

TALLER DE GEOFISICA APLICADA A LA HIDROGEOLOGIA



Grupo Argentino
Asociación Internacional
de Hidrogeología

Compiladores:
DORA CECILIA SOSA
JERONIMO AINCIL



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE ENTRE RIOS

Taller de Geofísica Aplicada a la Hidrogeología

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Compiladores
Jerónimo Ainchil
Dora Cecilia Sosa

Taller de geofísica aplicada a la hidrogeología / compilado por Dora Cecilia Sosa y Jerónimo Ainchil. - 1a ed. - Buenos Aires : Asociación Civil Grupo Argentino de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos - AIH, 2007.

108 p. : il. ; 26x19 cm.

ISBN 978-987-23936-0-1

1. Geofísica. 2. Hidrogeología. 3. Educación Superior. I. Sosa, Dora Cecilia comp. II. Ainchil, Jerónimo, comp.

CDD 551

Fecha de catalogación: 27/09/2007



**Grupo Argentino
Asociación Internacional
de Hidrogeología**

Primera Edición – Octubre 2007

Tirada: 500 ejemplares

Fecha de aparición: 01/10/2007

ISBN: 978-987-23936-0-1

Diseño y Diagramación: Impresos S.A.

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723

Impreso en Argentina – Printed in Argentina

Queda prohibida la reproducción total o parcial del texto de la presente obra en cualquiera de sus formas, electrónica o mecánica, sin el consentimiento previo y escrito del/los autores y/o del/los editores.

PRÓLOGO

La geofísica aplicada a la hidrogeología constituye un conjunto de métodos y técnicas que permiten conocer las propiedades físicas del subsuelo constituyéndose en una herramienta esencial para los estudios donde se quiera conocer las características del medio.

Actualmente, esta siendo cada vez mas utilizada en los estudios de aguas subterráneas por la valiosa información que aporta si es integrada adecuadamente al resto de los estudios hidrogeológicos.

La necesidad de Gestionar las aguas subterráneas, para lograr la eficiencia en el uso del recurso, requiere disponer de un conocimiento preciso de la geometría, parámetros hidrogeológicos y calidad del agua contenida y es tal motivo que nos lleva a valorizar las técnicas geofísicas. A medida que los estudios demandan un mayor conocimiento del medio, se hace necesario contar con profesionales geofísicos con conocimiento de las aguas subterráneas de modo que puedan integrarse a grupos de trabajo para realizar una adecuada interpretación de los resultados.

En nuestro país, ya a mediados de los años 60 principio de los 70, se la utilizaba como herramienta en estudios regionales, un antecedente importante sobre la aplicación de las técnicas geofísica en estudios regionales de aguas subterráneas es el trabajo realizado por el Convenio Argentino Alemán de Aguas Subterráneas que trabajó sobre una faja comprendida entre el Valle del Conlara hasta casi el Río Paraná. Pero es luego en la década de los 80 cuando estos método empiezan a formar parte de los estudios convencionales sobre todo los métodos geoelectricos por corriente continua y la testificación de pozos dentro de los sondeos mecánicos. En Argentina, como en gran parte de los países de habla hispana, el método de prospección de superficie más utilizado es sin lugar a dudas el geoelectrico por corriente continua dado la simplicidad del trabajo y el bajo costo de su aplicación. Por tal motivo el parámetro más característico en la prospección hidrogeológica ha sido y sigue siendo la resistividad de las rocas, por tal motivo, la tecnología de superficie mas empleada es la del Sondeo Eléctrico Vertical SEV.

En los Sondeos mecánicos, las técnicas de testificación o perfilaje están siendo cada vez mas utilizadas por los que quieren lograr el mejor rendimiento de las perforaciones.

Actualmente, la contribución de nuevas técnicas geofísicas tanto en superficie como en sondeos mecánicos aportan datos para la resolución de otros problemas con que el hidrogeólogo se enfrenta como son la caracterización de la contaminación y su evolución en el tiempo, la determinación de focos de contaminación y el control de obras de captación tanto en su fase constructiva como en la operación.

Esta publicación reúne el conjunto de trabajos presentados y discutidos en el taller «Geofísica aplicada a la hidrogeología», en el primer taller realizado sobre el tema, dentro del V Congreso Argentino de Hidrogeología.

Dora C. Sosa



V CONGRESO ARGENTINO
DE HIDROGEOLOGÍA

Organizan



Grupo Argentino
Asociación Internacional
de Hidrogeología



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE ENTRE RÍOS

Auspician



Ciencias de la Tierra para la sociedad



DIRECCION DE HIDRAULICA
ENTRE RÍOS



AGENCIA
NACIONAL DE PROMOCIÓN
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Instituto Nacional del Agua



SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS



CONICET

FICH

UNL



V CONGRESO ARGENTINO
DE HIDROGEOLOGÍA

Comisión Organizadora Local

PRESIDENTE

Eduardo Luis Díaz (UNER)

SECRETARIO

Oscar Duarte (UNER –DH Entre Ríos)

TESORERO

Dora Sosa (INA)

VOCALES

Eduardo Pujato (Dirección de Hidráulica de Entre Ríos)

Jorge Tomás (Dirección de Minería Entre Ríos)

María Santi (Dirección de Hidráulica de Entre Ríos)

Marta Paris (UNL)

Mónica D'Elía (UNL)

Ricardo Valenti (UNER)

REVISOR DE CUENTAS

Oscar Dalla Costa (PROINSA)

Comisión Directiva Grupo Argentino – AIH

PRESIDENTE

Ofelia C. Tujchneider (CONICET, Univ. Nacional del Litoral)

VICE-PRESIDENTE

Mónica Blarasín (Univ. Nacional de Río Cuarto)

SECRETARIO

Marcela Pérez (Univ. Nacional del Litoral)

TESORERO

Daniel Martínez (Univ. Nacional de Mar del Plata)

VOCALES

Guillermo Baudino (Univ. Nacional de Salta)

Norberto Bucich (Instituto Nacional del Agua)

Eduardo Kruse (Univ. Nacional de La Plata)

(Past-President) Daniel Martínez (Univ. Nacional de Mar del Plata)



V CONGRESO ARGENTINO
DE HIDROGEOLOGÍA

Los artículos incluidos en la presente acta han sido evaluados por el comité científico. Ha sido responsabilidad de los autores realizar las correcciones según las sugerencias de los evaluadores, los editores no asumen responsabilidad alguna por eventuales errores gramaticales u ortográficos (incluido el abstract), por la calidad y tamaño de los gráficos e imágenes, ni por los contenidos de los trabajos incluidos en esta publicación. Las contribuciones se publicaron tal como fueron enviadas en soporte informático con leves adaptaciones de su formato con la finalidad de conferirles uniformidad con el resto, en un todo de acuerdo con las normas de edición previamente establecidas.

Comité Científico

Leticia Rodríguez

Adrián Silva Busso

Dora Sosa

Ofelia Tujchneider

Daniel Martínez

Héctor Panarello

Jerónimo Ainchil

Eduardo Díaz

Norberto Ponti

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ENTRE RÍOS

Rector

Cr. Eduardo Francisco José Asueta

Vicerectora

Lic. Eloísa De Jong

SECRETARÍAS DE RECTORADO

Secretaría Académica

Secretaria: Lic. Susana Esther Celman

Subsecretaria de Asuntos Académicos

Subsecretaria: Prof. María Margarita Hraste

Secretaría de Inv. Científicas, Tecnológicas y de Formación de Rec.umanos

Secretaria: Ing. SCHVAB, María del Carmen.

Secretaría de Extensión Universitaria y Cultura

Secretario: Ingeniero Agrónomo Diego Eduardo SAINTE MARIE

Secretaría General

Secretario: Cr. Hipolito B. Fink

Secretaría Económica Financiera

Secretario: Cr. Hugo Rómulo Larrazábal

SECRETARÍA DE ASUNTOS ESTUDIANTILES Y DE LOS GRADUADOS

Coordinador a cargo de la Secretaría:

Contador Guillermo Victorio

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Decano

Ing. Agr. Gabriel Villanova

Vicedecano

Ing. Agr. Liliana Zimmermann

Secretario Académico

Ing. Felicia Dora Zuriaga

Secretario General

Lic. Ricardo Antonio Valenti

Secretario de Ciencia y Técnica

Ing. Agr. Víctor Hugo Lallana

Secretario de Extensión

Ing. Agr. Betina Tonelli

Director del Campo Experimental

Ing Agr. Rafael Sabattini

RESUMEN DE CONTENIDOS

Aporte al conocimiento del subsuelo de la cuenca del Arroyo Claromecó, Provincia de Buenos Aires. Weinzettel, P. y Vani, M.	13
Tratamiento de los datos de testificaciones geofísicas en sondeos. Aplicación a sondeos profundos. Díaz, E.; Dalla Costa, O. y Aceñolaza, B.	25
El aporte de las testificaciones geofísicas en sondeos en el esquema hidrogeológico del campo de bombeo de Esperanza. Provincia de Santa Fe. Dalla Cosa, O.; Díaz, E. y Aceñolaza, B.	35
Profundidad de investigación en los sondeos geoelectricos realizados en sitios potencialmente contaminados de tambos. Losinno, B. y Sainato, C.	43
Geofísica aplicada a la hidrogeología en la provincia de Tucumán. Tineo, A. y Ponti, N.	49
Cartografía de un paleo río colmatado mediante la combinación de sondeos eléctricos verticales y calcatas eléctricas. Blanca Pozo Santiago del Estero. Castellano, J.	61
Geoelectrica en paleocauces del río Salado en Pampa de los Guanacos y Coronel Rico en Santiago del Estero. Sosa, D.; Coriale, O. y Genesisio, M.	71
Interpretación de perfilajes de pozos en la estimación de las características hidrogeológicas (análisis preliminar). Ainchil, J.; Kruse, E.; Calahorra Fuentes, P. y Ruiz, S.	85
Empleo de técnicas geofísicas en la caracterización de la cuenca endorreica de Fuente de Piedra, Málaga (España). Heredia, J.; G. de Domingo, A.; Ruiz, J. M.; Rubio, F. M. e Ibarra, P.	95

APORTE AL CONOCIMIENTO DEL SUBSUELO DE LA CUENCA DEL ARROYO CLAROMECÓ, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Weinzettel, Pablo y Varni, Marcelo

Instituto de Hidrología de Llanuras (UNCPBA, CIC, Mun. Azul)

República de Italia 780, 7300 Azul, Tel./Fax 02281-432666,

paw@faa.unicen.edu.ar ; varni@faa.unicen.edu.ar

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos en base a exploración geoelectrica en la cuenca del arroyo Claromecó (Provincia de Buenos Aires). En este trabajo se ha podido definir la profundidad del basamento hidrogeológico conformado por rocas paleozoicas y se ha intentado esbozar en base a las resistividades obtenidas el espesor de las formaciones de Sedimentos Pampeanos y del Terciario marino, Formación Paraná.

Como metodología de trabajo se recopiló información antecedente proveniente de algunos antiguos perfiles de pozos profundos, y de otros más actuales realizados por compañías petroleras. Como método de exploración se efectuó una campaña geofísica con la realización de sesenta sondeos eléctricos verticales, separados entre sí unos diez kilómetros aproximadamente. Los sondeos fueron procesados con programas específicos que permitieron la obtención de un modelo geoelectrico, con el cual se interpretó la geología del subsuelo junto con la salinidad del agua presente en las distintas formaciones.

Se observa una profundización del basamento hacia el sur llegando a detectarse a profundidades mayores a 900 metros desde superficie en la zona costera.

Palabras claves: geoelectrica, Tres Arroyos, cuenca de Claromecó

ABSTRACT

Vertical electrical soundings (VES) were carried out in Claromecó basin (Buenos Aires province). It was possible to define the hydrological basement depth (Paleozoic rocks), and an attempt was made to define the thickness to the Pampean Sediments and the marine Tertiary on the basis of sediment's resistivity.

The methodology was to compile information about old deep wells and other new wells used for petroleum exploration. Sixty VES were made in the basin, separated ten kilometers apart. The VES data were processed with specific software to come up with a resistivity model for assessing the geology and the aquifer water present in different formations.

The basement's rocks deepen down to the south, and in the coast zone it was detected at a depth of more than 900 meters.

Keywords: resistivity, Tres Arroyos, Claromecó basin

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo ha tenido como objetivo avanzar en el conocimiento hidrogeológico de las unidades presentes en el subsuelo de la cuenca de Claromecó. La investigación de la hidrogeología se realizó en base a un importante número de sondeos eléctricos verticales que sumado a la información antecedente de pozos profundos realizados en el área suministraron información de la geología del subsuelo y de la profundidad del basamento hidrogeológico.

En cuanto al área de estudio, y debido a que por un lado la cuenca del arroyo Claromecó excede al partido de Tres Arroyos y como, además, interesó incorporar un área al oeste que aporta aguas al río Quequén Salado y otra al este tributaria del arroyo Cristiano Muerto, se decidió definir una zona de estudio constituida por la cuenca superior de los Tres Arroyos al norte y el área comprendida entre el río Quequén Salado al oeste y el arroyo Cristiano Muerto al este. Esta área excede la cuenca del arroyo Claromecó y no incluye totalmente la cuenca del río Quequén Salado. El océano Atlántico constituye el límite sur del área de estudio. Se ha incluido en la Figura 1 el límite entre los partidos de Tres Arroyos, Gonzales Chaves y San Cayetano, ya que estos últimos están parcialmente incluidos en la región considerada.

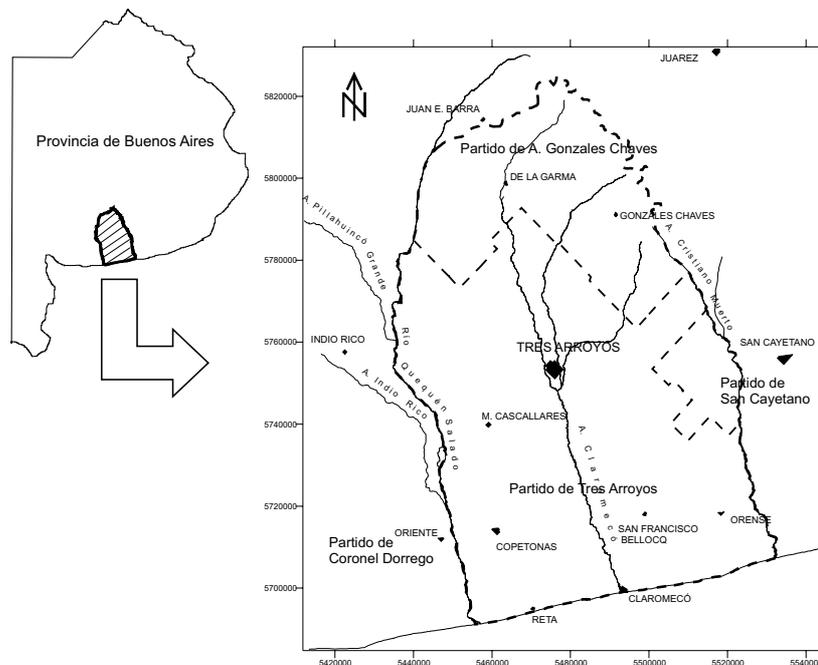


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

GEOLOGÍA

La zona de estudio se encuentra emplazada en el denominado Positivo de las Sierras Bonaerenses (Yrigoyen, 1975). Dicho positivo está conformado por los dos sistemas serranos de la provincia de Buenos Aires, Tandilia y Ventania, así como por la llanura interserrana que separa ambos cordones, constituyendo un núcleo geológico relativamente elevado.

La llanura interserrana bonaerense abarca la totalidad del sector que Frenguelli (1950) denominó Pampa Interserrana, incluye las áreas pedemontanas de Ventania y el piedemonte sudoccidental de Tandilia. Confor-

ma una planicie con cotas máximas algo superiores a los 200 metros en la parte central entre ambos sistemas de sierras, que desciende gradualmente hacia el océano Atlántico en el sur, el sistema de lagunas Encadenadas – Arroyo Vallimanca por el norte y las depresiones de Chasicó – Salinas Chicas en el flanco norte de la cuenca tectónica del Colorado en el margen oeste-sudoeste (Zárate y Rabassa, 2005).

Según González (1995), tanto las sierras australes como las septentrionales de la provincia de Buenos Aires, así como la zona interserrana, conforman un “núcleo estructural” cuyo comportamiento es de relativa estabilidad. Incluso podría tener un lento movimiento general ascendente con basculamiento de bloques a lo largo de fracturas regionales. El mismo autor distingue una serie de lineamientos a lo largo de los cuales existieron importantes movimientos de la corteza terrestre, con distintos efectos en diferentes regiones. Esos movimientos definieron una estructura regional formada por al menos cuatro bloques mayores de rumbo general ONO-ESE, denominados Bloque Tandilia, Bloque Gonzales Chaves, Bloque Ventania y Bloque Bahía Blanca. Los rasgos morfológicos analizados indicarían que el movimiento dominante de los bloques principales habría sido un basculamiento hacia el ONO-ESE. En virtud del mismo, en esos bloques se habrían elevado los bordes nororientales y se habrían hundido sus bordes sudoccidentales. Ese basculamiento podría haber sido reactivado en distintas oportunidades. Debido a ello salvo en el Bloque Bahía Blanca, en las porciones ascendidas de los otros bloques afloran rocas precámbricas y paleozoicas.

Por otra parte hay evidencias de que algunos de los bloques estarían integrados por otros menores. Además existirían algunos de ellos subordinados de carácter subsidente. Tal es el caso del bloque que constituye la cuenca del arroyo Pescado Castigado, relativamente hundido entre el Bloque Tandilia y el Bloque Gonzales Chaves. Este último presenta un borde ascendido donde se ubica la ciudad homónima y hacia el sur podría estar dividido en por lo menos un bloque menor, controlando el drenaje de la cuenca superior del Primer Brazo del Tres Arroyos (González, 1997).

En el sector interserrano se presenta la llamada cuenca interserrana o cuenca de Claromecó. Los trabajos geofísicos (gravimétricos) de Kostadinoff y Font de Affolter (1982) fueron los que permitieron postular la existencia de una fosa de varios kilómetros de espesor. La misma presenta un mínimo gravimétrico en el curso del arroyo Claromecó con una forma oval en sentido NO-SE (Cingolani, 2005). Recientes levantamientos sísmicos de refracción y de reflexión muestran la presencia en el subsuelo de potentes secuencias de sedimentitas eopaleozoicas y neopaleozoicas, que en conjunto superan los 9 km de espesor.

Afloramientos del basamento hidrogeológico

Se presentan algunos afloramientos de rocas paleozoicas en el área abarcada por este estudio. Los afloramientos conocidos han sido enumerados en el trabajo de Llambías y Prozzi (1975). La primera descripción de rocas paleozoicas ha sido realizada por Monteverde (1938) en un sector ubicado a unos 9 km al SO de Gonzales Chaves. Otros afloramientos fueron citados por Furque (1965) al norte de la localidad de Lumb, mencionando el hallazgo de lepidofitales por lo que se les asigna una edad no mayor que el Carbónico. Harrington (1970) hace referencia a una cantera en De la Garma con areniscas arcillosas verde oscuro. Terraza y De Guillén (1973) citan varios afloramientos. A dos kilómetros al SO de Gonzales Chaves, dos metros de espesor de areniscas moteadas pardas y limolitas rojizas a verdes, con restos de equisetales. Tres kilómetros al NO de Mariano Roldán areniscas moteadas similares a las anteriores. Estas se suponen por litología y flora fósil equivalentes a la Fm Tunas.

Otro afloramiento de areniscas cuarzosas ferruginosas se presenta a unos 10 km al este de la localidad de

Juan E. Barra. García y García (1968), citan un afloramiento que se encuentra en cercanías de Mariano Roldán en una laguna que en períodos de sequía permite ver un afloramiento de 10 metros de longitud formado por areniscas cuarcíticas.

Algunos pozos han alcanzado al basamento hidrogeológico a distintas profundidades. En la localidad de Gil ubicada a unos 30 km al oeste de la localidad de Oriente, se presenta a 480 metros de profundidad, en Dorrego se encontraría por debajo de los 529 m. Según García (1969) en Necochea se presenta a 300 m de profundidad de acuerdo a un pozo de la Dirección de Hidráulica del año 1923.

En el sector de Gonzales Chaves el basamento está cercano a la superficie, entre 7 y 60 metros de profundidad identificado por calizas, areniscas cuarcíticas y esquistos.

El pozo de exploración petrolera ubicado al NE de la localidad de San Mayol encontró sedimentos de la Formación Tunas (Pérmico) a 89 metros de profundidad, (Lesta, comunicación personal, 2006).

Formaciones postpaleozoicas

Para el presente estudio interesa la disposición de las formaciones con posibilidades acuíferas, en este sentido se asume como basamento hidrogeológico a las formaciones paleozoicas de la cuenca de Claromecó, asumiendo que dichas formaciones no transmiten ni almacenan agua salvo que adquieran porosidad secundaria. Se describirán brevemente las formaciones que se depositaron sobre el basamento.

Formación Olivos: se corresponde con los depósitos conocidos como El Rojo (Groeber, 1945). Son sedimentos de tipo continental y están caracterizados por la presencia de arenas gruesas, alternando con fangolitas y arcillas arenosas pardo rojizas con nódulos de yeso, anhidrita e intercalaciones de cenizas volcánicas. Se dispone en discordancia angular sobre el basamento hidrogeológico, siendo también su techo una superficie de erosión.

Según Hernández et al. (1975) esta formación corresponde a la sección hidrogeológica Hipoparaniana. Para el ambiente costero de la provincia de Buenos Aires se han observado reducidos espesores. Es así que en un pozo en Gil se presentaría en 2 m de espesor, en Necochea presenta 19 m y en Miramar 2 m.

Respecto a la salinidad de los sectores acuíferos que contiene se han consignado valores de 5.2 g/l para Necochea y 3.2 g/l en Gil. La formación es considerada acuitarda con intercalaciones acuíferas.

