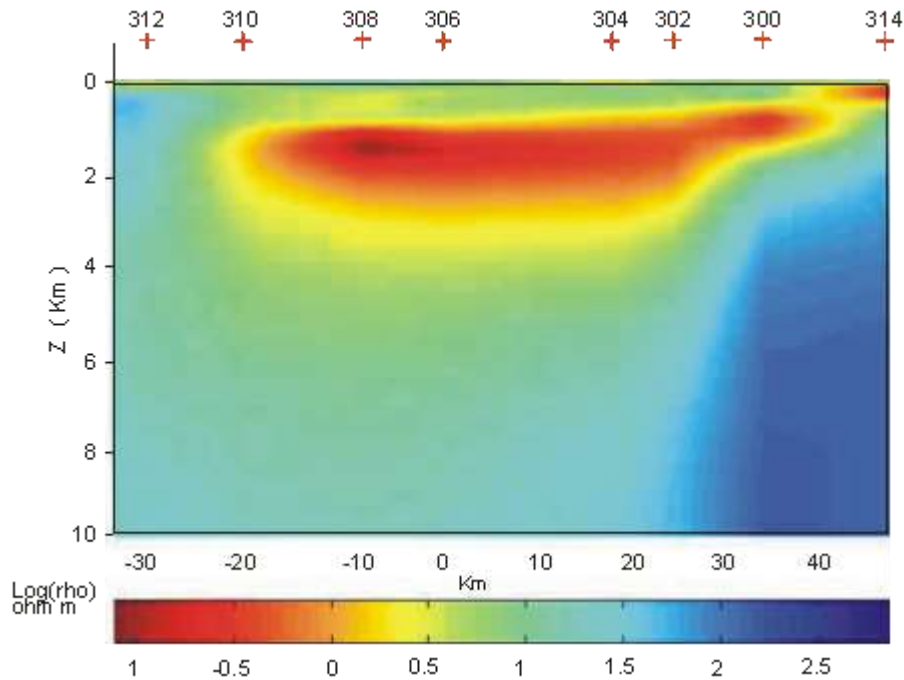


Fig. 6: Pseudosección mostrando los resultados geoelectricos de la Línea 300 donde el alto conductivo se asociaría al acuífero termal.

4.- Instrumental

Se empleó un equipo MT (Magneto Telúrico) portátil marca Geometrics modelo Stratagem EH4-II, año 2009, origen USA, que permitió prospectar el subsuelo desde unos pocos metros hasta profundidades del orden del kilómetro.

Este equipo tiene la capacidad de medir la señal natural del subsuelo, pero también cuenta con una antena emisora para obtener señales continuas del mismo, mejorando así la medición de los datos en la banda de alta frecuencia (datos más superficiales). Esta antena es generalmente usada cuando existen en la zona de estudio niveles de ruido electromagnético que afectan la medición.

Este equipo está diseñado para la adquisición de la impedancia de la Tierra mediante la lectura simultánea de las fluctuaciones del campo eléctrico y magnético local. Estas mediciones insumen generalmente unos minutos, dependiendo por supuesto de la cantidad de series de tiempos por banda y la banda de frecuencia que se desea observar.

El display del logger permite visualizar la ubicación de los puntos medidos, las series de tiempo y las curvas de campo magnético y eléctrico vs frecuencia en ambos ejes, con su amplitud, coherencia, fase y barras de error. También puede visualizar la inversión 1D y 2D, ubicación de la antena, etc. El equipo viene configurado para captar datos en el rango de las frecuencia de 10kHz a 11.7 Hz, que es el rango que capturan sus sensores de fábrica. No obstante se han realizado lecturas en el rango de 1 kHz a 0.1 Hz, aplicando sensores de mayor período con barras de campo Hx y Hy de mayor tamaño y arreglos de dipolos especiales impolarizables como los que se han empleado en esta campaña y se ilustran en las fotos a continuación.



Foto 1: Logger de medición Stratagem con una batería de alimentación de 12 volts.