Formación Paraná: corresponde a un evento transgresivo que afectó a la mayor parte del territorio argentino ocurrido en el Mioceno superior. La ingesión marina depositó los sedimentos denominados Paraniano (Frenguelli, 1950), El Verde (Groeber, 1945). Constituye una sucesión de arcillas, arenas arcillosas y arenas verdes y verde azuladas, con niveles calcáreos y fósiles marinos. El impacto de esta ingesión marina, ha dejado una profunda impronta en la evolución geomórfica de la llanura argentina ya que al enrasar la mayor parte de la actual región chaco pampeana le confirió su principal rasgo morfológico que es precisamente su carácter de llanura o de "pampa" (Nabel y Pereyra, 2002). Siguiendo a Hernández et al. (1975) esta formación se corresponde con la Sección Paraniana. En el pozo de Gil se presenta con 300 metros de espesor. Se consignan salinidades para esta formación de entre 2 y 12 g/l. En Tres Arroyos según García (1971), esta formación aparece entre 113 y 145 metros de profundidad. La formación acuífera de origen marino se presenta con arcillas verdosas con intercalaciones de arenas finas acuíferas, con espesores de 23 a 59.6 metros sin haber tocado el basamento en la perforación.

Sobreyacen a la Formación Paraná los sedimentos araucanos, pampeanos y postpampeanos incluidos en

la denominada Sección Epiparaniana de Hernández et al., (1975). Estos sedimentos son de gran interés hidrogeológico ya que contienen los acuíferos que abastecen a las localidades de la región y a los establecimientos agropecuarios de la zona.

Básicamente los acuíferos explotados se presentan en las unidades llamadas Sedimentos Pampeanos (Fidalgo et al., 1975), de edad Plio-pleistocena, y el Pospampeano correspondiente al Holoceno.

Litológicamente los Sedimentos Pampeanos están constituidos preferentemente por una fracción limo más abundante que las fracciones arcilla y arena. En general presentan aspecto masivo, aunque localmente pueden mostrar una gruesa estratificación. Comúnmente se los denomina loess o limos loessoides. Su coloración es en general castaño con distintas tonalidades que van del amarillento a rojizo oscuro. Su compactación es algo pronunciada y aumenta en zonas donde se hace presente el carbonato de calcio con aspecto estratiforme de diferentes espesores, desde algunos centímetros hasta varios metros (Fidalgo et al., 1975).

El pampeano constituye un acuífero de tipo multiunitario con alternancia de sedimentos que son acuíferos y otros que se comportan como acuitardos. En general la calidad del agua desmejora en profundidad en lo que respecta al contenido de sales totales.

Por su parte los sedimentos correspondientes al Postpampeano se disponen discordantemente sobre los Sedimentos Pampeanos (Fidalgo et al., 1991), pueden diferenciarse sedimentos arenolimosos de origen eólico y otras litologías variadas de tipo fluvial o lacustre. Los sedimentos eólicos se caracterizan por constituir médanos compuestos por arenas sueltas bien seleccionadas.

Las acumulaciones postpampeanas se presentan en afloramientos discontinuos, representados por las Formaciones Luján, Platense y La Postrera correspondientes al Pleistoceno tardío - Holoceno. En el valle del Río Quequén Salado, Mormeneo (2005) individualiza las unidades litoestratigráficas cuaternarias.

Gutierrez Tellez y Schillizzi (1998) realizan una descripción de sedimentos y diatomeas presentes en un perfil ubicado en el valle del río Quequén Salado a unos 3 km al este de la localidad de Oriente (partido de Coronel Dorrego). Ubican a los niveles con diatomeas en el Lujanense y el Platense. De acuerdo a las especies de diatomeas reconocen la presencia de un ambiente de salinidad elevada (hasta 35 g/l), que caracteriza a ambientes evaporíticos o de llanuras salinas, con influencia eólica, que ocasiona fluctuaciones en los niveles de agua.

Cabe destacar que estas condiciones habrían tenido respuestas sólo en aquellos ambientes geomorfológicos de mayor sensibilidad ambiental (planicie de inundación, ambientes lagunares, áreas anegadizas) (Zárate, 2005).

EXPLORACIÓN GEOELÉCTRICA

Mediante la realización de sondeos eléctricos verticales (SEV) se logró caracterizar el subsuelo del área de estudio. Para el relevamiento se ubicaron 60 puntos en un mapa base con una separación entre sí de aproximadamente 10 km. Posteriormente se llegó hasta cada uno de los lugares, se realizó el geoposicionamiento del mismo y se procedió a la ejecución del SEV mediante la aplicación de la metodología tetraelectrónica de Schlumberger. La curva de campo fue interpretada en gabinete mediante dos programas de computación: Zohdy (1975) e IPI2Win (2001). El primero de ellos permite la obtención de las resistividades verdaderas de un conjunto de capas y el correspondiente espesor de cada una, el segundo programa permitió el ajuste mediante un modelo resistivo teniendo en cuenta los resultados obtenidos por el primer método así como los resultados de la interpretación de los sondeos cercanos. El modelo geoelectrico simplificado obtenido con IPI2WIN permitió la realización de perfiles de resistividad así como pseudosecciones eléctricas. El equipo utilizado fue un resistivímetro AGI que permitió, gracias a su alta

sensibilidad en la toma de datos, la realización de sondeos eléctricos de hasta 1700 metros de ala en los sectores más cercanos al mar. De esta manera se pudo detectar el basamento en toda la zona de estudio realizando una investigación más profunda que la llevada a cabo anteriormente por Weinzettel *et al.* (2005). En el ajuste del modelo geoelectrico se tuvo en cuenta la información geológica antecedente mencionada en el apartado anterior. Para la interpolación de los datos de nivel y/o profundidad entre los SEV realizados se utilizó el método de kriging puntual adoptando un variograma isotrópico lineal con pendiente unitaria.

Para un mejor ajuste de las mediciones se realizó un sondeo paramétrico en cercanías de un pozo en el SEV 53 (Figura 2) en un sector en que los sondeos en general fueron de escasa apertura de alas debido a la presencia somera de la roca del basamento (34 metros de profundidad según el registro del pozo).

Los sondeos más extensos fueron los más cercanos al mar, en la zona sur de la cuenca. A modo de ejemplo puede observarse la curva obtenida en el SEV 58 (Figura 3) con una apertura AB de 1700 metros, la interpretación de este SEV indica que el basamento se presenta a 789 metros desde superficie.

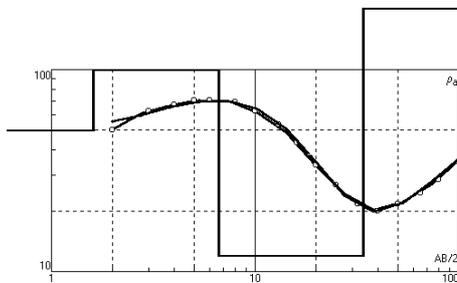


Figura 2. Curva del SEV 53.

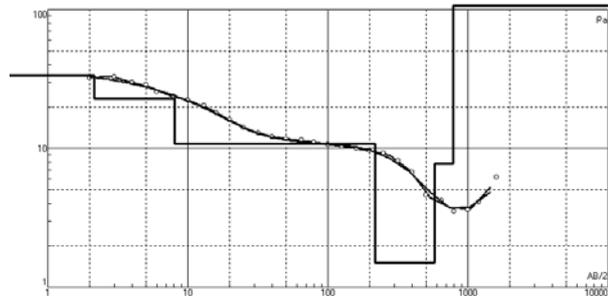


Figura 3. Curva del SEV 58

Como se ha indicado en apartados anteriores, el basamento se presenta aflorando en algunos sectores del área de estudio, especialmente en la zona norte y noreste. Los afloramientos, en general de areniscas cuarzosas, se presentan en cercanías de las localidades de Juan Barra y de Gonzales Chaves. Los sondeos eléctricos ubicados en zonas aledañas a estos sectores muestran el basamento a una profundidad entre 34 y 100 metros de profundidad desde superficie.

En la Figura 4 se observa un mapa de profundidad del basamento hidrogeológico desde la superficie del terreno para el área de estudio. Se ve claramente una profundización hacia el SO hasta la latitud de la ciudad de Tres Arroyos. Luego el basamento se hunde hacia el sur, mostrando un sector con un gradiente más suave entre la curva de 400 y 500 metros de profundidad. Los sondeos realizados más cerca del mar muestran al basamento a una profundidad mayor a 900 metros. Los mayores gradientes del basamento se encuentran en la zona costera, con una pendiente aparentemente normal a la línea de costa.

Por encima del basamento hidrogeológico y en forma discordante se han depositado sedimentos terciarios continentales (Mioceno Rojo) y por encima sedimentos marinos (Mioceno Verde). Al presentar los sedimentos terciarios una alta concentración de sales, se trató de definir la profundidad y espesor en que yacen en la cuenca en base a la consideración de las bajas resistividades que estas formaciones presentan. Los antecedentes bibliográficos (Hernández *et al.*, 1975, García, 1969, entre otros) así como los datos consignados en pozos que han atravesado estos sedimentos indican altas salinidades del agua que contienen.

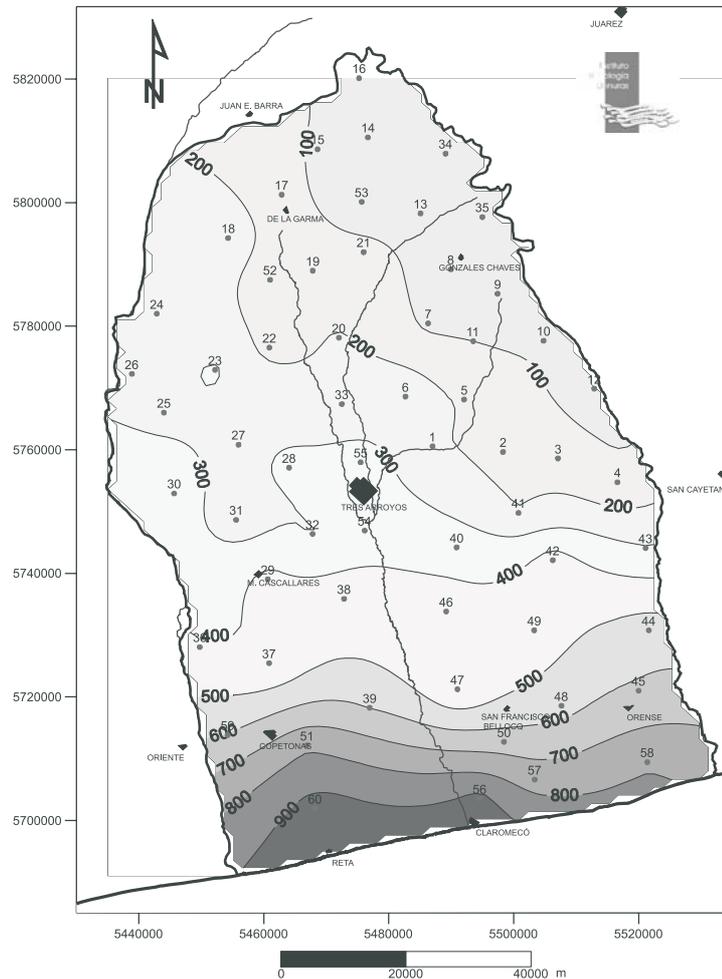


Figura 4. Curvas de isoprofundidad del basamento hidrogeológico en metros desde superficie (los puntos indican el número de SEV realizado).

Tanto los antecedentes de perforaciones como la información geoelectrica indican que el Terciario no se presenta hacia el NE de Tres Arroyos, en coincidencia con la zona donde el basamento se encuentra más cerca de la superficie.

El sector más complicado para poder determinar la aparición del Terciario ha sido la zona NO cercana al río Quequén Salado, donde los sedimentos cuaternarios presentan agua con alta salinidad y enmascaran el pase de Cuaternario a Terciario. La interpretación realizada es una propuesta que debería ser corroborada en estos sectores con pozos exploratorios u otros métodos geofísicos.

Las resistividades observadas en la interpretación de los SEV muestran valores asignables a la formación terciaria de 1.2 a 4 ohm.m. En la Figura 5 se presenta la curva de campo y el modelo de resistividad - espesor del SEV 56. Puede observarse que próximo a los 200 metros de profundidad se presenta una capa de 1 ohm.m que ha sido asignada al Terciario marino.

En la Tabla 1 se muestra la interpretación del SEV 56. Allí se observa, y en varios otros sondeos también, un ascenso de la resistividad en la última capa previa al basamento. No está claro si dicha capa, con un espesor en este caso de 220 metros, correspondería al Mioceno rojo, en dicho caso se presentaría material de mayor granulometría, ya que el registro de pozos como el de Coronel Dorrego presentan para esta formación agua de alto contenido salino.

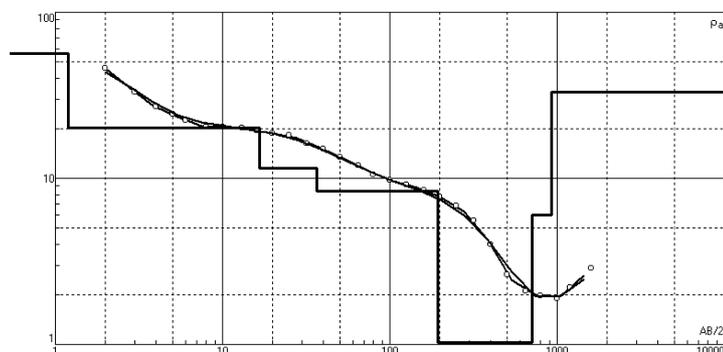


Figura 5. Curva del SEV 56. Obsérvese la baja resistividad de la antepenúltima capa (1 ohm m).

Capa	Resistividad (ohm m)	Espesor (m)	Profundidad (m)
1	56.4	1.19	1.19
2	20.1	15.4	16.6
3	11.5	20	36.6
4	8.37	157	194
5	1.03	513	707
6	6	220	927
7	33		

Tabla 1. Resultado de la interpretación del SEV 56.

En la Figura 6a se ha realizado la interpolación de los valores conductivos de cada SEV asignando valores cero cuando no se observaron las bajas resistividades. Se asume que es posible que el Terciario aparezca como mínimo a unos 100 metros de profundidad. En el área ubicada al N y NE de la zona de estudio el Terciario no se presentaría o de encontrarse lo haría con espesores poco importantes.

La paleomorfología del techo del Terciario indicaría según se ve en la Figura 6a, un descenso paulatino con dirección NE-SO, presentándose desde 100 a 160 metros de profundidad, luego poco al sur de Tres Arroyos comienza a inclinar más suavemente hacia el sur hasta una profundidad de entre 190 y 220 metros desde superficie. Se observan en este último sector algunas zonas donde podría estar algo más profundo. Estos valores coinciden en principio con los que Zambrano (1974) presenta en un mapa de isobatas del tope del Terciario superior marino con valores de -25 a -125 msnm para la zona de estudio.

En líneas generales la profundidad del techo del Terciario marino se encuentra relacionada en cuanto a su disposición con el basamento paleozoico según puede observarse al comparar la Figura 4 con la Figura 6a. Los espesores de los sedimentos terciarios se muestran en la Figura 6b, aclarando que no se ha discriminado entre el Rojo continental y el Verde marino. Una amplia área presenta espesores de entre 100 y 200 metros, encontrándose en la zona más cercana al mar los mayores espesores debido a la pequeña inclinación del techo de Terciario marino y a la profundización más pronunciada del basamento hidrogeológico.

REFERENCIAS

- CINGOLANI, C.A. (2005).** Unidades morfoestructurales (y estructuras menores) de la provincia de Buenos Aires. Relatorio de XVI Congreso Geológico Argentino (De Barrio, R.E., Etcheverry, R.O., Caballé, M.F. y Llambías, E. ed.), La Plata, 21-30.
- FIDALGO, F., PASCUAL, R. Y DE FRANCESCO, F. (1975).** Geología superficial de la llanura Bonaerense (Argentina). Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino, 103-138.
- FIDALGO, F., RIGGI, J. C., GENTILE, R., CORREA, H. Y PORRO, N. (1991).** Los “Sedimentos Postpampeanos” continentales en el ámbito del sur bonaerense. Revista de la Asociación Geológica Argentina, XLVI(3-4):239-256.
- FRENGUELLI, J. (1950).** Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires. LEMIT, serie II, 33 p.
- FURQUE, G. (1965).** Nuevos afloramientos del Paleozoico en la provincia de Buenos Aires. Revista Museo de La Plata 5 (Geología): 239-243.
- GARCÍA, J. (1969).** El agua subterránea en la cuenca del Quequén. Relatorio de la reunión sobre la geología del agua subterránea de la provincia de Buenos Aires. Comisión de Investigaciones Científicas, La Plata, 91-97.
- GARCÍA, J. Y GARCÍA, O. (1968).** Descripción hidrogeológica de la zona Estación Coronel Rodolfo Bunge - De la Garma, provincia de Buenos Aires. Instituto Nacional de Geología y Minería 24 p. y anexos.
- GARCÍA, O. (1971).** Hidrogeología de la zona de Gonzales Chaves. Ministerio de Economía y Trabajo, Secretaría de Estado de Minería. 43 p. y anexos.
- GONZÁLEZ, M.A. (1995).** Diagnóstico ambiental de la provincia de Buenos Aires. Banco de la Provincia de Buenos Aires, Tomo I, Aspectos Básicos, 245 p.
- GONZÁLEZ, M.A. (1997).** Diagnóstico ambiental de la provincia de Buenos Aires. Banco de la Provincia de Buenos Aires, Tomo II, Descripción de los Sistemas Ambientales (de Tandilia, interserranos, de Ventania y de la vertiente austral de Ventania), 210 p.
- GROEBER, P. (1945).** Las aguas surgentes y semisurgentes del Norte de la provincia de Buenos Aires. Revista La Ingeniería XLIX(6):371-387.
- GUTIERREZ TÉLLEZ, B. Y SCHILLIZZI, R. (1998).** Análisis paleoambiental de asociaciones de diatomeas cuaternarias del río Quequén Salado, provincia de Buenos Aires, Argentina. V Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Actas, 35-42.
- HARRINGTON, H.J. (1970).** Las Sierras Australes de Buenos Aires, República Argentina. Cadena aulacogénica. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 25(2):151-181.
- HERNÁNDEZ, M., FILI, M., AUGE, M. Y CECI, J. (1975).** Geohidrología de los acuíferos profundos de la Provincia de Buenos Aires. V Congreso Geológico Argentino, Actas, Tomo II, 479-500.
- IPI2WIN. (2001).** Moscow State University, Geological Faculty, Dept. of Geophysics. Geoscan-M Ltd. IPI2Win v 2.1. User’s guide. 25 p.
- KOSTADINOFF, J. Y FONT DE AFFOLTER, G. (1982).** Cuenca interserrana bonaerense, Argentina. V

Congreso Latinoamericano de Geología, Actas IV, 105-121.

LLAMBÍAS, E. Y PROZZI, C. (1975). Ventania. En Relatorio Geología de la provincia de Buenos Aires, VI Congreso Geológico Argentino, 79-101.

MONTEVERDE, A. (1938). Nuevo yacimiento de material pétreo en Gonzales Chaves. Revista minera. Geología y Mineralogía. Sociedad Argentina de Minería y Geología. T. VIII, pp 116-124.

MORMENEO, M.L. (2005). Geología superficial de la cuenca inferior del río Quequén Salado, provincia de Buenos Aires. Argentina. XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Actas 297-304.

NABEL, P.E. Y PEREYRA, F.X. (2002). El paisaje natural bajo las calles de Buenos Aires. Editorial Eudeba, Buenos Aires, 124 p.

TERRAZA, J. Y DE GUILLÉN, A. (1973). Nuevos afloramientos paleozoicos de la provincia de Buenos Aires. Universidad Nacional del Sur (inédito).

WEINZETTEL, P., VARNI, M. Y USUNOFF, E. (2005). Caracterización hidrogeológica del área urbana y periurbana de la ciudad de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires. IV Congreso Argentino de Hidrogeología, Tomo 1, pp. 171-180.

YRIGOYEN, M. (1975). Geología del subsuelo y la plataforma continental. En Relatorio Geología de la provincia de Buenos Aires, VI Congreso Geológico Argentino, 139-168.

ZAMBRANO, J.J. (1974). Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes. Revista de la Asociación Geológica Argentina, XXIX(4):443-469.

ZÁRATE M. Y RABASSA, J. (2005). Geomorfología de la provincia de Buenos Aires. En Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires. Relatorio de XVI Congreso Geológico Argentino (De Barrio, R.E., Etcheverry, R.O., Caballé, M.F. y Llambías, E. ed.), La Plata, 119-138.

ZÁRATE, M.A. (2005). El cenozoico tardío continental de la provincia de Buenos Aires. Relatorio de XVI Congreso Geológico Argentino (De Barrio, R.E., Etcheverry, R.O., Caballé, M.F. y Llambías, E. ed.), La Plata, 139-158.

ZOHDY, A. (1974). A computer program for the automatic interpretation of Schlumberger sounding curves over horizontally stratified media. Geological Survey, Springfield, USA.

TRATAMIENTO DE LOS DATOS DE TESTIFICACIONES GEOFÍSICAS EN SONDEOS. APLICACIÓN A SONDEOS PROFUNDOS.

*Eduardo L. Díaz, Oscar A. Dalla Costa y Bautista Aceñolaza
Dr. Zavalla 3132 – (3000) Santa Fe
eduardoluisdiaz@yahoo.com.ar*

RESUMEN

La testificación geofísica de sondeos mecánicos para la investigación del agua subterránea es un herramienta que se puede considerar un estándar en las investigaciones hidrogeológicas en Argentina. La actividad ha sido acompañada por un crecimiento de la calidad de los equipos disponibles en el país, sobre todo a partir de la década del 90 en el que las empresas de servicios de agua potable incorporaron como un elemento adicional la testificación de sondeos para agua subterránea.

Desde equipos que registraban simultáneamente registros eléctricos (normales de corto y largo espaciado) potencial espontáneo y radioactividad natural (radiación gamma) con espaciados de 0.10 metros, se ha llegado a equipos que registran simultáneamente hasta ocho variables: Gamma natural, Resistividades Normales de corto y largo espaciado, resistividad lateral, monoelectrónica y del fluido, potenciales espontáneo, temperatura y temperatura diferencial, con capacidad de toma de muestra de datos cada 0,01 metros. Asociado a ello el registro de la velocidad de avance del sondeo mecánico se transforma en una variable geofísica clave en el procesamiento de datos de testificación geofísica de sondeos

La masiva toma de información permite determinar entre otras variables la conductividad eléctrica del agua de formación de los tramos acuíferos, determinar la presencia de tramos diferenciados en función de su conteo de radiación gamma natural, y estimar un índice de permeabilidad de las formaciones.

Se presentan aplicaciones a sondeos destinados a perforaciones para agua potable, agua para complejos termales recreativos en las provincias de Entre Ríos y Santa Fe.

Palabras claves: aguas subterráneas, testificación geofísica, procesamiento.

ABSTRACT

The geophysics logging applied to groundwater research is a standar technique in Argentina. The data adquisition from graphical equipment that acquire only resistivity, spontaneus potential and gamma ray, evolution to digital equipment that digitalize and storage eight records simultaneously with a minimun 0,01 m depth interval.

The digital data adquisition allows mathematical estimation of aquifer physics parameter, for example formation water electric conductivity, clay grade and permeables areas. Application to deep borehole in Entre Ríos and Santa Fe provinces are presented.

Key words: groundwater, geophysical testing, processing

INTRODUCCIÓN

La testificación geofísica de sondeos mecánicos para la investigación del agua subterránea es un herramienta que se puede considerar un estándar en las investigaciones hidrogeológicas en Argentina, Ponti et al (1998), Savoy et al (1999), Ainchil et al (2005), Dalla Costa et al (2006).

Para la exploración en grandes profundidades y por el amplio territorio a reconocer, el desarrollo de las técnicas geofísicas ha sido en buena manera protagonizado por las industrias tanto de petróleo como de gas. La realidad muestra que buena parte de las técnicas geofísicas disponibles derivan de estos fines y es por ello que les confiere una metodología y herramientas determinadas, para las cuales es necesario una adaptación adecuada, Custodio (1999).

La actividad de la testificación geofísica en sondeos ha sido acompañada por un crecimiento de la calidad de los equipos disponibles en el país, sobre todo a partir de la década del 90 en el que las empresas de servicios de agua potable incorporaron como un elemento adicional la testificación de sondeos para agua subterránea.

Desde equipos que registraban simultáneamente registros eléctricos (normales de corto y largo espaciado) potencial espontáneo y radioactividad natural (radiación gamma) con espaciados de 0.10 metros, se ha llegado a equipos que registran simultáneamente hasta ocho variables: Gamma natural, Resistividad Normal larga (64"), Resistividad Normal Corta (16"), Resistividad del fluido, Resistividad Lateral, Potencial espontáneo, Resistividad Monoelectrónica, Temperatura y temperatura diferencial, con capacidad de toma de muestra de datos cada 0,01 metros. Asociado a ello el registro de la velocidad de avance del sondeo mecánico se transforma en una variable geofísica clave en el procesamiento de datos de testificación geofísica de sondeos.

La investigación de sondeos de gran profundidad, superiores a los 1000 metros, en la investigación y prospección de recursos de aguas calientes ("termales") con fines recreativos y bañoterapia, ha llevado al uso de equipos de testificación geofísica de sondeos utilizando en una primera etapa equipos petroleros. El desarrollo explosivo que ha tenido en la provincia de Entre Ríos en una primera etapa, y posteriormente en las provincias de Misiones, Buenos Aires y Santa Fe, ha llevado a la aplicación de estas técnicas utilizando la adecuadas técnicas de interpretación geofísica en forma rigurosa, pero generando informes con visiones destinadas a las investigaciones hidrogeológicas que generaron los requerimientos de dichos sondeos. Ejemplo de ellos son las testificaciones de los sondeos de : Federación, Colón, Concepción del Uruguay I y II, Gualaguaychú I y II, Basavilbaso, Villaguay, María Grande, Villa Elisa, San José, Victoria y Diamante en Entre Ríos, las de Posadas y Oberá en Misiones, las de San Clemente del Tuyú y Mar de Ajó en Buenos Aires, y las de Timbues y Santa Rosa en la Provincia de Santa Fe.

OBJETIVOS

Describir los procesamientos informáticos de datos geofísicos de manera de evaluar cuantitativamente los parámetros formacionales a partir del uso combinado de los registros de sondas geofísicas.

METODOLOGÍA

La bibliografía técnica ha desarrollado a lo largo del tiempo, Schlumberger (1958), Jonson (1975), Dresser Atlas (1982), Astier (1982), Asquito (1983), metodologías para el tratamiento e interpretación de registros de testificación de sondeos mediante registros de parámetros físicos de las formaciones atravesados por las formaciones.

A partir de la década del noventa, la masiva toma de información permite determinar entre otras variables la conductividad eléctrica del agua de formación de los tramos acuíferos determinado mediante el uso combinado de las sondas eléctricas normales de corto y largo espaciado, lateral, resistividad del fluido de la perforación y la conductividad eléctrica del agua utilizada en el fluido de perforación, para los casos más sencillos, así como el uso de registros mas sofisticados como neutrónicos, de densidad, inductivos, de temperatura, etc.

La fórmula básica de estudio es la ecuación básica de Archie que relaciona la resistividad del agua de formación R_w , la resistividad de la formación en su estado natural R_t y un factor de formación F , que está relacionado con la porosidad de la formación, a partir de ellos se puede obtener la saturación del agua S_w :

$$S_w = (F * R_w / R_t)^{1/2}$$

En ausencia de un estudio detallado de laboratorio se utilizan dos relaciones básicas entre el factor F y la porosidad \bar{O} , donde la primera relación:

$$F = 0,62 / \bar{O}^{2,15}$$

que es conocida como la relación de Humble para rocas granulares como las areniscas, y la segunda ecuación es:

$$F = 1 / \bar{O}^2$$

aplicable en formaciones calcáreas y rocas no granulares.

Es posible determinar la resistividad o su inversa la conductividad eléctrica del agua de formación a partir del registro de potencial espontáneo y la resistividad del fluido de la perforación a partir de la relación:

$$SP = - K * \text{Log} (R_m / R_w) \text{Donde:}$$

donde:

SP = deflexión del perfil de potencial espontáneo (milivoltios)

R_m = resistividad del lodo de la perforación (ohm.m)

R_w = resistividad del agua de formación (ohm.m)

$K = 60 + 0,133 * T$

T = temperatura de la perforación (°F)

Es posible estimar asimismo la conductividad eléctrica del agua de formación si se dispone alternativamente de los registros resistivos de las sondas normales de corto y largo espaciado, y la conductividad eléctrica del lodo de perforación a partir de la relación de dichos registros en los tramos permeables, para ello debe determinarse un valor de resistividad mínima del registro normal largo que se corresponden a formaciones acuíferas:

$$\text{Si } (R_{NC} > R_{NLmin}) \Rightarrow CE_w = CE_M * R_{NC} / R_{NL}$$

donde:

CE_w = conductividad eléctrica del agua de formación (microS/cm)

CE_M = conductividad eléctrica del lodo de perforación (microS/cm)

R_{NLmin} = resistividad del registro normal larga mínima para formaciones acuíferas (ohm.m)

R_{NL} = resistividad del registro normal de largo espaciado (ohm.m)

R_{NC} = resistividad del registro normal de corto espaciado (ohm.m)

Es habitual el procesamiento cualitativo a partir de los registros gráficos de las distintas sondas e interpretar en conjunto las variaciones de dichos parámetros para caracterizar variaciones litológicas, interfase de agua dulce – salada, tramos más adecuados para la ubicación de filtros y de zonas de aislamiento de posibles acuíferos superficiales, etc.

El registro de radiación gamma natural asociado a los registros resistivos, tiene un gran poder resolutivo, lo que permite determinar la presencia de tramos diferenciados en función de su conteo de radiación gamma natural, indicadores de mayor proporción de arcillas en el paquete sedimentario, basado en el cálculo a partir del conteo, de dicha relación en función de un conteo base y máximo determinando por la experiencia del intérprete.

$$\% \text{ Arcillosidad} = (R - R_{min}) / (R_{max} - R_{min})$$

donde:

% Arcillosidad = porcentaje de arcillas para la profundidad analizada.

R = registro de conteo gamma natural para la profundidad de interés.

R_{max} = Valor de conteo gamma natural para un 100 % de arcillosidad.

R_{min} = Valor de conteo gamma natural para un 0 % de arcillosidad.

Es posible, también, estimar un índice de permeabilidad a partir de los registros de velocidad de avance del sondeo, la radiación gamma natural y las resistivas normales de corto y largo espaciado, y una estimación de factor de resistividad. Para ello es necesario fijar los parámetros de conteo gamma máximo para formaciones arenosas y / o limosas, y la relación entre las resistividades de los registros normales de corto y largo espaciado, a partir de la relación:

$$\text{Si } (R < R_{\text{máx}}) \text{ y } R_{\text{NL}} > R_{\text{NL}} * F_r \text{ y } V_{\text{av}} < V_{\text{máx}} = > \text{área permeable}$$

donde:

$R_{\text{máx}}$ = conteo gamma natural máximo para formaciones arenosas y / o limosas.

F_r = factor de resistividad.

V_{av} = Tiempo de avance (minutos/metro)

$V_{\text{máx}}$ = Tiempo de avance máximo para formaciones no consolidadas (minutos/metro)

RESULTADOS

Se presentan aplicaciones a sondeos destinados a perforaciones para agua potable, agua para complejos termales recreativos en las provincias de Entre Ríos y Santa Fe, Figura 1, 2 y 3.

La perforación en la Provincia de Entre Ríos fue registrada en los primeros 525 metros de perforación, Figura 1, presenta la integración de los registros de conteo radioactividad natural y de potencial espontáneo en la columna 1, los registros resistivos lateral y monoelectrónica en la columna 2, los registros resistivos normales de corto y largo espaciado en la columna 3, la conductividad eléctrica del lodo de la perforación y la estimación de la conductividad de formación en la columna 4.

La Conductividad Eléctrica del agua de formación de los tramos acuíferos fue determinado mediante el uso combinado de las sondas eléctricas (Normales de Corto y Largo Espaciado, y la resistividad del Fluido de la perforación). Los valores determinados oscilan entre 1500 y 2000 microS/cm, para la formaciones suprabasálticas y Serra Geral.

La perforación Santa Rosa 1, en la Provincia de Santa Fe fue registrada en dos oportunidades, la primera corresponde a los primeros 600 metros de perforación, en el tramo suprabasáltico, la Figura 2 presenta la integración de los registros de Arcillosidad en la columna 1, la radioactivad gamma natural en la columna 2, los registros resistivos normales de corto y largo espaciado en la columna 3, la estimación de la conductividad de formación en la columna 4, y finalmente el registro de tiempos de avance en la columna 5. Se pudieron determinar con precisión el tramo arcilloso entre los 60 y 160 metros, con aguas de salinidades del orden del 2000 microS/cm, el uso combinado con los tiempos de avance permite determinar en zonas de baja arcillosidad la presencia de intercalaciones de areniscas. Finalmente a partir de los 250 metros la salinidad del agua de formación supera los 30000 microS/cm, alcanzando en algunos tramos del final de la perforación los 50000 y hasta 70000 microS/cm.

La perforación Timbues, en la Provincia de Santa Fe fue registrada hasta los primeros 760 metros de perforación, en el tramo suprabasáltico, la Figura 3 presenta la integración de los registros de Arcillosidad en la columna 1, los registros resistivos normales de corto y largo espaciado en escala logarítmica en la columna

2, los tramos permeables a partir de los 75 metros (tramo superior encamisado) la estimación de la conductividad de formación en la columna 4, y finalmente el registro de tiempos de avance en la columna 5. Se pudieron determinar con precisión el tramo arcilloso entre los 60 y 160 metros, con aguas de salinidades del orden del 20000 microS/cm, el uso combinado con los tiempos de avance permite determinar en zonas de baja arcillosidad la presencia de intercalaciones de areniscas, así como la secuencia de intercalaciones permeables. Finalmente a partir de los 250 metros la salinidad del agua de formación supera los 30000 microS/cm, alcanzando en algunos tramos del final de la perforación los 50000 y hasta 70000 microS/cm.

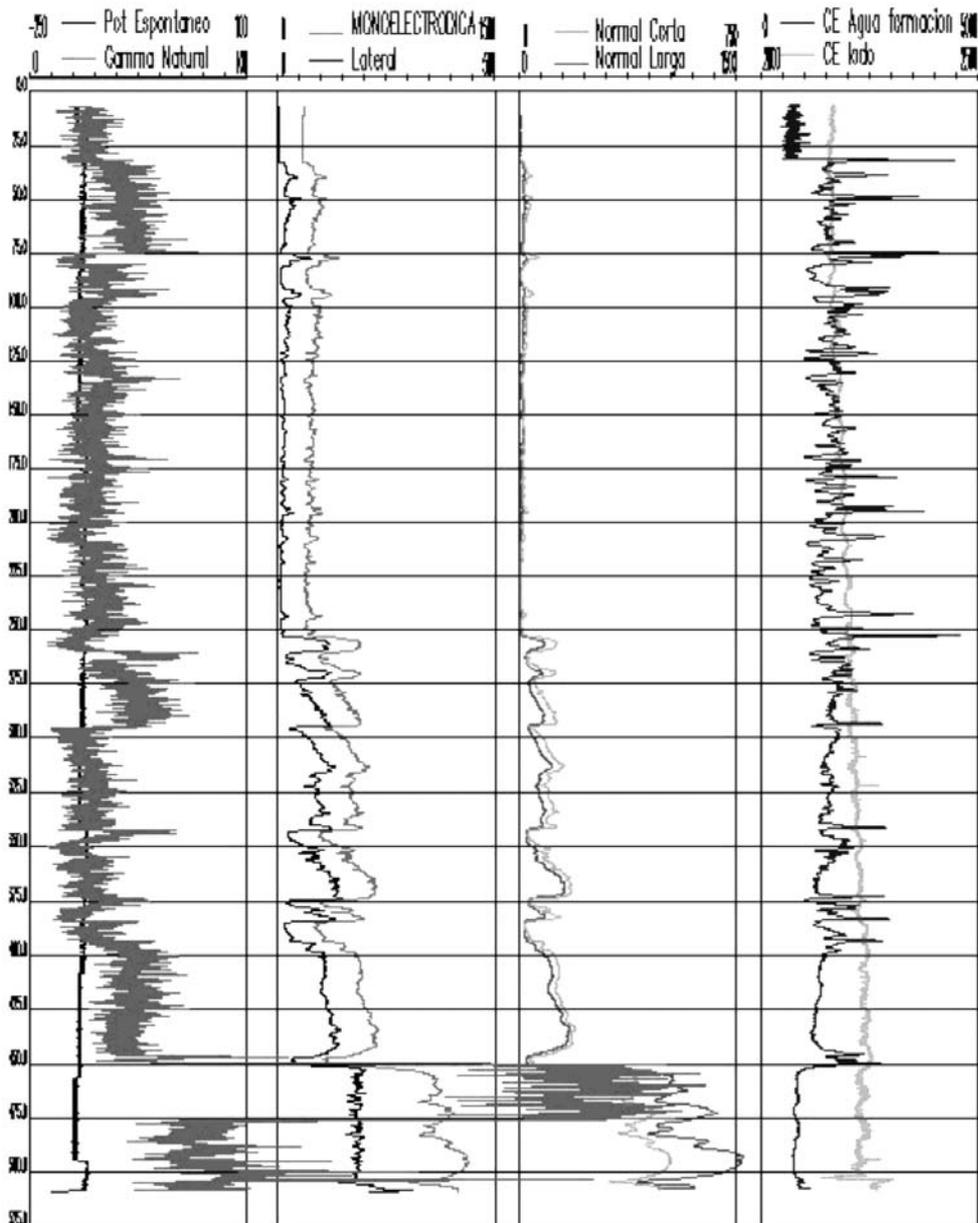


Figura 1. Procesamiento de un sondeo en Entre Ríos.

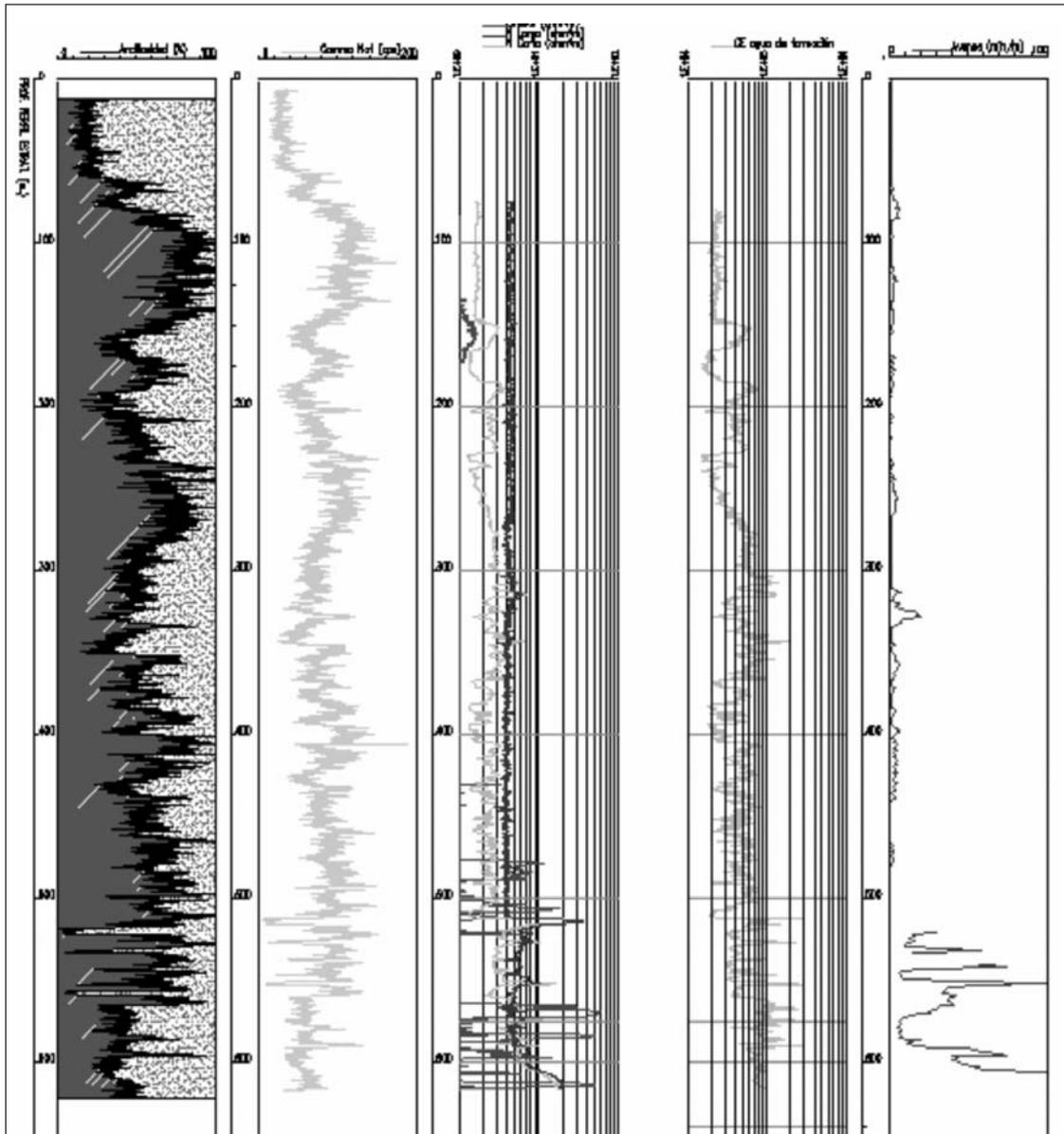


Figura 2. Procesamiento del sondeo Santa Rosa. Tramo suprabasáltico.

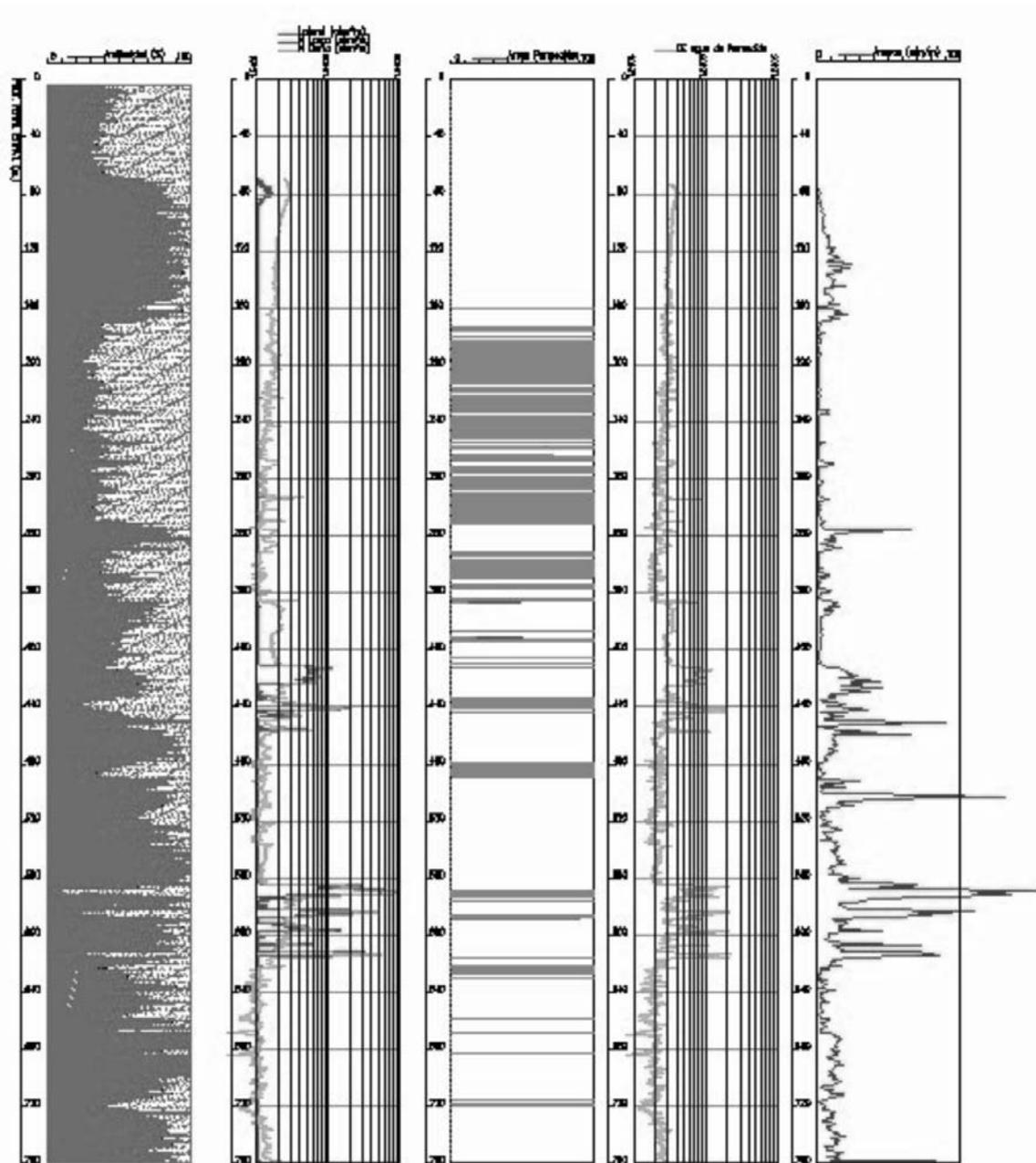


Figura 3. Procesamiento del sondeo Timbues. Tramo suprabasáltico.