4.1.- Arreglo de medición en campo AMT (Audio Magneto Telúrico)

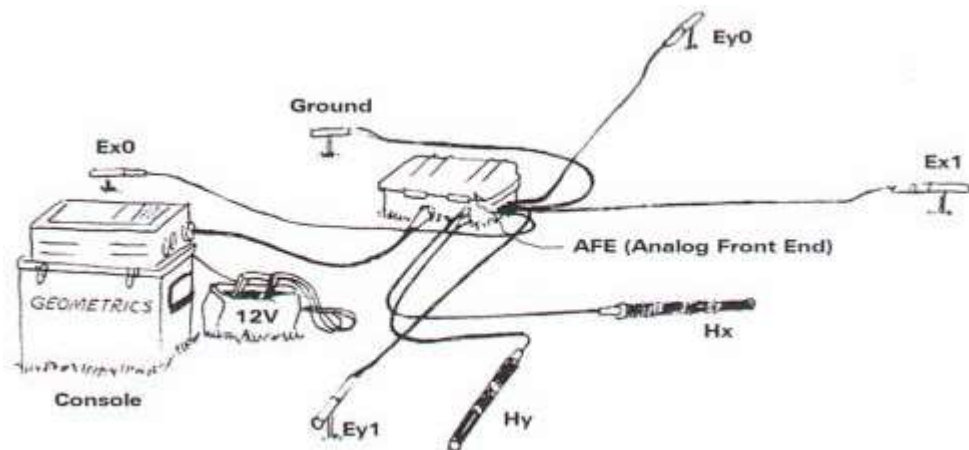


Fig. 7: Arreglo de medición para el sistema AMT (Audio Magneto Telúrico).

4.2.- Arreglo de medición para mediciones de baja frecuencia MT



Foto 2: Nudo de conexión de los 2 sensores magnéticos (barras Hx y Hy) con orientación N-S y E-W, y los 4 dipolos (Ex e Ey) con orientación N-S y E-W.



Foto 3: Imagen de un electrodo impolarizable correspondiente al arreglo de registros para bajas frecuencias MT.



Foto 4: Imagen de las barras de lectura del campo magnético de bajas frecuencias. La barra izquierda está señalizada para ubicarse en sentido E-W y la barra de la derecha para una ubicación en sentido N-S.

5.- Características del registro

Se midieron 21 (veinte y una) estaciones en las siguientes bandas de frecuencia:

- Alta frecuencia: 2 bandas de 10 Hz a 1000 Hz y 750 Hz a 92.000 Hz, bajo el método y arreglo AMT.
- Bajas frecuencias: 2 bandas de 50 Hz a 1000 Hz y 0.10 Hz a 100 Hz, bajo el método y arreglo MT.
- Para cada estación se hicieron dos (2) series de registro por banda, siendo el promedio de ocho (8) mediciones.

En cada estación se registraron 2 (dos) series de datos por banda, siendo el promedio de 8 (ocho) mediciones.

El tiempo de colección por banda fue de aproximadamente 10 minutos.

Se repitieron aquellos registros que presentaban ruido a los efectos de asegurar la calidad de los datos.

El software que se aplicó fue el IMAGEN, desarrollado por Geometrics de Silicon Valley, San José, California, USA., que procesa series de tiempo, aplica FFT, obtiene inversión, como también puede configurar las mediciones de campo, filtros de tensión urbana, ganancias, límites de coherencias, intervalos de resistividad, profundidad de investigación e intervalos de frecuencias.