CONCLUSIONES

La técnica de testificación geofísica de sondeos se ha convertido en un estándar requerido por la autoridad de Aplicación para sondeos mecánicos que investiguen este tipo de acuíferos “termales” tanto en la Provincia de Santa Fe y Entre Ríos, constituyéndose no solo en un requerimiento técnico sino legal, mereciendo destacarse el Manual de perforación de pozos tubulares para la investigación y captación de agua subterránea en el “Sistema Acuífero Guaraní”, Galdiano Goncales et al (2006).

La integración de los registros de testificaciones geofísica de sondeos con los análisis de las muestras obtenidas y el tiempo de avance permite una adecuada interpretación de la columna estratigráfica, permitiendo extender los resultados de distintos sondeos y producir correlaciones regionales para la evaluación de las características de las formaciones investigadas, independizando las mismas de la visión personal de los diferentes geólogos responsables del seguimiento de los sondeos mecánicos.

La selección de las áreas más permeables se constituye en una herramienta clave para la selección de los tramos de ubicación de filtros y de cañería ciega, y trabajando en conjunto con los valores de conductividad eléctrica y temperatura del agua de formación permite seleccionar cuales son los acuíferos a explotar, independizando de los de mayor salinidad y / o menor temperatura, como ocurre cuando el objetivo es suministrar agua a complejos recreativos o medicinales.

REFERENCIAS

- AINCHIL, J., E. KRUSE Y P. CALAHORRA FUERTES (2005).** “Aplicaciones de perfilajes de pozos en el noreste de la Provincia de Buenos Aires”. IV Congreso de Hidrogeología. Hidrología Subterránea y Aspectos Ambientales. Tomo II. 75 – 82.
- ASQUITH, G. (1983).** “Basic Well Log Análisis for Geologists”. AAPG. 28-44.
- ASTIER, J.L. (1982).** «Geofísica aplicada a la hidrogeología». Editorial Paraninfo. Madrid. España. 344 páginas.
- CUSTODIO GIMENA, E. (1999).** “Las técnicas geofísicas aplicadas: una panoplia de métodos que la hidrogeología debe aprovechar más y mejor”. Seminario “Técnicas Geofísicas aplicadas a la Hidrogeología”. Prólogo. III-VII. Granada. España. Editado por el IGME. Madrid España. 375 páginas.
- DALLA COSTA, O. Y B. ACEÑOLAZA (2006).** “Diseño de perforaciones para riego de arroz”. En el libro: “El riego de arroz por perforaciones profundas. Su reconversión energética en Entre Ríos”. Editado por la UNER. 67-76.
- DRESSER ATLAS (1982).** «Sistemas de interpretación de perfiles de pozo abierto». Impreso en Estados Unidos. 52 páginas.
- JOHNSON (1975).** «El agua subterránea y los pozos». Editor Johnson Screen. Estados Unidos. Saint Paul. Minnessotta. 513 páginas.
- PONTI, N. A; DÍAZ, E. L. Y SAVOY, H. M. (1988).** “Aporte del Perfilaje Múltiple de pozos en investigaciones geotécnicas de la Central Nihuil II”. 15° Reunión Científica de Geofísica y Geodesia. AAGyG-UNCa. San Fernando del Valle de Catamarca.

SAVOY, H. M., DÍAZ, E. L., DALLA COSTA, O. A. (1999). “Testificaciones geofísicas en la central hidroeléctrica Nihuil II. Mendoza. República Argentina.”.

SCHLUMBERGER WELL SURVEYING CORPORATION (1958). “Perfilaje de Pozos”. Documento 8. Editorial Schlumberger.

GALDIANO GONCALES, V.; SOUZA FILHO, M. N., BOTELLA MARIANO, I. Y C. E. QUAGLIA GIAMPÁ (2006). Manual de perforación de pozos tubulares para la investigación y captación de agua subterránea en el “Sistema Acuífero Guaraní”. 94 páginas.

EL APORTE DE LAS TESTIFICACIONES GEOFÍSICAS EN SONDEOS EN EL ESQUEMA HIDROGEOLÓGICO DEL CAMPO DE BOMBEO DE ESPERANZA. PROVINCIA DE SANTA FE

*Oscar A. Dalla Costa , Eduardo L. Díaz y Bautista Aceñolaza
Pasaje Pedro Vigna 1876 3000 Santa Fe.
odallacosta@hotmail.com*

RESUMEN

El campo de bombeo de la localidad de Esperanza explota las aguas subterráneas de la Formación Puelche para el abastecimiento de agua potable a Esperanza y mediante acueducto a la localidad de Rafaela distante casi 50 kilómetros. Debido a los problemas de disminución de la calidad del agua por procesos de salinización generados por las extracciones y la inadecuada ubicación de las perforaciones en áreas urbanas, el operador del servicio debió readecuar el campo de bombeo trasladando las perforaciones a la zona rural ubicado al oeste de la localidad.

Para ello se realizaron en una de las etapas 11 perforaciones ubicadas en una traza definida a partir de un modelo matemático hidrogeológico desarrollado por la Universidad Nacional del Litoral. Todas las perforaciones ejecutadas atravesaron las formaciones pampa y puelche, de esta última se extraen los caudales para el abastecimiento de las dos localidades.

El esquema hidrogeológico conceptual (Tujchneider, 1998) fue corroborado y controlado mediante la ejecución de testificaciones geofísicas de sondeo mediante la utilización de registros normales de corto y largo espaciado, potencial espontáneo y radiación gamma natural.

De los 11 registros los parámetros determinados han indicado un espesor de la Formación Pampa con variaciones entre 14 y 24 metros, y el acuífero a explotar, Formación Puelches, presenta un espesor medio de 30 metros. Se ha podido caracterizar las variaciones de la Formación Puelche, determinando la evolución en profundidad de la salinidad del agua de formación a partir de los registros resistivos y de potencial espontáneo.

Las perforaciones ubicadas en el este del campo de bombeo (cercano al área urbana y al campo de bombeo anterior) presentan un claro efecto del ascenso de la interfase agua dulce – salada proveniente de la Formación Paraná que subyace al acuífero de la Formación Puelche.

Palabras claves: aguas subterráneas, testificación geofísica, Esperanza.

ABSTRACT

The pumping area located near Eperanza city in the Santa Fe Province produce water to Rafaela and Esperanza cities. The impact of the aquifer exploitation afectate the water chemistry by the salinization.

Eleven boreholes were logged using radioactive, spontaneous potential and resistivity probes. The conceptual model developed by Tujchneider et al (1998) was confirmed. The Pampa Formarion have a depth between 14 and 24 meters, the Puelches Formation have 30 meters as mediun thick, and finally the salty interface was detected in two boreholes near the old punping area located in the Esperanza city.

Key words: groundwater, geophysics testing, Esperanza.

INTRODUCCIÓN

El campo de bombeo de la localidad de Esperanza, Provincia de Santa Fe, explota desde la década del 30 las aguas subterráneas de la Formación Puelche para el abastecimiento de agua potable a Esperanza, y desde 1980 mediante un acueducto a la localidad de Rafaela distante casi 50 kilómetros, Figura 1. De acuerdo a Tujchneider et al (2002) la producción total es del orden de 20 Hm³/año y se encontraba concentrada en dos sectores: uno en el área urbana de la ciudad de Esperanza en el que había nueve perforaciones, y otro en la zona rural al oeste de dicha localidad con quince perforaciones que alimentan el acueducto a Rafaela.

Los caudales medios de las perforaciones estimados son de 75 m³/hora y su profundidad media es de 45 metros. Adicionalmente en la ciudad de Esperanza existen perforaciones para abastecimiento de agua a industrias y en el área rural con destino a actividades agropecuarias (riego y agua para ganado).

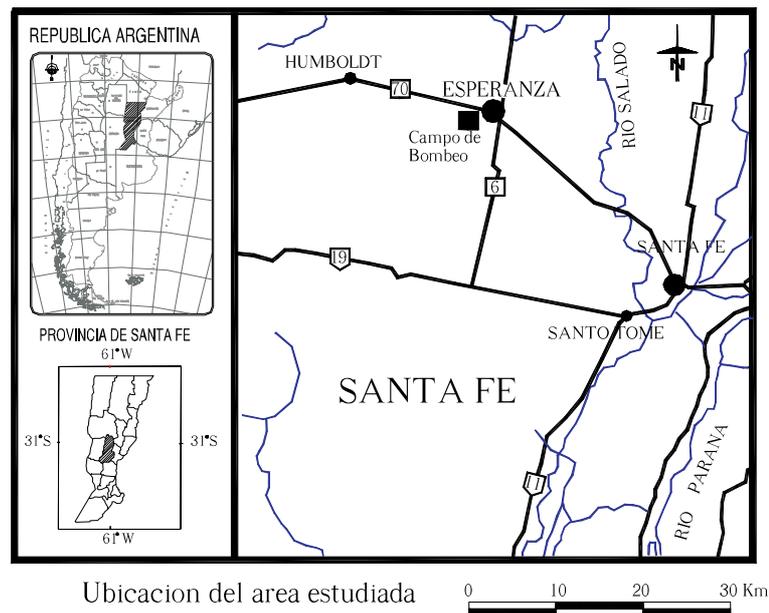


Figura 1. Plano de ubicación del área de estudio.

La hidrogeología general de la provincia de Santa Fe ha sido caracterizada por Bojanich Marcovich (1992). El esquema hidrogeológico de la zona ha sido desarrollado por Filí et al (1997) y ha habido posteriores comunicaciones de diversos autores, D'Elia et al (2004) y Tuchneider et al (2004).

Conceptualmente la columna hidrogeológica descrita por Filí et al (op cit) consta de una secuencia de un basamento acuicludo conformado por las arcillas verdes que se corresponden al techo de la Formación Paraná de origen marino (Mioceno Superior), sobre yaciendo a dichas arcillas se encuentran arenas grises muy heterogéneas saturadas con agua de elevada mineralización. Superiormente continúan un acuífero semiconfinado (explotado regionalmente con destino a agua potable y actividades agrícolas) compuesto de arenas finas y medianas pertenecientes a la Formación Puelches (Plioceno Superior), de origen fluvial y saturadas de agua de buena calidad físico química, aptas para uso humano y agrícola. La secuencia finaliza en superficie con sedimentos de origen eólico, compuesto por limos, arcillas y loess pertenecientes a la Formación Pampa (Holoceno).

Hidrogeológicamente el sistema es multicapa con flujos con una dirección preferentemente horizontal Oeste – Este y posibilidades de transferencias verticales entre las formaciones Pampa y Puelches, y en zonas localizadas de elevadas tasa de explotación se manifiesta el ascenso de aguas de elevada mineralización provenientes de la Formación Paraná.

Debido a los problemas de disminución de la calidad del agua por procesos de salinización generados por las extracciones y la inadecuada ubicación de las perforaciones en áreas urbanas el operador del servicio debió readecuar el campo de bombeo trasladando las perforaciones a la zona rural ubicado al oeste de la localidad, Tujchneider et al (2005).

El esquema hidrogeológico conceptual elaborado por Tujchneider et al (1998), Figura 2, es el que define los esquemas de explotación y la ubicación del campo de explotación del recurso subterráneo para abastecer a las localidades de Esperanza y Rafaela.

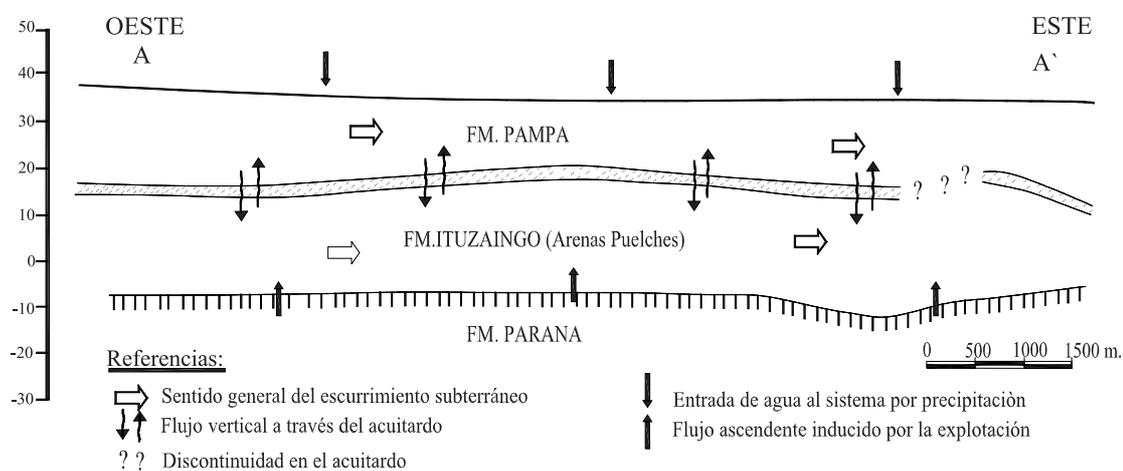


Figura 2. Esquema hidrogeológico conceptual.

OBJETIVOS

Contribuir al conocimiento del funcionamiento hidrogeológico del sistema acuífero que abastece a la localidad de Esperanza de la Provincia de Santa Fe.

Determinar las características geométricas de las formaciones acuíferas y la variación espacial en el área de explotación, caracterizando el espesor de la zona de transición agua dulce – salada.

Aportar elementos técnicos para el diseño adecuado de las perforaciones de explotación.

METODOLOGÍA

Se utilizó un equipo de perfilaje múltiple de pozos marca MH-1, con registro digital de las variables de gamma natural, resistivas de corto y largo espaciado y del registro de potencial espontáneo, con un intervalo de muestreo de 0,10 metros. El software de procesamiento permite la exportación de datos en formato ASCII y la representación con un programa de post procesamiento en formato AUTOCAD.

Las variables registradas, fueron procesadas de acuerdo a las técnicas habituales, Johnson (1975), Astier (1982) y Dresser Atlas (1982).

Los Registros Resistivos determinan la resistividad eléctrica aparente de las formaciones atravesada por el sondeo mecánico. Las resistividades de ellas depende básicamente de la porosidad efectiva de las mismas y de la salinidad del agua que contienen.

Operacionalmente es necesario que el pozo no esté entubado y con agua o lodo de inyección. En el mismo se introduce una sonda, constituida por uno o varios electrodos, que forman un circuito eléctrico entre sí o con el electrodo ubicado en superficie, según sea el dispositivo empleado, mediante el cual se mide la caída potencial que se produce entre dos de ellos, cuando se introduce en el terreno una corriente de intensidad constante y conocida.

El equipo calibrado brinda directamente los valores de resistividad aparente de las formaciones, expresados en ohm.m, en función de la profundidad, ya sea en forma de gráfica continua y de datos digitales en forma puntual.

Las resistividades más bajas corresponden a las formaciones de arcillas, limos y acuíferos salinizados, y se hacen más elevados con la presencia de formaciones arenosas. Las herramientas utilizadas han sido las resistivas normales de corto y largo espaciado.

El registro de Potencial Espontáneo está basado en un parámetro físico químico que puede medirse en las perforaciones sin recubrimientos. El registro en perforaciones con columna llena de agua se realiza en forma simultánea, y se complementa, con los perfiles de resistividad, para facilitar la correlación litológica de los diferentes estratos.

El potencial espontáneo es la resultante de varias fuerzas electromotrices, que generan una diferencia de potencial natural entre cada punto de la perforación y un punto ubicado en la superficie. La diferencia de potenciales se hace negativa para las formaciones arenosas y prácticamente nula para las arcillas y limos. Los valores representados dependen en gran medida de los tipos y de la cantidad de sales disueltas en el agua que contienen las formaciones.

Finalmente el registro Gamma Natural es el más sencillo de todos, mide la radiación gamma natural asociada al propio terreno. En este registro no es necesario que el pozo esté lleno de agua o lodo, tampoco es inconveniente la presencia de entubados, razón por la cual es de uso más general que los otros eléctricos u otros registros radiactivos, siendo en algunas ocasiones la única alternativa posible.

Las radiaciones naturales de los elementos inestables consisten principalmente de ondas electromagnéticas, pudiendo ser detectadas dentro de la perforación con sensores adecuados. Algunas rocas son radioactivas por naturaleza, debido a los elementos inestables que pueden contener, los nucleidos inestables de pre-

sencia significativa abundancia en la naturaleza, presente en las formaciones son: las series Uranio Radio y Thorio Radio Potasio.

Estos elementos son los que contribuyen en más alto porcentaje a las radiaciones naturales que se observan en las rocas sedimentarias. La determinación y medida de la radiación gamma puede efectuarse por medio de un contador Geiger Muller, una cámara de ionización o un centellómetro.

La integración de estas curvas es cualitativa, con una buena definición en los distintos niveles litológicos sedimentarios por la presencia en las arcillas de los elementos C14 y K40, que aumentan considerablemente su actividad, pudiendo en condiciones favorables determinar cuantitativamente el contenido de finos.

El procesamiento de los registros puede ser cualitativo determinado a partir de las gráficas los límites formacionales o los tramos de transición de agua dulce a salada, o cuantitativo a partir de la correlación local en sondeos exploratorios, a partir del registro de radiación gamma natural, determinar la evolución en profundidad del grado de arcillosidad de formación expresado en porcentaje, y procesado adicionalmente con los registros resistivos normales de corto y largo espaciado, determinar las zonas permeables, y con el uso conjunto de la conductividad del agua de inyección y del lodo en conjunto con las resistivas normales de corto y largo espaciado estimar la conductividad eléctrica del agua de formación, Dalla Costa et al (2006).

RESULTADOS

Se perfilaron 11 perforaciones con los registros de las sondas de gamma natural, potencial espontáneo y las resistivas normales de corto y largo espaciado, la Figura 3 presenta un registro integrado de una de las perforaciones.

Puede observarse la gran definición de las variables registradas, marcadas por el contraste de los contenidos de arcilla y limos de la Formación Pampeano con respecto a la Formación Puelches y las arcillas de la Formación Paraná. El registro del conteo gamma natural describe con precisión los cambios litológicos y destaca la presencia de intercalaciones arcillosas del techo de la Formación Paraná, los valores de potencial espontáneo acompañan los valores de gamma natural, mientras que los registros resistivos permiten diferenciar los niveles limosos superiores con resistividades inferiores a 10 ohm.m, y marcan claramente el comienzo de las arenas Puelches, con resistividades que varían entre 20 y 30 ohm.m para el registro resistivo normal larga y oscila entre 20 y 40 ohm.m para la sonda normal corta. A partir de los 25 metros comienza a manifestarse la disminución de las resistividades aparentes en ambos registros producto de la disminución de la granulometría de las arenas y del comienzo de la transición agua dulce – salada a partir de los 30 metros de profundidad en que las resistividades bajan del límite de 20 ohm.m para el registro resistivo normal larga, generada por el ascenso de aguas altamente mineralizadas provenientes de la Formación Paraná.

Los límites formacionales se corresponden a - 39.50 metros bajo boca de pozo y -14.70 metros bajo boca de pozo como base y techo de la Formación Puelches. A partir de estos datos, la granulometría de las muestras se definió un diseño de la perforación en caño camisa de PVC clase 10 de 250 mm de diámetro de 24 metros de longitud, filtro de acero inoxidable de 150 mm de diámetro de 5 metros de longitud y gravilla seleccionada para el prefiltro de grava de 1 a 2 mm.

La Figura 4 muestra la evolución espacial de la geometría del sistema acuífero explotado por el campo de bombeo, en la que se manifiesta la coincidencia general del esquema hidrogeológico regional definido por

Fili et al, (op cit), y lo observado en campo, a excepción de la perforación P17, que muestra una profundización del techo y base de las arenas “Puelches”, dichos limites oscilan alrededor de los -15.0 y -43.0 metros bajo boca de pozo respectivamente.

Entre las perforaciones P22 y P1 se manifiesta el cono de intrusión de la interfase agua dulce – agua salada producto de la sobreexplotación previa en el área urbana de la localidad de Esperanza. La Perforación P1 coincide con el límite urbano oeste de dicha localidad.

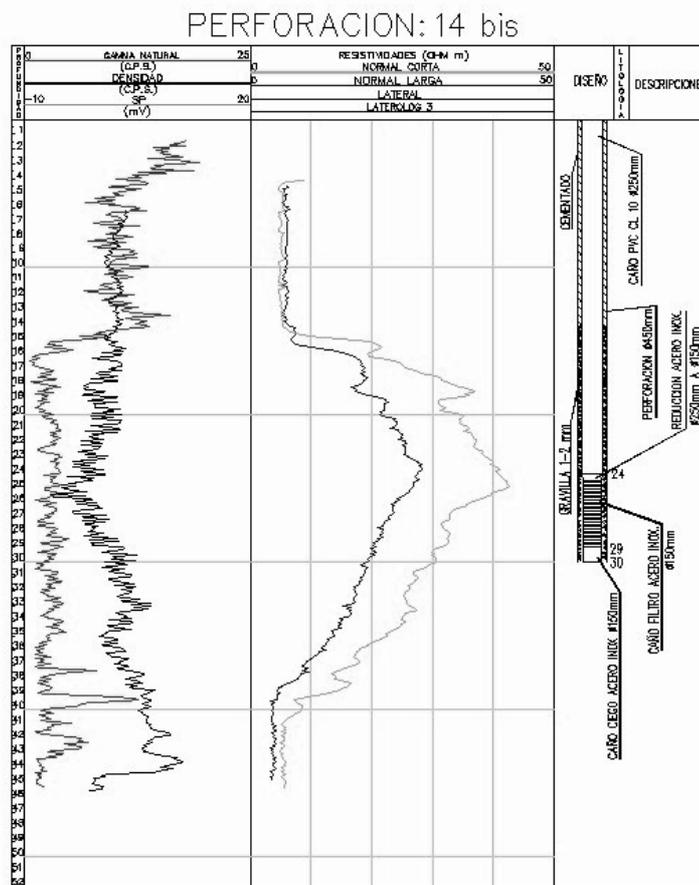


Figura 3. Perfil Integrado Perforación 14 Bis.

El procesamiento de los registros integrados han indicado un espesor de la Formación Pampeano con variaciones entre 14 y 24 metros (P17), mientras que la Formación Puelches presenta un espesor medio de 30 metros.

Debe señalarse la presencia de entre tres y cuatro intercalaciones de limos y arcillas, sin continuidad regional, que actúan como semiconfinantes locales y generan que el acuífero localmente pueda comportarse como un sistema multicapa, y en el caso de las perforaciones P1 y P22 han servido como una barrera de protección para el ascenso de agua de los niveles acuíferos salinizados inferiores, en las zonas de mayor explotación.

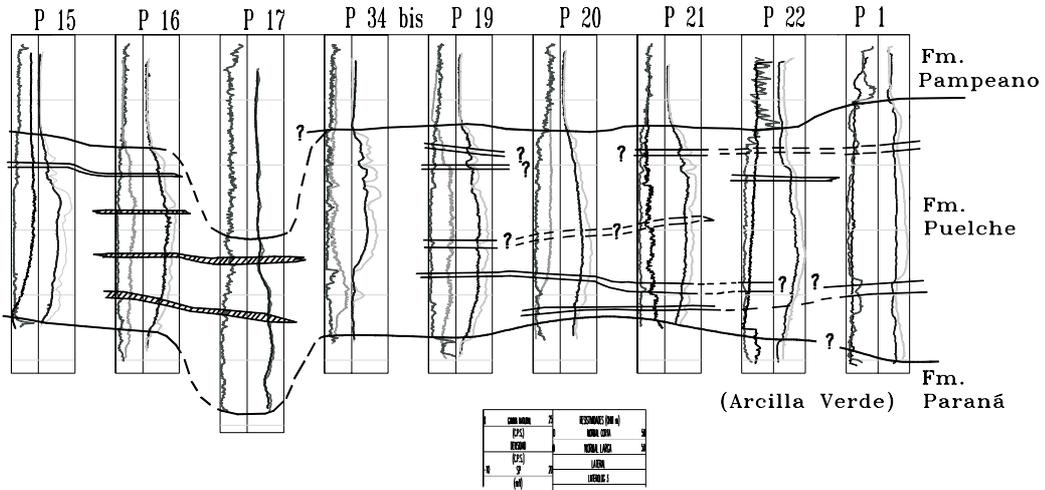


Figura 4. Perfil Longitudinal del área de estudio.

La Tabla 1 presenta las características geométricas resultantes de los registros integrados de las 11 perforaciones estudiadas, indicando espesores de las diferentes formaciones y en el caso de presentarse el espesor de la interfase dulce – salada detectada en la Formación Puelches.

Perforación	Límites Formacionales		
	Base del Pampeano	Espesor del Puelche	Profundidad a Interfase
P1	15.3	38.0	36.
P14 Bis	14.3	39.0	30.
P16	23.3	35.0	37.
P17	17.3	35.0	37.
P18	18.0	29.3	30.
P19	17.3	30.0	38.
P20	20.3	24.0	38.
P21	17.3	32.0	38.
P22	17.3	33.0	38.
P34	20.3	31.0	36.
P15 Bis	17.3	28.0	36.

Tabla 1. Características Formacionales registradas.

CONCLUSIONES

Se ha podido caracterizar las variaciones de la Formación Puelche, determinando la evolución en profundidad de la salinidad del agua de formación a partir de los registros resistivos y de potencial espontáneo.

Las perforaciones ubicadas en el este del campo de bombeo (cercano al área urbana y al campo de bombeo anterior) presentan un claro efecto del ascenso de la interfase agua dulce – salada proveniente de la

Formación Paraná que subyace al acuífero de la Formación Puelche.

El esquema hidrogeológico conceptual que permitió definir la estructura del campo de bombeo proyectado y construido ha sido confirmado, completándose la información proveniente de las muestras de las perforaciones con un registro continuo de las variables geofísicas.

La técnica de testificación geofísica de sondeos con registros eléctricos, de potencial espontáneo y radiación gamma natural contribuye significativamente a la adecuada definición de los límites formacionales y se constituye en una adecuada herramienta para el diseño de perforaciones de explotación en un sistema complejo como el analizado, en donde la adecuada determinación de los límites de la interfase agua dulce – agua salada es clave la ubicación de los tramos filtrantes y garantizar la vida útil de las perforaciones de explotación.

REFERENCIAS

- ASTIER, J.L. (1982).** «Geofísica aplicada a la hidrogeología». Editorial Paraninfo. Madrid. España. 344 páginas.
- BOJANICH MARCOVICH, E. (1992).** “Recursos Hídricos Subterráneos de la Provincia de Santa Fe”. Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas, Facultad de Edafología, Universidad Católica de Santa Fe.
- D’ELÍA, M., O. TUJCHNEIDER, M. PARIS, M. PEREZ Y R. ARAVENA (2004).** “Técnicas isotópicas en la caracterización del flujo subterráneo en Esperanza y Paraná, Argentina”. En XXXIII IAH y VII ALSHUD Congreso. Selected Paper.
- DALLA COSTA, O. Y B. ACEÑOLAZA (2006).** “Diseño de perforaciones para riego de arroz”. En el libro: “El riego de arroz por perforaciones profundas. Su reconversión energética en Entre Ríos”. Editado por la UNER. 67-76.
- DRESSER ATLAS (1982).** «Sistemas de interpretación de perfiles de pozo abierto». Impreso en Estados Unidos. 52 páginas.
- FILÍ, M. Y O. TUJCHNEIDER (1977).** “Características geohidrológicas del subsuelo de la Provincia de Santa Fe”. Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral, Nro 8, pág.: 105-113.
- JOHNSON (1975).** «El agua subterránea y los pozos». Editor Johnson Screen. Estados Unidos. Saint Paul. Minnessotta. 513 páginas.
- TUJCHEIDER, O., M. PARIS, M. FILI, M. D’ELÍA Y M. PEREZ (1998).** Protección de aguas subterráneas. Caso de estudio: Ciudad de Esperanza (República Argentina). Primera Fase: Diagnóstico del sistema. IV Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Memorias. Vol. 2. 805-820.
- TUJCHEIDER, O., M. PARIS, M. FILI, M. D’ELÍA Y M. PEREZ (2002).** “Modelo de gestión de los recursos hídricos subterráneos en el Centro-oeste de la Provincia de Santa Fe (Argentina)”. Revista Latinoamericana de Hidrogeología. Vol. 2. 91-102.
- TUJCHEIDER, O., M. PEREZ, M. PARIS Y M. D’ELÍA (2004).** “Singularidad constitutiva de sistemas geohidrológicas de llanura y gestión de los recursos hídricos subterráneos”. En XXXIII IAH y VII ALSHUD Congreso. Selected Paper
- TUJCHEIDER, O., M. PEREZ, M. PARIS Y M. D’ELÍA (2005).** “Deterioro de fuentes de aguas subterráneas por ascenso de agua salada”. IV Congreso Argentino de Hidrogeología. Tomo II. 217-226.

PROFUNDIDAD DE INVESTIGACIÓN EN LOS SONDEOS GEOELÉCTRICOS REALIZADOS EN SITIOS POTENCIALMENTE CONTAMINADOS DE TAMBOS.

Losinno Beatriz N. ¹ y Sainato Claudia M. ¹

¹Cátedra de Física. Facultad de Agronomía. UBA Av. San Martín 4453 (1417) DSQ. Bs. As.

bnlosinno@fibertel.com.ar ; csainato@agro.uba.ar

Tel./Fax. 4524-8099

RESUMEN

Al obtener modelos de resistividad eléctrica de la tierra a partir de tomografías eléctricas, dada la no unicidad de la solución, se plantea la inquietud de saber si los parámetros del modelo representan la realidad. Es importante determinar la profundidad por debajo de la cual los datos no sostienen el modelo. El objetivo es comparar la profundidad de investigación de los arreglos Wenner y dipolo-dipolo en dos establecimientos lecheros donde el lixiviado de efluentes podría alcanzar el acuífero freático.

Se realizaron 18 sondeos geoelectricos en, diez con el arreglo Wenner, de la ciudad de Carmen de Areco (Bs.As) y ocho con arreglo dipolo-dipolo.

Se recurrió a dos métodos teóricos, uno se basa en la profundidad media de investigación a través de la tabla de Edwards (1977) y el otro utilizando el programa de inversión 2D (GIF) de Oldenburg y Li (1994), basándose en el cálculo del Índice de Profundidad de Investigación DOI (Oldenburg y Li, 1999).

Las profundidades "medias" de investigación teóricas para el arreglo dipolo-dipolo resultaron de 3,5m, mientras que para Wenner fue de 6,2m. Las profundidades de investigación obtenidas a través del DOI para el arreglo dipolo-dipolo arrojaron resultados entre 4 y 7,5 m, mientras que para Wenner fueron entre 9 y 15m.

El arreglo Wenner presenta mayor profundidad de investigación con los dos métodos teóricos mencionados. La resistividad de la ZNS no evidencia ser determinante en la profundidad de investigación.

Palabras claves: prof. de investigación, geoelectrica, Wenner, dipolo-dipolo, resistividad eléctrica.

ABSTRACT

Due to the lack of unicity at obtaining a model of electrical resistivity from electrical resistivity tomography, it is interesting to know if the parameters of the model agree with reality. It is important to determine the depth below which the model is no longer hold by the data. The aim was to compare the depth of investigation of Wenner and dipole-dipole array at two environmentally critical situations.

Two theoretical approaches were applied: one is based on the mean depth of investigation through the Edwards table (1977) and the other one using the inversion 2D programme (GIF) by Oldenburg and Li

(1994) for obtaining the models and based on the DOI depth of investigation index by Oldenburg and Li (1999). The mean theoretical depths were for dipole dipole 3.5 m and for Wenner 6.2 m. The depths obtained by the DOI were between 4 and 7.5 m for dipole dipole, while for Wenner in the range 9-15m. The Wenner array had greater depth of investigation with no influence of Non saturated zone.

key Word: depth of investigation, Wenner, dipolo-dipolo, dc resistivity.

INTRODUCCIÓN

Hay diferentes arreglos de electrodos que se utilizan en la exploración geoelectrica, los arreglos Wenner y dipolo-dipolo son de los más frecuentemente empleados para obtener imágenes de resistividad 2D y 3D.

Puede haber diferencias entre los distintos arreglos de electrodos, por ejemplo en la desviación entre datos predichos y el modelo observado, la profundidad de investigación etc.

El concepto de profundidad de investigación en los sondeos de resistividad lo introdujeron Conrad y Marcel Schlumberger en 1932 y ha sido discutido por muchos autores.

Edwards (1977) propuso considerar la profundidad "media" de investigación como el valor que divide en partes iguales el área bajo la curva que resulta de integrar la función de sensibilidad de Fletcher con la profundidad.

Oldenburg y Li (1999) analizaron la profundidad de investigación, evaluando las distintas profundidades de penetración teóricas alcanzadas por diferentes arreglos de electrodos en los modelos de inversión.

Es conocido el hecho de que la profundidad de investigación está relacionada con el espaciamiento básico y la máxima separación de electrodos (Torleif Dahlin & Bing Zhou ,2004)

Ésta proporciona el valor de la profundidad por debajo de la cual los datos experimentales son insensibles al valor de la resistividad de la tierra.

El objetivo es comparar la profundidad de investigación de los arreglos Wenner y dipolo-dipolo en tomografías eléctricas realizadas en sitios potencialmente contaminados por la actividad lechera y relacionarlo con las resistividades en la zona no saturada (ZNS).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 18 sondeos geoelectricos, diez con el arreglo Wenner, en un establecimiento lechero de la ciudad de Carmen de Areco (Bs. As) (Figura 1) y ocho con arreglo dipolo-dipolo en un establecimiento de las mismas características en las afueras de la ciudad de Venado Tuerto (Santa Fe) (Figura 2). Se utilizó un programa de inversión bidimensional (2D) (Oldenburg y Li, 1994) para obtener el modelo de resistividad eléctrica del subsuelo en el sitio.

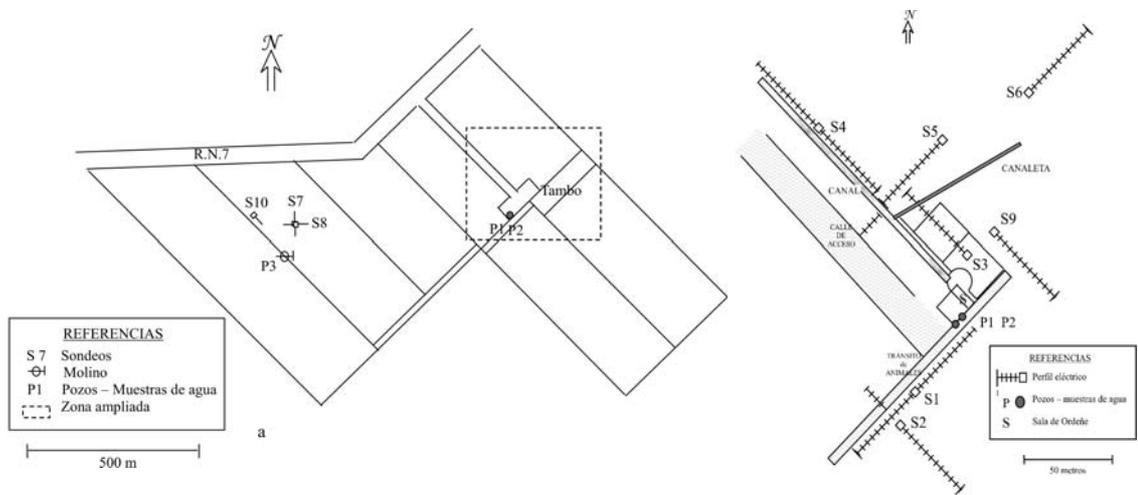


Figura 1. Plano general del establecimiento en Carmen de Areco y ampliación. Se muestran los sondeos geoelectricos (perfiles laterales). S7, S8, S10 Testigos, S1-S2 tránsito de animales, S3-S9 corral, S6 zona de alimentación y S4-S5 canal de efluentes

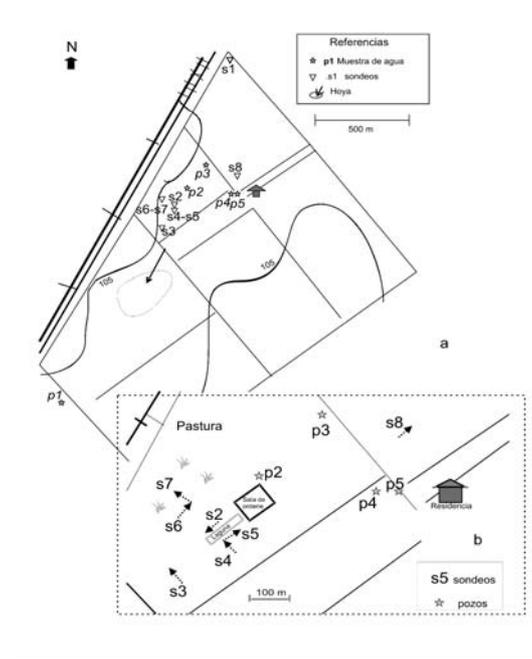


Figura 2. Plano general del establecimiento en Venado Tuerto y ampliación, con las curvas de nivel. Se muestran los sondeos geoelectricos, s1, s6 y s7 Testigos, s2 Tránsito, s3 zona de alimentación, s4 perpendicular a la laguna de efluentes, s5 paralelo a la laguna, s8 zona residencial.

Se calculó la profundidad de investigación teórica mediante dos métodos; el primero utilizando la tabla de Edwards (1977), que propuso considerar la profundidad "media" de investigación (Z) como el valor que divide en partes iguales el área bajo la curva que resulta de integrar la función de sensibilidad de Fletcher. Estas consideraciones son validas para subsuelos homogéneos.

Para la elaboración de la tabla se utilizaron los parámetros geométricos del dispositivo (a=espaciado entre electrodos, n=factor de separación del dispositivo y L= longitud máxima del sondeo) y los valores que se desprenden de dicha tabla para las condiciones de este ensayo, son:

<i>Tipo de dispositivo</i>		<i>Z/L</i>
Wenner	n = 6	0,173
Dip-dip	n = 6	0,216

Para el arreglo dipolo-dipolo $L=2a+na$ y para Wenner es $L=3na$,

El segundo método consistió en utilizar el programa de inversión 2D (GIF) de Oldenburg y Li (1999), que define a la profundidad de investigación como la profundidad por debajo de la cual los datos experimentales son insensibles al valor de la resistividad de la tierra.

El cálculo se basó en del Índice de Profundidad de Investigación (DOI), que cuantifica las diferencias entre posibles modelos. Sean dos inversiones llevadas a cabo con modelos iniciales m_{1r} y m_{2r} , se define el DOI:

$$DOI = [m_1(x, z) - m_2(x, z)] / (m_{1r} - m_{2r})$$

Con z la coordenada de profundidad y x la posición en el perfil. Se tomó un valor de *cutoff* de 0,2 que me permite eliminar del modelo la zona de baja credibilidad ya que los valores cercanos a 1 presentan baja credibilidad.

Se graficaron dichas profundidades de investigación en función de la resistividad promedio obtenida de la inversión para la ZNS en cada sitio.

RESULTADOS

El cálculo de las profundidades de investigación teóricas, utilizando la tabla de Edwards y los parámetros geométricos $a=2m$, $n=6$; con la longitud máxima del dispositivo para el arreglo dipolo-dipolo $L= 16m$ resultó una profundidad (Z) de 3,5m, mientras que para el arreglo Wenner ($L= 36m$) arrojó una profundidad de 6,2m.

Los resultados de la inversión se analizaron en Losinno et al (2006) habiéndose observado anomalías de alta conductividad eléctrica (CE) en la ZNS y en el agua freática en los sitios con mayor densidad de animales. Las zonas aledañas a la sala de ordeño fueron las más críticas en el caso del tambo en Carmen de Areco, mientras que en el de Venado Tuerto lo fue la zona de alimentación.

Las profundidades de investigación obtenidas a través del DOI para el arreglo dipolo-dipolo arrojaron resultados entre 4 y 7,5 m (Figura 3), mientras que para Wenner fueron entre 9 y 15m (Figura 4) según el sitio. Estos valores de profundidad permitieron visualizar los contrastes de resistividad en ZNS como en la zona saturada, determinando el nivel freático a los 2 m y corroborando CE altas en el acuífero freático.

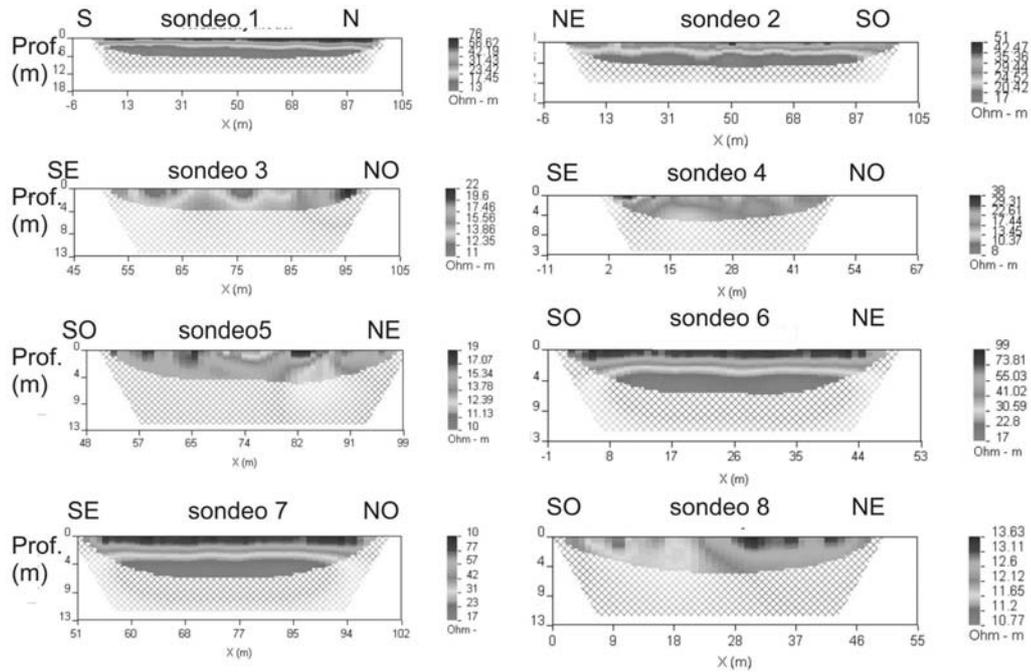


Figura 3. Modelos de resistividad eléctrica de la tierra (en ohm m) en Venado Tuerto, hasta la profundidad de investigación.