Sector de interés - Grilla cada 5000 m

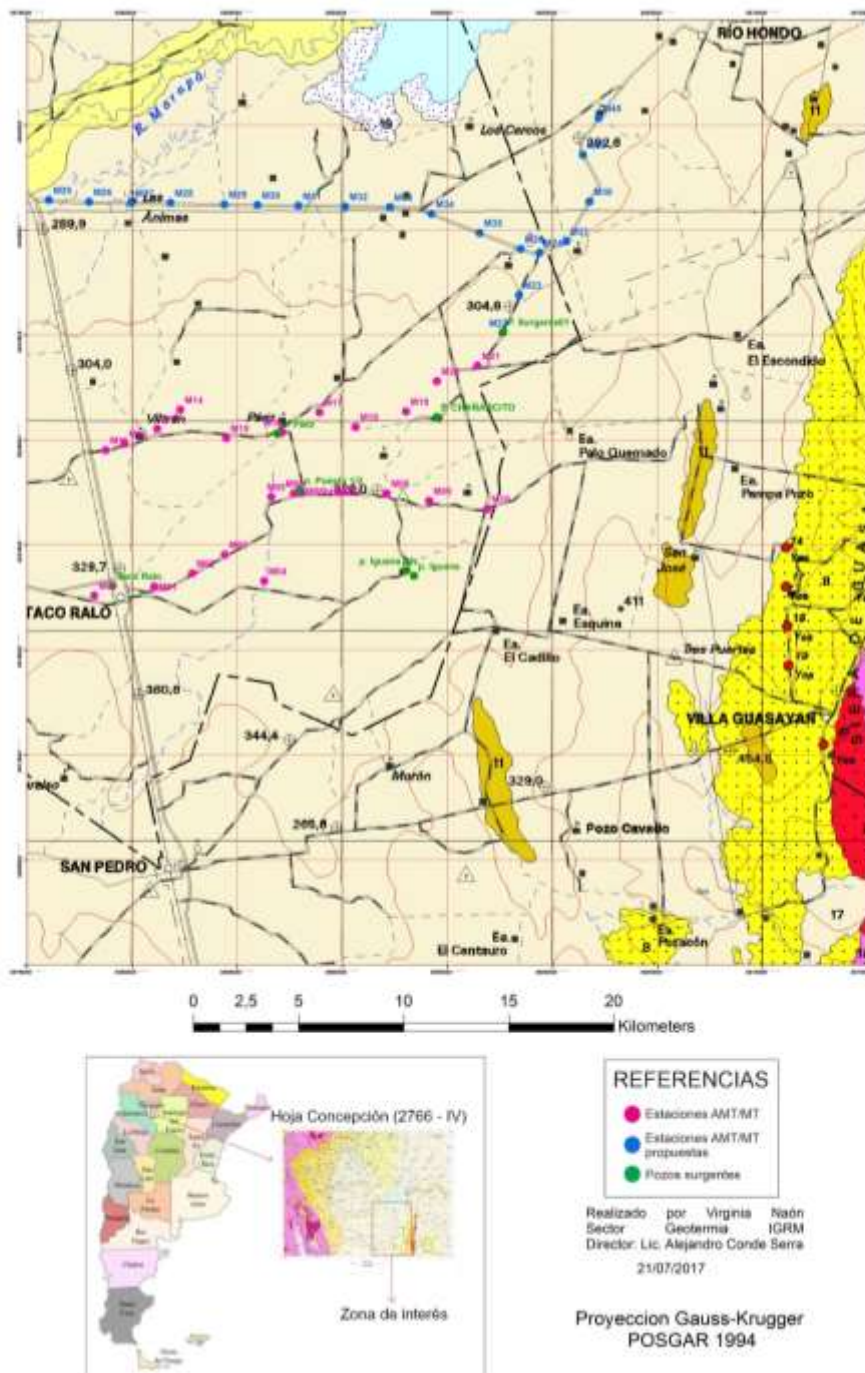


Fig. 8: Plano con las estaciones MT

6.- Procesamiento

La inversión de los datos, la selección de los registros y curvas x es una tarea que está llevando a cabo en gabinete la Dra. Alicia Favetto especialista en el manejo del software WinGLink de Schlumberger de USA. Participa también en gabinete la Dra. Cristina Pomposiello a fin de orientar el significado de los resultados desde el punto de vista geofísico.

7.- Resultados esperados

Obtención de pseudosecciones 2D y modelos 3D de las anomalías electromagnéticas sean someras como profundas (800 – 1000 m?) que se asocien al acuífero plioceno y su acuícludo, que quizás este último se presente como una anomalía conductiva que habrá que discriminar mediante el reproceso de las resistividades aparentes. Asimismo los modelos 2D presentarán discontinuidades relacionadas a rasgos estructurales como fallas y bloques ascendidos del basamento.

8.- Comentarios sobre los próximos estudios

Está prevista para el mes de septiembre una segunda etapa de relevamiento geofísico aplicando las técnicas de AMT/MT.