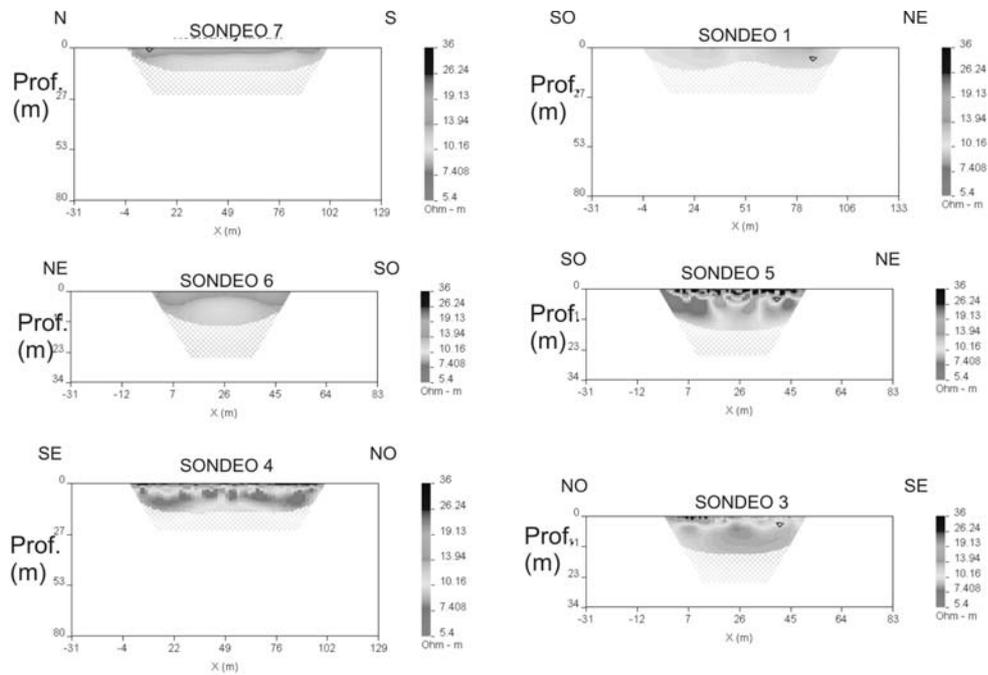


Figura 4. Algunos de los modelos de resistividad eléctrica de la tierra (en ohm m) en Carmen de Areco, hasta la profundidad de investigación.

Las profundidades de investigación en función de la resistividad de la ZNS se observan en la figura 5. No presentaron una tendencia definida, en el caso de dipolo-dipolo estas se independizan de la resistividad de la ZNS.

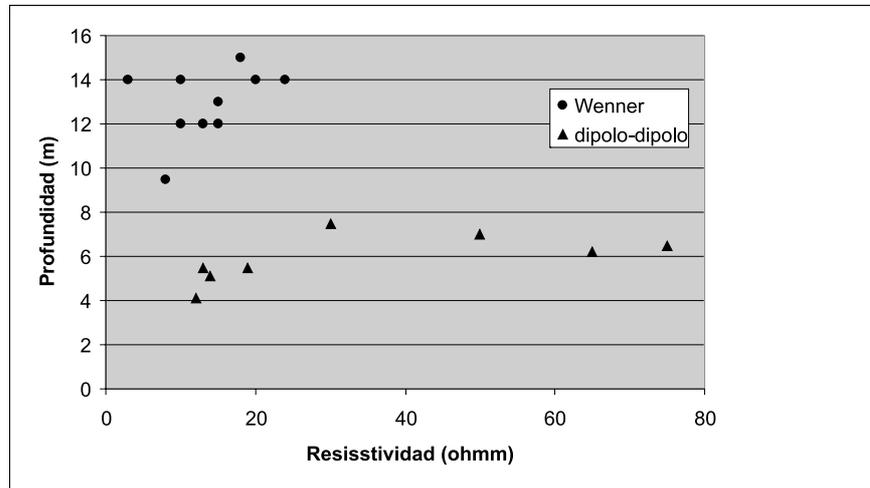


Figura 5. Profundidad de investigación en función de la resistividad (ohm m) para los arreglos Wenner y dipolo-dipolo.

CONCLUSIONES

Tanto los valores teóricos calculados a través de la Tabla de Edwards como los obtenidos a través del DOI presentan mayor profundidad de investigación para el arreglo Wenner, siendo los valores obtenidos en el primer cálculo la mitad que los obtenidos mediante los modelos de inversión de los datos experimentales.

La resistividad de la ZNS no evidencia ser determinante en la profundidad de investigación.

REFERENCIAS

- EDWARDS, L.S. (1977).** "A modified pseudosection for resistivity and IP" *Geophysics* vol 42: 1020-1036. ISSN 00168033
- LOSINNO, B. N¹, C. M. SAINATO¹, H. J. MALLEVILLE¹, S. ARAMENDI¹, G. GALINDO.², M. A. HERRERO.³, (2006).** "Efectos de la actividad lechera en las propiedades del agua subterránea y del suelo". *Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta, Septiembre del 2006.* CDRom.
- OLDENBURG, D.W. & Y LI. (1994).** Inversion of Induced Polarization Data, *Geophysics*, vol 59: 1327-1341.
- OLDENBURG, D.W. & Y LI. (1999).** "Estimating depth of investigation in dc resistivity and IP surveys" *Geophysics*, vol 64: 403-416.
- TORLEIF DAHLIN & BING ZHOU (2004)** 'A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays' *Geophysical Prospecting* 52 (5), 379-398.

GEOFÍSICA APLICADA A LA HIDROGEOLOGÍA EN LA PROVINCIA DE TUCUMAN

Alfredo Tineo –Norberto Ponti

24 de Septiembre 1021 9ª C (4000) S. M de Tucumán-(R. A)

Tel.Fax (0381)4214777.email: atineo@tucbbs.com.ar

RESUMEN

Las características geológicas de la Provincia de Tucumán, donde se han diferenciado (5) cinco cuencas hidrogeológicas importantes, en base a sus ambientes geológicos, geomorfológicos e hidrometeorológicos, permite la aplicación de técnicas de investigación geofísica, debido a los significativos contrastes en los valores eléctricos registrados en el subsuelo que facilitan la correlación de los niveles infrayacentes.

En los valles intermontanos del Oeste(Tafí del Valle y Valle del Río Santa Maria) y del Norte(Tapia-Trancas) y en el faldeo Oriental de Sierras de Aconquija, donde se han desarrollado importantes abanicos aluviales, los contrastes eléctricos registrados entre la zona no saturada y los sedimentos granulares saturados, son determinados con muy buena aproximación, como así también el sustrato limo-arcilloso de la base, lo que permite proyectar mapas de Isoprofundidad del techo del acuífero, Isoprofundidad de la base de la zona saturada, Isopaquicos de la zona saturada y la preparación de Perfiles Geoeléctricos que facilitan la correlación de los horizontes con valores eléctricos similares.

En el ambiente de la Llanura Oriental, donde se han diferenciado dos cuencas Hidrogeológicas, la de Burreyacu al Norte y la del Río Salí al Sur, la cubierta de edad cuaternaria esta representada por niveles de pelitas y Loess con escaso desarrollo en la sección superior, a la cual infrayacen niveles de arenas y gravas que disminuyen su granulometría hacia el Este, que superan los 100m de espesor, sin embargo se ha podido determinar un Sistema Acuífero Inferior, en niveles de arenas cuarzosas medianas a finas intercaladas con potentes paquetes limo-arcillosos de edad Terciaria Superior(Plioceno) con excelentes rendimientos, por debajo de los 200 m. de profundidad, con niveles de surgencia natural y anomalías térmicas y que pueden ser identificadas por su repuesta eléctrica y realizar una correlación que permita interpretar el modelo conceptual del subsuelo.

Se destaca la importancia del trabajo interdisciplinario entre los geofísicos y los hidrogeólogos, sobre la base de una interpretación geológica conceptual de la cuenca lo que facilita la interpretación de los valores eléctricos registrados.

Palabras Claves: Geofísica –Hidrogeología -Tucumán.

ABSTRACT

Based on the geological characteristics that the Province of Tucuman presents, there have been differentiate five hydrogeological basins which allow the use of geophysical research techniques due to the significant contrast in the registered electrical values in the underground; These technique permits the correlation of the lower levels.

And in the development of alluvial fans allow to determine the non-saturated zone and the granular sediments

saturated as well as the clay in the substratum.

It is highlighted the significance of the interdisciplinary work between geophysics and geologist, which facilitates the interpretations of the registered electrical values.

Keywords: Geophysics- Hydrogeology- Tucuman.

INTRODUCCIÓN

La Provincia de Tucumán es reconocida por la riqueza de sus recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos. Con un importante régimen de precipitaciones pluviales en la época estival, se desarrolla una densa red de ríos y arroyos en gran parte del territorio provincial, permitiendo además la recarga de los reservorios de agua en el subsuelo.

Los niveles acuíferos poseen agua de buena calidad y en caudales importantes, lo que permite su explotación económica. Se desarrollan fundamentalmente en sedimentos de edad cuaternaria, aunque en algunos sectores de la llanura oriental, han sido determinados en sedimentos finos del Terciario alto (Plioceno).

El desarrollo de los sedimentos aluviales de edad cuaternarios en los valles intermontanos, tienen espesores de más de 150 m. y en el borde de Sierras de Aconquija y abanico aluvial del río Salí, superan los 200 m de espesor.

En el flanco oriental de las sierras las precipitaciones pluviales son mayores, lo que permite una buena recarga de los acuíferos subterráneos; en cambio hacia el oeste, la disminución de las lluvias y la gran insolación provocan un elevado índice de aridez.

Atendiendo a las características geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas, se han podido diferenciar tres ambientes hidrogeológicos denominados según la región que ocupan: "Provincia Hidrogeológica de los Valles Intermontanos de Las Sierras Pampeanas", que cubre la cuenca hidrogeológica del valle del río Santa María y Tafí del Valle, ubicados en el sector oeste del territorio provincial; "Provincia Hidrogeológica de Los Valles Intermontanos de Sierras Subandinas", que cubre la cuenca hidrogeológica de Tapia -Trancas en el sector centro - norte de nuestro territorio y "Provincia Hidrogeológica Tucumano – Santiagueña", que cubre las cuencas hidrogeológicas de la llanura oriental y se extiende hacia el este hasta sobrepasar el límite provincial con Santiago del Estero. (Tineo et al., 1993).

CUENCA DEL RÍO SANTA MARÍA. *Valles Intermontanos de las Sierras Pampeanas.*

El valle de Santa María constituye una amplia depresión tectónica con rumbo sud-sudoeste- nor-noreste, desarrollado entre bloques de basamento de las sierras del Cajón o de Quilmes al oeste y las Cumbres Calchaquíes - Aconquija al este. Se extiende desde la provincia de Catamarca hasta la provincia de Salta, desarrollando su área central en territorio tucumano con una superficie total de la Cuenca Hidrográfica de 1.730 Km².

Los bordes de las cuencas están constituidos por rocas metamórficas de las sierras antes mencionadas, con escasa permeabilidad secundaria debido a la presencia de diaclasas y fracturas y elevado escurrimiento superficial.

En la zona del borde oriental del valle afloran sedimentitas mesozoicas y terciarias con material fino, compacto, con una baja permeabilidad primaria y alta peligrosidad salina de escaso interés hidrogeológico.

El relleno cuaternario se desarrolla en niveles de glaciares, abanicos modernos y terrazas de acumulación,

con material aluvional grueso hasta niveles de pelitas intercaladas.

Estos sedimentos ocupan una superficie de 100 Km.² en territorio tucumano, constituyendo los principales reservorios de agua subterráneas en la cuenca.

Las precipitaciones en el valle son del orden de los 200 mm anuales, decreciendo hacia el oeste hasta valores de 150 mm. en el faldeo oriental de la sierra del Cajón o de Quilmes. Las temperaturas medias anuales varían entre 14° C y 16° C, siendo la media del mes de enero de 20° C y la media del mes de julio 8° C. El clima de la región es desértico, frío, con lluvias de verano e invierno seco. De acuerdo a la clasificación de Köppen, sería: BW kwb.

El río Santa María que corre de Sur a Norte, es el colector principal del valle y recibe los afluentes que descienden de las Sierras de Quilmes. La cuenca de Santa María tiene un marcado déficit hídrico anual, recibiendo sólo un mínimo aporte de las precipitaciones en la zona de los abanicos adosados en la Sierra de Quilmes. Finalmente, recibe también el agua que se infiltra directamente del río principal y de otros ríos menores, como el río de Amaicha y los que bajan de las Sierras de Quilmes.

Existen otras zonas, como el caso de Amaicha del Valle, donde la tectónica local ha permitido una acumulación considerable de material permeable, aunque de menor rendimiento que la zona baja de la cuenca.

El agua obtenida en las perforaciones de la cuenca es apta para el consumo humano y la hacienda y de buena calidad para riego (C2 S1).

Estudios recientes realizados sobre la base de nuevas perforaciones permitieron conocer la importancia de los abanicos aluviales de las sierras de Quilmes, desde Santa María a Cafayate donde se encuentran los principales reservorios de agua subterránea de la zona. Se considera que estos depósitos, tienen un gran desarrollo, sobrepasando su parte distal la línea del cauce actual del río Santa María, con lo que explicaría los niveles de surgencia natural encontrados en áreas vecinas al río en ambas márgenes.

Los trabajos de prospección geofísica en la zona de los valles del río Santa María se iniciaron en el año 2004 en territorio tucumano, para la comunidad indígena de Quilmes, y en Amaicha del Valle y Colalao del Valle en el 2006, para el SePAPyS.

En los primeros se realizaron Sondeos Eléctricos Verticales en línea Norte-Sur en ambos márgenes del río Santa María vinculados con S.E.V. en el mismo cauce y pendiente arriba de los abanicos aluviales de las Sierras de Quilmes.

De esta manera se realizaron perfiles geoeléctricos de correlación de valores de resistividad en sentido Norte-Sur y transversales en sentido Este-Oeste.

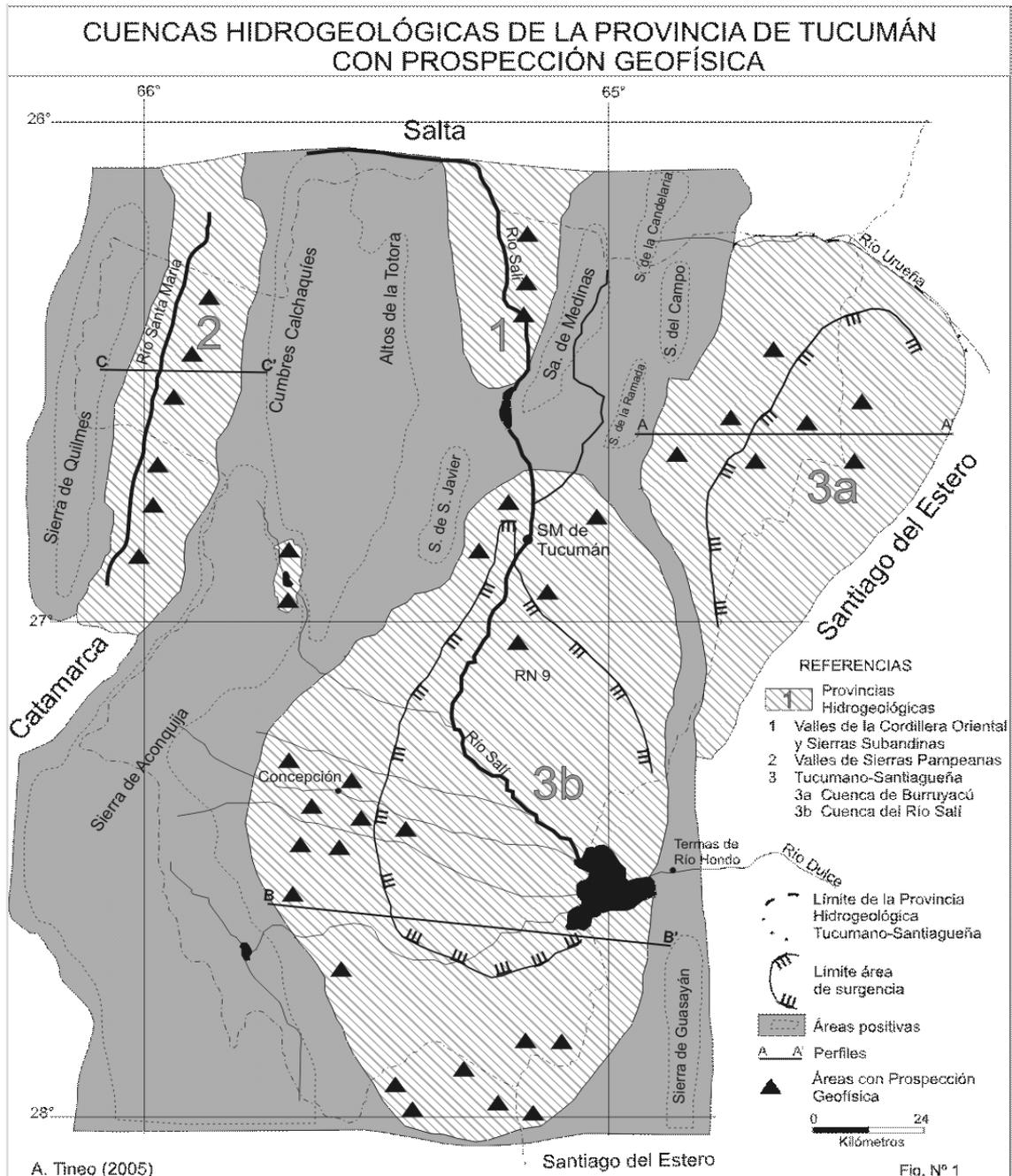
Los contrastes eléctricos registrados nos permitieron interpretar la zona no saturada, la zona saturada con un sistema acuífero superior, un sistema acuífero inferior que alcanza a más de 200 m de profundidad y una base conductora que representa el hidroapoyo, interpretada como sedimentitas finas de baja permeabilidad.

En base a esta interpretación se determinaron profundidad de los niveles saturados y profundidad de la base, es decir espesores. En todos los casos las interpretaciones se realizaron a partir de zonas con información de perforaciones lo que facilitó la extrapolación de la información.

En base a las curvas tipo, los perfiles geoeléctricos y los mapas confeccionados con la información del modelo geológico, se recomendaron los diseños de perforaciones para explotación de agua subterránea en el futuro.

CUENCA DE TAFÍ DEL VALLE. Prov. Hid. Valles Intermontanos Sa. Pampeanas.

La cuenca de Tafí del Valle está ubicada al oeste de la ciudad de San Miguel de Tucumán, ocupando una depresión tectónica cuya superficie es del orden de los 400 km², con rumbo nor-noroeste-sud-sudeste. Está limitada por bloques de basamento metamórfico, afectados por intrusiones graníticas de las sierras del Aconquija por el oeste y las Sierras Centrales por el este. El complejo rocoso presenta una considerable permeabilidad secundaria debido a la densa red de fracturas y diaclasas que lo afectan.



Por encima del basamento mencionado, se encuentran relictos de una cubierta sedimentaria de edad terciaria que se observa al este de La Angostura y una brecha en el límite occidental de la cuenca, posiblemente de la misma edad.

El relleno cuaternario del valle, está representado por sedimentos aluvionales gruesos, constituyendo abanicos y glaciares antiguos y depósitos de loess.

Es un valle intermontano con 400 mm anuales de precipitación. La temperatura media anual es de 18° C. Los inviernos son secos. Los veranos son templados. En conjunto, estas características indican para esta cuenca, un clima de estepa - frío con inviernos secos y veranos templados. Según la clasificación de Köppen, sería: BS kwb. (Torres Bruchmann, 1978)

El colector principal del valle es el río La Angostura o de Taffí del Valle, que circula con rumbo paralelo a las estructuras del valle. Recibe por su margen izquierda numerosos arroyos que descienden de las Cumbres Calchaquíes, como el río de La Puerta y el arroyo de la Quebradita, el cual es aprovechado para la provisión de agua potable a la localidad de Taffí del Valle. Por su margen derecha colectan los ríos Blanco, de La Ovejería, de Las Carreras y de El Mollar. El agua superficial es de buena calidad y es utilizada para el consumo humano, riego y hacienda. Están caracterizados por un régimen estacional que los mantienen secos o con escaso caudal gran parte del año.

La zona con mayores posibilidades para la explotación del agua subterránea se ubica en la zona de El Churqui, y en El Mollar, allí se ha desarrollado un importante abanico aluvial donde se asienta la villa, con buenos reservorios de agua en el subsuelo. Además, en una franja desarrollada en ambos márgenes del río Taffí del Valle, entre la Villa homónima y La Angostura. Esta área totaliza aproximadamente 60 Km² del reservorio adecuado para el almacenamiento de agua subterránea. (Tineo, 1996, 2005).

Desde el borde de las Sierras de Mala Mala, se desarrollan una serie de abanicos aluviales coalescentes que forman importantes reservorios de agua en el subsuelo. Las perforaciones de El Triángulo y Puesto de Vialidad Provincial, sobre la ruta de acceso a Taffí, confirman la existencia de niveles productivos de buena calidad. Estudios geofísicos recientes y nuevas perforaciones han permitido correlacionar algunos niveles del subsuelo en el valle.

En la zona antes señalada, se han realizado cuatro perforaciones, y alcanzado seis niveles acuíferos hasta los 180 m, máxima profundidad alcanzada a la fecha con caudales específicos de 4 m³/h/m. Las aguas obtenidas son de buena calidad para todo uso.