El área a relevar se señala en el mapa a continuación:

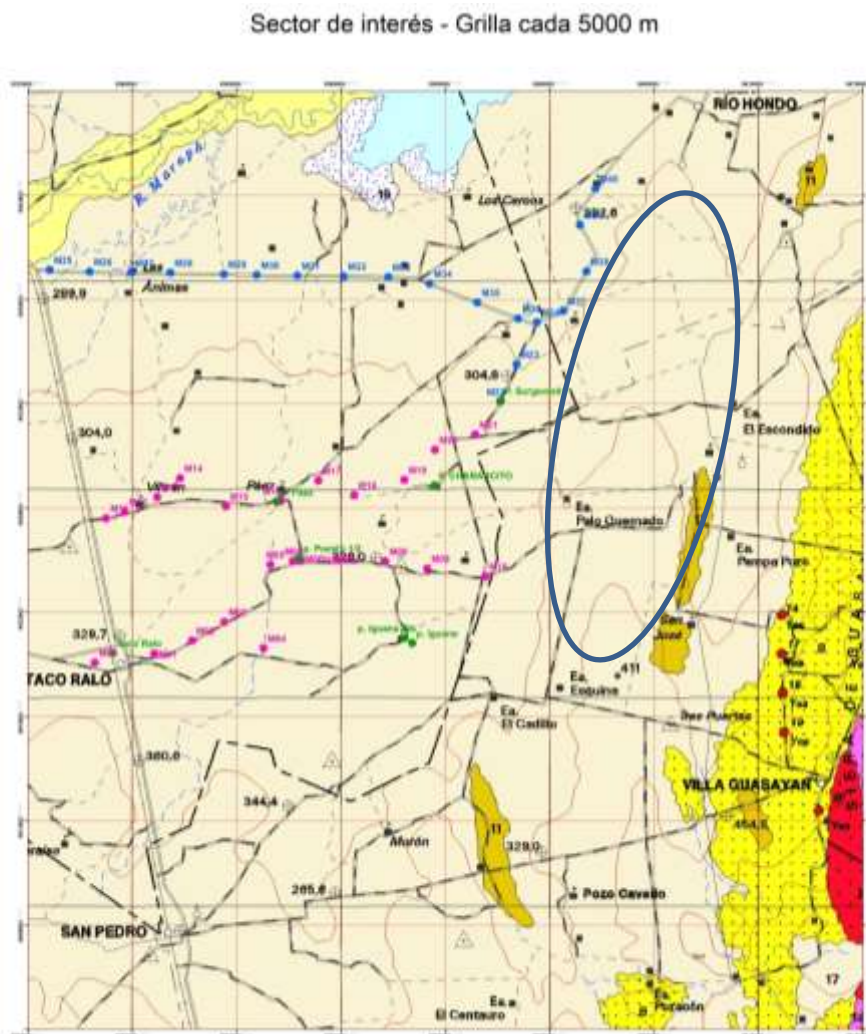


Fig. 10: Se señala el área a cubrir con mediciones geofísicas AMT/MT con el objeto de completar el Modelo Geofísico.

Se buscará completar el conocimiento geofísico de la sub cuenca de manera tal de elaborar un Modelo 3D útil como herramienta de interpretación geológica y geotérmica parte de los geólogos estructuralistas e hidrogeólogos abocados a interpretar el marco de control de la dinámica hidrológica profunda.

Por otra parte está previsto una distribución discreta de estaciones MT para lecturas de baja a ultrabaja frecuencia con capacidad de adquisición de información hasta los 15 km de profundidad con el objeto de definir el área de la Cuenca J. B. Alberdi – Termas de Río Hondo donde la anomalía conductiva de fondo, asociada a fluencia ascendente de calor mantélico, sea más cercana al basamento. Esto permitirá entonces un mejor enfoque de la exploración geotérmica y ayudará a explicar los modelos hidrogeológicos, geoquímicos-geotermométricos y la confección de un Modelo Preliminar Conceptual Geotérmico.

En todo lo concerniente a desarrollar de manera efectiva los estudios geoquímicos, aquellos que definirán la hidroquímica del sistema y la geotermometría de los acuíferos profundos, se está elaborando un inventario discriminado de los pozos perforados en la sub cuenca, desde Tucumán hasta Santiago del Estero. Se tratará de hacer una selección de aquellos pozos con

captación exclusiva de cada acuífero, de manera tal de eludir en la interpretación de los análisis químicos la problemática de mezclas de aguas.

Con tal inventario y su posicionamiento en terreno se podrá desarrollar el muestreo geoquímico de las aguas de cada acuífero, sus gases disueltos, conductividad, PH, temperatura en superficie, muestras específicas para análisis isotópicos, todo ello para conocer en definitiva la "firma" química de cada acuífero. Y así en adelante poder confeccionar un Modelo Geoquímicos de las aguas termales y las temperaturas de sus reservorios.

En esta etapa de avance del proyecto también está previsto un muestreo de roca para estudios petrofísicos de la litología imperante en la cuenca. Se tomarán muestras específicas para cada unidad geológica que contengan los distintos acuíferos. Si bien serán datos aparentes, desprovistos de las condiciones físicas extremas existentes en profundidad (presión litoestática de la cuenca para cada unidad), no dejan de suministrar información orientativa de los comportamientos hídricos y químicos de las aguas y otros fluidos geotermales en profundidad, útiles para el Modelo Conceptual Geotérmico Preliminar.

9.- Enfoques de la exploración

Como ya se ha mencionado las anomalías de resistividad que estos métodos magnetotelúricos prospectan son aquellas que se asociarían a la presencia de acuíferos donde hay, por ejemplo, electrolitos disueltos y/o aguas calientes químicamente activas. Y por otra parte, las respuestas geoelectricas de aquellos acuíferos profundos que presenten un alto contraste de conductividad frente a rocas hospedante fracturadas o masivas resistivas.

Por otra parte, la lectura de las bajas frecuencias intentará definir anomalías geoeléctricas que en sus contrastes y gradientes de conductividad y resistividad, dibujen el perfil morfológico del basamento y sus disloques consecuencia del fallamiento en bloques.

Se reitera lo expresado anteriormente, el relevamiento MT previsto para septiembre también hará lecturas en bandas de muy baja frecuencia a fin de enriquecer con sus resultados aquel modelo realizado en el pasado, todo ello enfocado a definir con pseudosecciones 2D y 3D los sectores de la cuenca más cercanos en profundidad al alto conductivo de fondo asociado al ascenso de calor matélico.

En resumen, el enfoque y resultado final esperado de esta técnica de exploración, como de los demás estudios sean los geoquímicos y el modelado de la cinética hídrica e hidrogeológica, será definir el área de la cuenca más favorable para acceder a la mayor concentración de calor y con la mayor temperatura. Se entiende que este sector de la cuenca será el más afectado a la transferencia de calor de fluidos que circulen por fracturas o fallas profundas del basamento y por encima de la conducción calórica mantélica de la base de la corteza. Por ende la convección del calor por los acuíferos profundos se manifiesta por la fluencia-surgencia termal en los manaderos naturales y en aquellos captados por las perforaciones a profundidades someras.

Desde un punto de vista del aprovechamiento geotérmico más óptimo, las consignas de la exploración deberán ser:

- Identificar el acuífero más potente en volumen, portador de la mayor cantidad de calor y temperaturas del sistema.
- Su posición más profunda en el paquete sedimentario de la cuenca, donde el gradiente geotérmico natural sea también un valor agregado.

- Que como ya se ha dicho, tal acuífero tenga como acuifugo o acuicludo de fondo una roca con porosidad y hasta permeabilidad secundaria en contacto a las estructuras abiertas del sector del basamento con mayor concentración de calor.
- Y muy importante que tenga un cierto nivel de confinamiento estructural que geopresurize el sistema geotermal.

Identificado así el recurso que responda a estas consignas, se constituirá en un blanco de interés para elaborar un programa de perforaciones profundas de exploración.

Bibliografía

Febrer, J., Baldis, B., Gasco., Mamani, M., Pomposiello, C., y Fournier, M.; 1982. La Anomalía Geotérmica Calchaquí en el Noroeste Argentino: Un Nuevo Proceso geodinámico asociado a la subducción de la placa de Nazca. Acta Quinto Congreso Latinoamericano de Geología, T. III, Buenos Aires.

Miró, R.; 2008. Los Acuíferos Termales de la Región de Rñio Hondo, Provincia de Santiago del Estero y Tucumán, Argentina; su potencial geotérmico. SEGEMAR Córdoba.

Pomposiello, M. C., Galindo, G. y Sainato, C.2000. Modelo Geotérmico y Evaluación del Recurso en la Llanura Tucumana- Santiagueña. IN: XX reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas CD-ROM. 175-179.

Pomposiello, M. C., Favetto, A., Sainato, C., Booker, J. and Shanghui, Li., 2002. Imaging the sedimentary basin of the Tucuman Plain in the Northern Pampean Range Argentina. Journal of Applied Geophysics 49, 47-58.

Tineo, A., Ponti, N. y Ruiz, A., 2007. Identificación de fuentes de agua subterránea en el sudoeste de la provincia de Tucumán. V Congreso Argentino de Hidrogeología, Paraná, Entre Ríos.