En la zona de Taffí del Valle se hicieron S.E.V. en el año 2001 para la empresa Aguas del Aconquija para definir áreas de perforaciones para abastecimiento de agua potable y en El Mollar en el 2005 para SePAPyS.

CUENCA TAPIA-TRANCAS. *Prov. Hid. Valles Intermontanos Sa. Subandinas.*

La Cuenca de Tapia-Trancas comprende el sector centro-Norte de la Provincia de Tucumán, y se encuentra limitada al Este por las Sierras de Medina, al Oeste por las serranías de Raco y por las Cumbres Calchaquíes; al Sur, el cierre se efectúa por el Morro del Cadillal y los Bordos del Saladillo.

La cuenca está constituida por formaciones que van desde el Paleozoico al Cuaternario que sufrieron plegamientos y fallamientos dando lugar a la formación de un valle longitudinal.

La zona alta de la cuenca está constituida por rocas del basamento de escasa permeabilidad secundaria y en los bordes se encuentra una secuencia mesozoica-terciaria con rocas no aptas para la explotación del agua subterránea. Al pie de las escarpas de falla, se formaron los depósitos aluviales y en las zonas profundas del valle, se depositaron los sedimentos cuaternarios portadores de agua de buena calidad, sobre sedimentitas de la Fm. India Muerta, del Terciario Superior (Plioceno), con niveles permeables saturados.

La zona cuenta con una precipitación anual de 600 mm en la zona baja, aumentando la magnitud de las precipitaciones en dirección Oeste hasta llega a los 800 mm anuales en las altas Cumbres Calchaquíes. Las lluvias son periódicas y de la estación seca en invierno.

La temperatura media anual es superior a los 18° C. El clima de esta región es un clima seco de estepa, caracterizado por la escasez de precipitaciones pluviales y con grandes pérdidas por evapotranspiración. Según la clasificación de Köppen sería: BS hwa.

La extensión de la cuenca hidrográfica superficial, es del orden de los 3.900 Km² con una precipitación anual de 3.188 Hm³ y una evapotranspiración de 2.706,8 Hm³, con un escurrimiento superficial medido en El Cadillal de 417,5 Hm³, lo que da una infiltración de 63,7 Hm³ por año (Minetti, 1979).

La zona con posibilidades de explotación del recurso hídrico subterráneo, se reduce notablemente debido a las características del reservorio, que cuenta con un mayor desarrollo en el área donde se observa una mayor amplitud del valle, En Vipos, Villa Benjamín Paz y Trancas. (Tineo, 2006).

La posibilidad de utilización de aguas superficiales, es posible en los río Tala, Acequiones, Vipos, Choromoro, Candelaria y Salí, el resto son arroyos temporarios, que se encuentran secos gran parte del año. Esta cuenca cuenta con un importante aprovechamiento superficial en su extremo sur con el dique El Cadillal, que produce energía hidroeléctrica y regula los caudales de la cuenca baja del Salí, además es una fuente importante del abastecimiento de agua potable en la Capital.

La descarga de los ríos Vipos, Choromoro y Acequiones al valle principal ha formado depósitos de abanicos aluviales que permiten la acumulación de aguas subterráneas en niveles permeables con mayor desarrollo.

En el sector Norte de la cuenca, río Acequiones, Trancas y El Tala, se realizó una prospección geoelectrica por el C.F.I. (1987) A partir del año 2003 realizamos Sondeos Eléctricos en fincas de la zona y estudios geológicos-geomorfológicos de base. En el año 2005 analizamos la cuenca del río Choromoro en detalle y en el 2007 hicimos lo propio en la cuenca del río Acequiones y El Tala, para organismos nacionales.

Se preparó una red de S.E.V., incluyendo la información anterior y datos de nuevas perforaciones, con lo que logró un modelo conceptual para el abanico aluvial del río Choromoro, para el paleocauce del río Acequiones y la zona al Este de Trancas, en base a la correlación de niveles mediante perfiles geoelectricos y mapas de isoprofundidad de la base o hidroapoyo, se realizaron propuestas de diseño de perforaciones, distanciamiento mínimo, profundidad y diámetros a entubar para un aprovechamiento integral del reservorio.

CUENCA DE LA LLANURA ORIENTAL. *Prov. Hid. Tucumano –Santiagueña.*

La Cuenca de la Llanura Oriental es la más importante de las cuencas hidrogeológicas del territorio, abarcando la Provincia Hidrogeológica denominada Tucumano- Santiagueña. La cubeta sedimentaria cuaternaria donde se encuentra una de las cuencas artesianas más importantes, ocupa una superficie de 8.000 Km².

Se desarrolla desde el borde oriental de la zona montañosa, que se extiende de sur a norte en el territorio provincial, hasta sobrepasar el límite con la provincia de Santiago del Estero al este, donde continúa en profundidad, desde el límite norte con la provincia de Salta hasta sobrepasar el límite sur con la provincia de Catamarca.

Dentro de este gran ambiente sedimentario, es donde se localiza el mayor desarrollo de los niveles cuaternarios, con más de 200 m de espesor, determinados por estudios geofísicos.

Se distinguen importantes variaciones en el subsuelo que permiten hacer una división de la Llanura Oriental en dos cuencas hidrogeológicas: La Cuenca del Nordeste o de Burruyacu y la Cuenca del Río Salí. (Tineo *et al.*, 1984).

CUENCA DEL RÍO SALÍ.

Se desarrolla en la llanura tucumana desde los bordes de las Sierras del Aconquija y Cumbres Calchaqués por el Oeste, hasta el límite con la provincia de Santiago del Estero, por el Este; su límite norte está marcado por la Dorsal de Tacanas y el sur, por la Sierra de Ancasti, provincia de Catamarca. Cubre de esta forma la zona de máximas precipitaciones y con el mayor desarrollo de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, conformando una de las cuencas artesianas más importantes del país.

Las lluvias alcanzan hasta los 2.000 mm anuales en la zona de la alta cuenca de los ríos Gastona y Medinas, decreciendo hacia el límite con la provincia de Santiago del Estero hasta los 600 mm anuales.

El ambiente de borde corresponde a la zona escarpada de las sierras que conforman los bordes de cuenca, con afloramientos de rocas cristalinas del basamento y de la cobertura cretácico-terciaria, que en parte se encuentran cubiertas por relictos de niveles aterrizados antiguos.

El ambiente de piedemonte ubicado entre cotas de 350 y 500 m.s.n.m., con pendientes del orden de 2 %, presenta depósitos de abanicos aluviales y niveles aterrizados, con granometría decreciente hacia la llanura donde se interdigitan con depósitos más finos.

La presencia de sedimentos gruesos con elevada permeabilidad en un área con pendientes moderadas, favorece la infiltración de agua y la recarga de los acuíferos de la cuenca.

El brusco cambio de pendiente facilita la depositación del material sólido que transportan los ríos generando desbordes e inundaciones, en sectores con elevados índices poblacionales donde se ubican las ciudades más importantes de la provincia, Tafí Viejo, San Miguel de Tucumán, Monteros, Concepción, Aguilares y Alberdi entre otras.

El ambiente de llanura ubicado entre cotas de 250 y 350 m.s.n.m con pendientes suaves del orden de 0,2 %, presenta depósitos fluviales y eólicos modernos, de llanura aluvial y de interfluvios caracterizados por arenas y gravas con intercalaciones de limos loésicos y arcillosos.

Los bordes de la Cuenca del Río Salí están constituidos por rocas del basamento ígneo-metamórfico de edad Precámbrico superior-Cámbrico inferior, que constituyen las Sierras de Aconquija, Cumbres Calchaqués y Sierras de San Javier, por el Oeste; las Sierras de la Ramada y Medina, por el Norte; la Sierra de Ancasti por el Sur y la Sierra de Guasayán al Este y su continuación en subsuelo del máximo estructural de la Dorsal de Tacanas.

Adosados al basamento se observan afloramientos elongados en sentido norte-sur de sedimentitas cretácico-terciarias, que constituyen estructuras que acompañan los movimientos de unidades más antiguas.

Las sedimentitas atribuidas al Terciario, Mioceno medio-superior perteneciente a la Formación Río Salí son predominantemente pelíticas, con arcilitas, margas, areniscas, calizas, yesos y tobas de colores verdes, amarillos y grises.

En discordancia sobre la Formación Río Salí (Mioceno), se encuentran potentes horizontes de sedimentitas continentales de la Formación India Muerta, atribuidos al Plioceno, constituidas por limos arcillosos pardos con arenas y gravas cuarzosas seleccionadas.

La sección superior está formada por una cubierta moderna con desarrollo de suelos limo-arenosos y paquetes limo-loésicos, con espesores variables entre 4 y 30 m. Le continúan niveles permeables constituidos por gravas gruesas a conglomerados que disminuyen su granulometría hacia el este y es donde se encuentran los niveles acuíferos altos. El cuaternario basal, está constituido por gravas y arenas intercaladas con material limo arcilloso que conforman los acuíferos artesianos en la zona.

Desde la zona de borde presenta una serie de abanicos aluviales de gran magnitud que caracterizan a esta cuenca, siendo los principales: el abanico aluvial del río Salí, el abanico de Lules y desde allí hacia el sur, hasta Alberdi - La Cocha, una serie de abanicos coalescentes de las cuencas afluentes del río Salí.

El abanico aluvial del río Salí (Tineo, *et al.*, 1995) fue definido recientemente como uno de los reservorios de aguas subterráneas más importantes de la provincia. Se extiende desde la latitud de la ciudad Capital y Banda del río Salí hacia el sudeste, con una superficie del orden de los 2.000 Km².

La zona apical, ubicada entre la Banda del Río Salí y San Andrés, presenta niveles de grava gruesa a conglomerádica con rodados de metamorfitas gris oscura y escasos niveles limo-arcillosos. Tiene espesores variables entre 70 y 150 m, con acuíferos de buen rendimiento y buena calidad.

La zona media se ubica a la altura de El Bracho-Mancopa hasta Aguas del Azul y Cañada de Viclos, con espesores que superan los 300 m de profundidad. Se caracteriza por niveles de arenas gruesas y gravas de rocas metamórficas gris oscura, con intercalaciones limo-arcillosas rosadas, que le confieren un confinamiento. En esta zona se han determinado niveles de surgencia natural por debajo de los 80 m de profundidad. En El Bracho se ha realizado una perforación a 300 m de profundidad con una producción de 220 m³/h por surgencia natural; En la Cañada de Viclos a 200 m de profundidad se ha explotado un acuífero con 100 m³/h de surgencia natural.

En la zona distal del abanico aluvial, los sedimentos son más finos, determinándose un área de surgencia natural, aunque con menor caudal en La Encrucijada, Campo Azul y Los Herrera.

En toda la zona que abarca el gran abanico aluvial del río Salí, se desarrolla una importante actividad agrícola y una elevada densidad de población, lo que permitirá en el futuro un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos.

El borde oriental de las sierras de San Javier presenta una serie de abanicos aluviales con buen desarrollo desde Tafí Viejo hasta Lules. Los sedimentos gruesos de estos abanicos, cubren una importante superficie en el área pedemontana y se extienden hacia el este, alcanzando la depresión del Bajo Hondo, con intercalaciones limo-arenosas en la zona distal de los mismos con espesores de 200 m, con niveles de surgencia natural.

A partir del río Lules, una importante cantidad de afluentes del río Salí caracterizan la región con sus

aportes hídricos, destacándose la gran cuenca de los ríos Colorado-Balderrama, Seco, Gastona, Medina y Marapa. En este ambiente la presencia de horizontes permeables en profundidad y con la recarga antes mencionada, presentan las condiciones más adecuadas para la explotación de aguas subterráneas.

En sus estudios realizados a principios de siglo, Stappenbeck (1915, 1916, 1921) ha demarcado la zona de surgencia que cubre toda la llanura tucumana, desde el Espolón de Tacanas al sur y por el oeste desde la línea de la ruta nacional N° 38 al este, alcanzando estas características hasta las proximidades de Juan Bautista Alberdi.

En el extremo sur, la cuenca recibe los aportes de los ríos Huacra-San Francisco, El Abra y Ovanta, que nacen en territorio catamarqueño y forman importantes depósitos en abanicos que sobrepasan el límite con Tucumán, alcanzando la ruta N° 334 que une La Cocha con Taco Ralo. Se han determinado importantes reservorios de agua en la zona de Palancho, Colonia Nicolás Avellaneda y Los Vázquez, con caudales específicos entre 30 a 50 m³/h/m y agua de buena calidad que se utiliza para riego.

Aunque no se cuenta con un relevamiento geotérmico completo, se pueden señalar los pozos surgentes de Talamuyo, en el Departamento de Alberdi, que encontró niveles acuíferos a 450 m de profundidad con temperaturas de 38°C; Taco Ralo, que explota agua semisurgente a 398 m de profundidad, con temperaturas de 39°C; Viltrán, surgente con 42°C; Los Páez, también surgente con 46°C y Puesto del Medio, a 4 Km al sur del anterior, con un caudal de 100 m³/h por surgencia natural y una temperatura de 50°C a 412 m de profundidad, todos en el departamento Graneros. (Iglesias *et al.*, 1989).

La Provincia de Tucumán, cuenta con un importante recurso hídrico subterráneo, especialmente por las condiciones artesianas con niveles positivos en la Llanura Oriental. A fin de preservar este recurso, es necesario un control adecuado en la explotación irracional de los llamados “pozos surgentes”, los cuales se encuentran abiertos, en producción permanente, con pérdidas de agua y presión, con lo que se deterioran las condiciones del recurso en el subsuelo a la vez que la circulación de agua en exceso, afecta la calidad de los suelos por donde circula.

CUENCA DEL NORDESTE O DE BURRUYACU.

La cuenca hidrogeológica de Burruyacu se desarrolla en el sector noreste de la provincia y se extiende desde la sierra de La Ramada y del Campo hacia el este, hasta sobrepasar el límite con Santiago del Estero y hacia el sur, su límite llega hasta la prolongación de la sierra de La Ramada en profundidad con el espolón de Tacanas, que divide las características estructurales del subsuelo. Este máximo estructural en la llanura tucumana, tiene una gran importancia en el control del flujo subterráneo y está orientado hacia el extremo norte de las sierras de Guasayán, con cuya estructura está asociado en profundidad.

En el límite oriental de la cuenca, afloran rocas del basamento con escasa permeabilidad secundaria que permite un rápido escurrimiento hacia la llanura del este. Adosado al basamento afloran sedimentitas Cretácicas y Terciarias que se prolongan en el subsuelo de la llanura vecina y constituyen el substratum de la llanura ondulada. Esta última se extiende hasta sobrepasar la ruta provincial N° 319, desde Benjamín Aráoz hasta Cañete y Tacanas hacia el sudeste. En este ambiente los sedimentos cuaternarios presentan buen espesor, con niveles conglomerádicos en antiguos niveles de glaciares en la zona de borde, disminuyendo la granometría hacia la llanura del este y sur de la cuenca.

Sobre la base de perforaciones realizadas recientemente y a estudios geofísicos, se ha determinado la existencia de sedimentos de edad cuaternaria, con niveles constituidos por arenas y gravas de buen espesor, en la zona de La Ramada, La Cruz, Benjamín Aráoz y El Azul.

En la zona se destaca el abanico aluvial del río Tajamar o Cajón, donde se determinaron niveles permeables portadores de agua subterránea en un amplio abanico dentro de la llanura. Hacia el este se desarrolla la llanura deprimida, cuyos límites coinciden en líneas generales con la zona demarcada por Stappenbeck (1921) para la zona de surgencia. Nuevamente se destacan en subsuelo sedimentos finos del Cuaternario de escaso espesor, el cual se hace difícil diferenciar de las sedimentitas pliocenas más profundas.

Las precipitaciones en las laderas orientales de las sierras del Medina, Nogalito, Del Campo y La Ramada son del orden de los 800 a 1.000 mm anuales. Las temperaturas medias anuales varían entre 14° C y 18° C, con máximas en el verano 19° C a 34° C y mínimas para el invierno entre 8° C a 12° C. Las características para esta región indican un clima templado moderado lluvioso, de invierno seco no riguroso, de pradera. Según la clasificación de Köppen sería: C wah y BS hwa en la zona baja.

La zona de la llanura oriental donde se encuentran las cuencas de Burruyacú al Norte y la cuenca del río Salí al Sur, han sido estudiadas en forma parcial con prospección geofísica a partir del año 1994, con los primeros S.E.V. ejecutados para estudiar los niveles freáticos entre Concepción y Aguijares para el anteproyecto del “Canal Federal”.

A partir de esa fecha se han ejecutado un gran número de S.E.V. en fincas para abastecimiento de agua para riego, desde Aguas del Azul, San José, Santa Teresita, Las Pampas Taruca Pampa, El Diamante y la realizada en la zona de La Ramada-La Virginia 8Falcón, C- Tesis Doctoral), con las que se interpretaron posteriormente formando una red de correlación (Tineo, *et. al.* Granada 1999). En la cuenca del río Salí además se realizaron S.E.V. en la zona de Tafí Viejo para abastecimiento de agua al emprendimiento habitacional Lomas de Tafí (2005), Trapaní, El Bracho, la zona del Canal Federal, Aguijares-Los Sarmientos, Alberdi-Marapa, Taco Ralo y otros vinculados a la zona del borde Sur de la cuenca del río Salí en La Zanja-Los Altos- San Pedro de Guasayán.

Mediante el apoyo de perforaciones existentes y el modelo geológico del área, se interpretaron los S.E.V., que permitieron diferenciar en el sistema acuífero superior las (2) dos cuencas hidrogeológicas de la llanura oriental y continuidad sedimentaria de edad Terciaria superior (Plioceno), que tiene importantes reservorios de agua en niveles de arenas cuarzosas medianas a finas, por debajo de los 200 m. de espesor, en su mayoría con niveles de surgencia natural y anomalías termales, que se utilizan para abastecimiento humano y ganadería en toda la zona del Este tucumano hasta sobrepasar el límite con la Provincia de Santiago del Estero.

Es de destacar que en estos paquetes sedimentarios predominan los niveles limo-arcillosos con valores de 12 ohm.m 6 ohm.m o menos, donde se intercalan los niveles arenosos con valores superiores a 20-25 ohm.m

Estas investigaciones geofísicas nos han permitido afianzar el modelo hidrogeológico conceptual de ambas cuencas, con un “Sistema acuífero superior” caracterizado por reservorios en materiales aluvionales gruesos de edad cuaternaria, ubicado en todo el frente oriental de las sierras, con buenos rendimientos y agua de muy buena calidad y otro “Sistema acuífero inferior” en reservorio de arenas cuarzosas intercaladas en espesos paquetes limo-arcillosos de edad terciaria superior (Plioceno), por debajo de los 200 m de profundidad, con niveles de surgencia natural, anomalías termales, con menores caudales y calidad.

REFERENCIAS

- IGLESIAS, E., TINEO, A., DURÁN, M., VERMA, M., GARCÍA, J., FALCÓN, C. Y BARRAGÁN, M. (1989).** Geochemical Survey of the Llanura Tucumana Geothermal Area, Argentina. Geothermal Resources Council Transaction. (13):165-171. California.
- PATROUILLEAU, R. D., BASKARCIC, B. Y CALVETTY AMBONI, B. (1987).** Estudio Hidrogeológico en la Zona de Trancas, Provincia de Tucumán. Acta III: 219-222. 10° Congreso Geológico Argentino. San Miguel de Tucumán.
- RUIZ HUDOBRO, O. J. Y GALVAN, A. (1965).** Geología del Valle de Santa María. Estratigrafía de las Formaciones Mesozoicas-Terciarias. Acta Geológica Lilloana 7: 217-230. Tucumán.
- TINEO, A.; C. FALCÓN; J. GARCÍA; C. DURSO Y G. RODRÍGUEZ. (1999).** Capítulo Hidrogeología: Libro Geología de Tucumán. Publicación Especial del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. Segunda Edición.. Pág. 259-274. San Miguel de Tucumán
- TINEO, A., FALCÓN, C., GARCÍA, J., D'URSO, C Y RODRÍGUEZ, G. (1993).** Hidrogeología de la Llanura Tucumana, Provincia de Tucumán. Acta 6: 172-176. 12° Congreso Geológico Argentino. Mendoza.
- TINEO, A. Y E. FLORES. (1993).** Características Hidrogeológicas del Valle del Río Santa María, Provincia de Tucumán. Acta VI:166-171. 12° Congreso Geológico Argentino. Mendoza.
- TINEO, A. (1996).** Hidrogeología de Tafi del Valle, Provincia de Tucumán, República Argentina. Tomo I: 122-130. 12° Congreso Geológico de Bolivia. Tarija.
- TINEO, A. (2006).** Hidrogeología de Argentina (en colaboración). Boletín Geológico Minero, Vol. 117, Nº 1, España. IV Foro mundial del Agua, México.
- TINEO, A., PONTI, N. (1994-2007)** Estudios hidrogeológicos en Tucumán-Inéditos.

CARTOGRAFÍA DE UN PALEO RÍO COLMATADO MEDIANTE LA COMBINACIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES Y CALICATAS ELÉCTRICAS. BLANCA POZO SANTIAGO DEL ESTERO

Castellano, Juan Alberto

Cátedra Geología para ingenieros. Dpto. de Geología y Geotecnia

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. UNSE

Av. Gral. Manuel Belgrano (S) N ° 1912 TE: 0385 4509500 int. 1849, juancast@unse.edu.ar

RESUMEN

Es objetivo del presente determinar a partir de los cambios en las propiedades geoelectricas del terreno, la profundidad y límites laterales a una profundidad constante, de un paleo río colmatado en un tramo de 1 Km de longitud. El mismo está ubicado en Blanca Pozo Santiago del Estero y para ese fin se ejecutaron sondeos eléctricos verticales (S. E. V.) y calicatas eléctricas (C. E.). La interpretación de los primeros permitieron la obtención de cortes geoelectricos los que correlacionados permiten determinar un perfil geoelectrico donde se observa la variación de la resistividad a lo largo del mismo.

Con las C. E. se determinaron los límites laterales de la geoforma fluvial en las diferentes secciones estudiadas y a una profundidad constante, esta última estimada de los valores interpretados ya sea de los cortes geoelectricos del terreno como de los espesores en las perforaciones ejecutadas en el paleo río.

Los valores obtenidos con las C. E. se transcribieron al plano en donde queda representada la superficie cartografiada del paleo río, por la exploración geoelectrica realizada.

En dicho plano se observa la traza de la geoforma en el subsuelo dado por la distribución en el mismo que adoptan las curvas iso-resistivas, mientras que en los perfiles (Longitudinal y transversales) se aprecian los cambios de la resistividad respecto a la profundidad.

Es decir la interpretación de los datos obtenidos por aplicación de ambos métodos geoelectricos, permite configurar al paleo río colmatado poniendo en evidencia un vez más, también la importancia para explorar dichas paleo formas fluviales con ambos métodos en otros sitios con características similares a la presente.

Palabras claves: Cartografía. Paleo río. Prospección Geoelectrica.

ABSTRACT

Is objective of the present to determine from the changes in the geoelectric properties of the land, the depth and boundaries to a constant depth, of a paleo river colmatado in a section of 1 km in length. The same one is located in Blanca Pozo Santiago del Estero and for that aim vertical electrical soundings were executed

(S. E. V.) and electrical test pits (C. E.). The interpretation of first allowed to the obtaining of geoelectrics cuts those that correlated allow to determine a geoelectrical profile where the variation of resistivity throughout the same one is observed with the C. E. and the boundaries of geoforma fluvial in the different studied sections and to a constant depth were determined, this last one considered of the interpreted values or of the geoelectrics cuts of the land like of the thicknesses in the perforations executed in the paleo river. The values obtained with the C. E. And were transcribed to the plane in where it is represented the mapped surface of the paleo river, by the made geoelectrical exploration. In this plane the plan of geoforma in the subsoil given by the distribution in the same one is observed that adopts the iso-resistivity curves, whereas in the profiles (Longitudinal and cross-sectional) the changes of resistivity with respect to the depth are appraised. It is to say the interpretation of the data collected by application of both geoelectrics methods, allows to form more to the paleo colmatado river putting it in evidence a time, as also the importance to explore these paleo fluvial forms with both methods in other sites with characteristics similar to the present.

key words: cartography, paleorives. Geoelectrical Prospection.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca dentro del Proyecto “Recarga del acuífero libre en la llanura chaqueña” de ejecución en Santiago del Estero, (PICTOS 2003, A. N. P. C y T. – U. N. S. E.) el que tiene entre sus objetivos mejorar la disponibilidad de agua subterránea existente en los paleo ríos del territorio provincial, ya que en la parte media y/o inferior de los actuales valles de los ríos Dulce y Salado, existen esas geoformas fluviales conteniendo arenas de origen fluvial y que generalmente están sepultadas por sedimentos depositados por otros agentes tales como el viento, escurrimientos superficiales o el mismo río cuando inunda en los períodos de exceso en las avenidas de agua. Martin Alfredo P. , 1989.

Las actividades de prospección geoelectrica realizada para el proyecto nombrado fueron conexas y complementarias a otras planteadas para satisfacer los objetivos del mismo y en virtud de los resultados obtenidos se estimó interesante, a los fines didácticos, transmitirlos en este evento, particularmente para quienes se inicien en esta rama de los métodos geofísicos aplicados a la exploración hidrogeológica.

OBJETIVOS

General

Establecer y / o en su defecto estimar la geometría de un tramo de paleo río colmatado, a partir de la aplicación combinada de sondeos eléctricos verticales y de calicatas eléctricas.

Particulares

Comprobar en nuestra región, la conveniencia de los métodos de resistividades para el estudio de los paleo ríos sepultados

Identificación de las características resistivas o conductoras de los terrenos involucrados, con el paso de la corriente por ellos.

Determinar espesores y tipos de sedimentos que cubren y colmataron al antiguo río.

Ubicar la base de la capa la capa saturada, y conocer el ancho del cauce en las secciones exploradas.

Estimar la calidad química relativa del agua contenida en el almacenamiento subterráneo.

Contribuir en la estimación del volumen del reservorio en conformidad a los objetivos del proyecto en que se enmarca la actividad de prospección geoelectrónica.

Orientar las acciones futuros del trabajo en conformidad a los fines del proyecto.

Brindar un ejemplo didáctico por resultados logrados

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Ubicación

Naturalmente pertenece a la que denominada región geográfica semiárida de la Llanura Chaqueña Martín Alfredo P. 1989, desde el punto de vista de geológico está dentro de la Cuenca Chaco – Paranense³, Geología Regional Argentina, 1972 y considerando las aguas subterráneas freáticas forma parte del “Paleo sistema del Río Dulce” Martín, A. P.; Castellano, J. A. et al, 1997.

El paleo río estudiado esta situado en la población de Blanca Pozo, Santiago del Estero Argentina, y su intersección con la Ruta Prov. N° 92 (Cnia. Dora - Los Telares) se puede identificar en el sistema de referencia geográfico www.google earth (2006) con las coordenadas S: 28° 42' 30,08" Lat. S. y 63° 6' 22,03" Long. O. su principal vía de acceso, además de la mencionada ruta provincial, la constituye la nacional N° 34 que pasa por la localidad de Cnia. Dora, distante a 22 Km al N. E. de la zona de estudio. (Ver figura N° 1.)

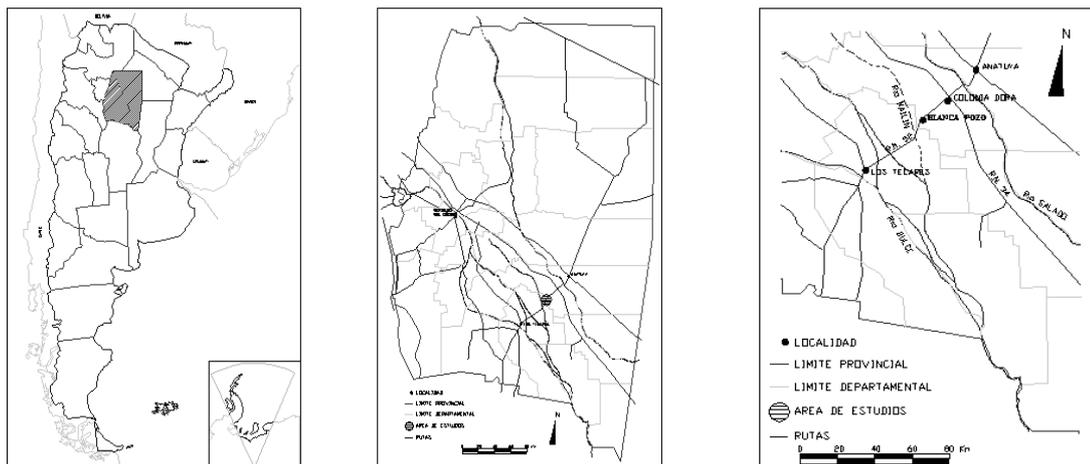


Figura N°1. Ubicación del área de estudios.

Asentamiento poblacional

Las diferentes tipos de viviendas son en su gran mayoría tipo rancho y están distribuidas formando un

hábitat rural disperso, típico de la región, siendo una de las fuentes de provisión de agua la que realizan sus pobladores desde pozos excavados en estos paleo ríos colmatados. El número de habitantes se ubican entre 300 a 400 (Anuario Estadístico 2000) personas los que carecen de los servicios de básicos de infraestructura domiciliaria, (Electricidad, red domiciliaria de agua, etc.) en algunas viviendas quienes las habitan captan el agua de lluvia con precarios sistemas de recolección, la conducen en canaletas y almacenan en frágiles aljibes construidos sobre el terreno. Los usos que hacen de ella son para bebida, cocción de sus alimentos y eventualmente para la higiene, alternando con el agua de los pozos la que extraen diariamente por baldeo para consumo de su ganado y que transportan también a sus casas en tambores de 200 l., mediante carros o manualmente en baldes de 20 l.

Los paleo ríos

En la región de la llanura del chaco santiagueño, (Martín A. P., 1989) se puede observar en gran parte de ella, la presencia de antiguos ríos (Paleo ríos) que dejaron su impronta en el terreno cuando excavaron su propio cauce con el agua que circulaba en el y con los sedimentos transportados (arenas medias a finas y limos) que quedaron depositados en el fondo del mismo, cuando dejó de pasar el agua en los mismos. Hoy muchas de estas geformas fluviales, en su mayoría se las encuentran sepultadas por sedimentos más nuevos de espesores diferentes transportados y depositados por la acción combinada del viento, de los escurrimientos pluviales provenientes de las áreas próximas más elevadas respecto al propio cauce o incluso durante inundaciones que ocasiona el río actual aún cercano al paleo río originado por el mismo.

Los paleo ríos se manifiestan como cauces simples por donde circuló agua y sedimentos o bien ser compuestos cuando están superpuestos (Martín Alfredo, 1995) con otras formas fluviales típicas como meandros abandonados, tramos semi curvos o rectos. En general los depósitos en secciones transversales al mismo poseen formas lenticulares y la textura del sedimento contenido es relativamente gruesa con respecto a aquellos que lo rodean que son más finos y menos permeables.

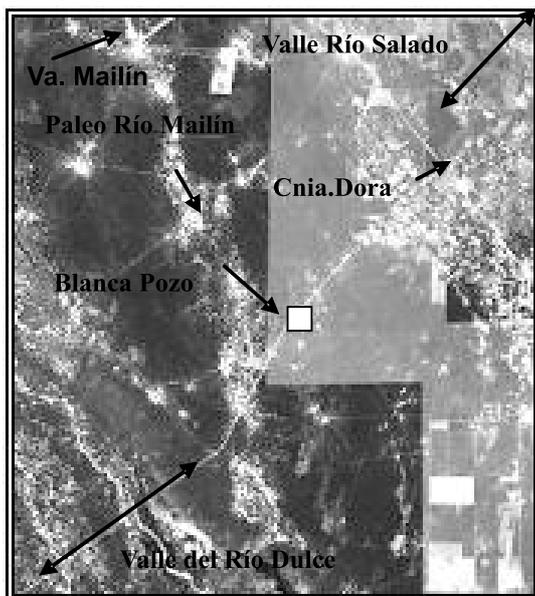


Figura N° 2. Imagen satelital del área.

En las áreas donde los niveles freáticos son poco profundos dichos depósitos se constituyen en reservorios de agua, factibles de ser explotados, ya que pueden contener agua apta para bebida de las personas o en su defecto para consumo del ganado. Los pozos excavados son precarios en su construcción lo que consecuentemente los caudales de extracción son bajos y la calidad bacteriológica del agua que es mala. Químicamente si no hay una recarga artificial por lo general poseen excesos de sulfatos, pero la limitante principal suele ser frecuentemente la presencia de arsénico.

La recarga se produce en el lugar el agua de lluvia por infiltración ya sea directa desde la superficie del mismo o bien por el aporte del agua de escorrentía pluvial proveniente de los terrenos circundantes mas elevados. (Ver figura N ° 4)

Hoy durante inundaciones que ocurren en áreas

vecinas a los actuales cauces de los ríos Dulce y Salado, se observa con frecuencia como antiguos cauces próximos generados por los mismos en sus respectivos valles aluviales, son ocupados por el agua proveniente de los desbordes de los ríos Dulce o Salado. (Ver figura N °2) En la imagen satelital se aprecia también las trazas típicas de ríos que adoptan los paleo ríos sobre la superficie, y que en el terreno el común de la gente denomina “bajo”, debido a su posición topográfica deprimida respecto a las zonas vecinas. Precisamente un tramo de esos paleo ríos una vez ubicado se lo consideró como área experimental (Ver Figura N °3) para desarrollar los métodos de sondeos eléctricos verticales (S. E. V.) y calicatas eléctricas (C. E.).

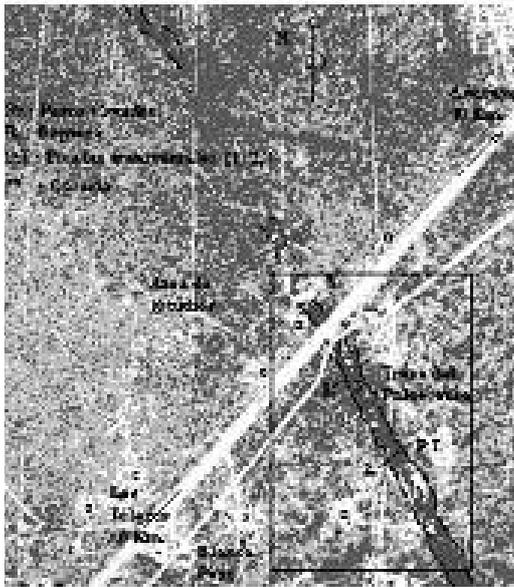


Figura N° 3. Fotografía aérea del paleo río

METODOLOGÍA

Las actividades se agruparon en tareas de gabinete y de campo, en la primera se incluye la búsqueda, selección y evaluación de los antecedentes tales como bibliografía (Se la incluye en el punto respectivo) cartografía, planialtimetría, imagen satelital y fotografía aérea (Incluidas oportunamente en el texto presente), la transcripción de datos numéricos en planillas y obtenidos en el campo, lectura e interpretación de los aero fotogramas e imagen satelital, procesamiento de los datos de resistividad aparente (ρ_a) obtenidos con los S. E. V. y C. E., la elaboración de gráficos y planos temáticos, análisis general y elaboración de informes conclusiones y transferencia de resultados como el presente.

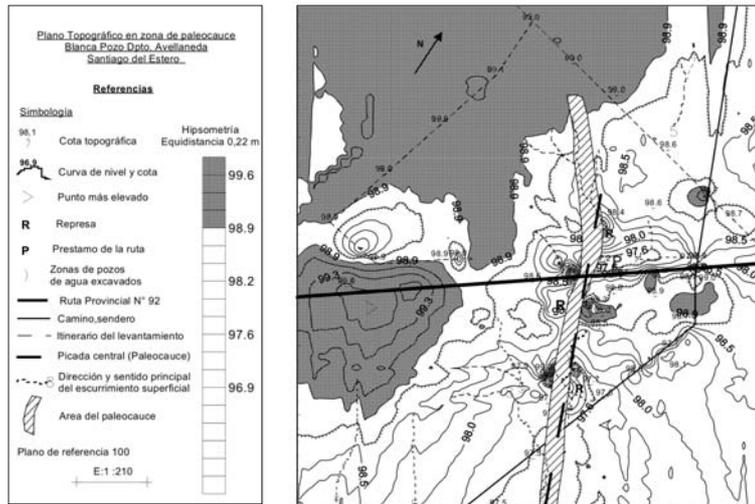


Figura N° 4. Plano topográfico área del paleo río

Las actividades de campo consistieron en la apertura de picadas, levantamiento de datos topográficos, censo de pozos de agua, la ejecución de los S. E. V., las C. E. y sondeos con pala barreno.

Prospección Geoeléctrica

En conformidad a los objetivos e instrumental disponible, se recurrió a la aplicación de los métodos de resistividades en corriente continua (Astier, J.L., 1975) mediante las técnicas de los sondeos eléctricos verticales (S. E. V) y calicatas eléctricas (C. E.). Se trabajó con un resistímetro de lectura digital para medir la intensidad de corriente enviada y los potenciales generados con su paso por el terreno, posee un compensador manual de los potenciales naturales. La fuente

de energía es un convertidor de corriente que permite elevar la tensión de una batería de 12 hasta 400 voltios de corriente continua, y los electrodos de corriente son de hierro en tanto que los de lectura de potencial son del tipo impolarizable. Todo el instrumental es de procedencia nacional.

Sobre la base de la información guía de la aerofotointerpretación efectuada, se trazaron las direcciones de las picadas longitudinal central (Una) al paleo río como las transversales (Ocho) al mismo, permitiendo acceder y realizar los S. E. V. y las C. E. Los primeros se efectuaron a los fines de establecer espesores y profundidad de los sedimentos del paleo río mientras las segundas para determinar los límites laterales de los mismos y en acuerdo a la determinada apertura interelectrónica empleada. Ambas técnicas permitieron identificar contrastes de la resistividad para cada punto de medición, lográndose ello con el desarrollo de dispositivos de base cuádrupolar como son Schlumberger (MN = Cte., o con ligera variación) para los S. E. V. y Semi Schlumberger en las C. E.

Sondeo eléctricos verticales (S. E. V.)

Estos se realizaron en las picadas transversales como en la central al paleo río, en esta última la disposición de electrodos fue paralela a la dirección (NO – SE) del mismo y los tendidos de cables de corriente no han sido grandes ya que las profundidades alcanzadas de exploración no superaban los 15m. Los despliegues máximos de los electrodos de corriente (AB) fueron de 260 m., dentro del paleo río y afuera de el alcanzó los 160m.

Esta diferencia de aperturas es por la presencia de un sustrato conductor de muy baja resistividad, las texturas son muy finas respecto a los terrenos que circundan a la geoforma (Perforación N ° 1 y N ° 2 realizadas afuera y dentro respectivamente del paleo río. (Ver la figura N ° 5)

Las formas de las curvas de campo obtenidas en la picada central son del tipo “Q” (S. E. V. N ° 6), (Orellana - Money, 1976) o en combinación de “H –K-Q” (S. E. V. N ° 9) y/o “A-K-Q” (S. E. V. N ° 10,15

ó16), esos cambios se atribuyen a cambios en la granulometría de los sedimentos que colmatan al paleo río (Ver curvas de la parte inferior de la figura N ° 6).

Cuando a los sondeos eléctricos se los ejecutó afuera de la geoforma fluvial, las curvas de campo son del tipo “Q”, pero con valores de resistividad mucho menor. (Ver Figura N ° 6 S. E. V. N ° 4) Precisamente esos distintos valores de resistividad aparente de las curvas ya está indicando las diferentes condiciones del terreno y que se traducen también en las otras constantes geoelectricas como son la transmisividad (T) y conductividad (S).

Perfil longitudinal

Fue construido a partir de los diferentes cortes geoelectricos resultantes de la interpretación de cada uno de los sondeos eléctricos verticales realizados todos ellos sobre la picada central al paleo río estudiado. El mismo

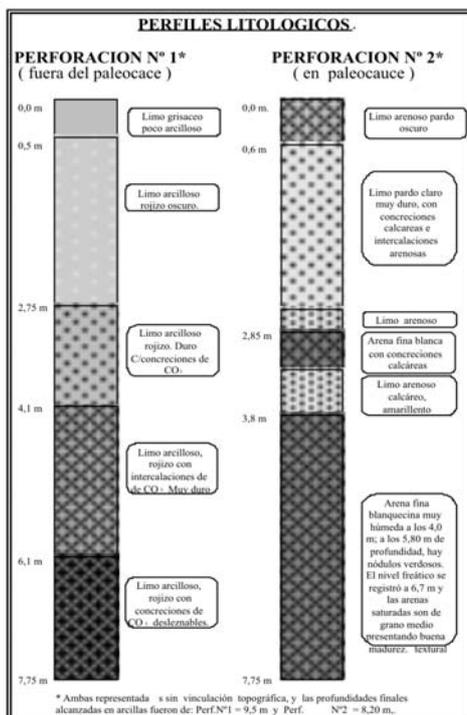


Figura N ° 5. Perfiles de sondeos con pala barreno.

representa la distribución de los valores de resistividad verdadera con respecto a la profundidad alcanzada con la abertura interelectródica. La profundidad máxima alcanzada fue de 18 m realizada (S. E. V. N ° 1) y mínima de 7 m (S. E. V. N ° 17).

En este perfil se adoptó como base del acuífero la curva de iso-resistividad de 7 ohm .m. considerando que valores menores a el son propios de terrenos conductores similares a los existentes como límites laterales del paleo río (Ver figura N ° 7).

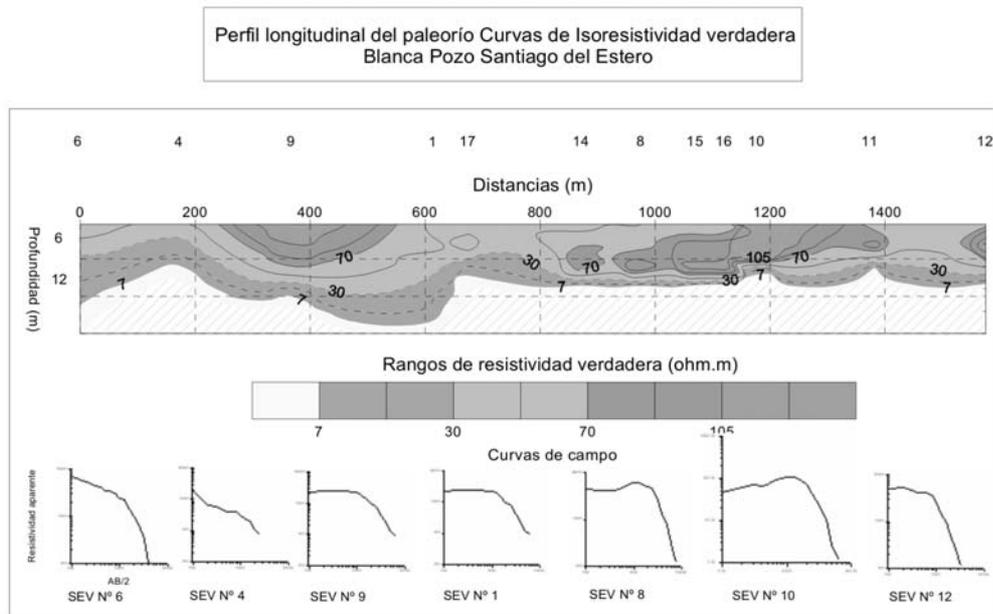


Figura N ° 6. Perfil georesistivo longitudinal del paleo río y curvas de campo de los S. E. V.

Otras característica que se observa es la variación de la resistividad por encima de la capa conductora ya sea longitudinalmente como verticalmente al paleo río demostrando que no hay una homogeneidad de los sedimentos en el interior del mismo. El sustrato base se lo asimila a una arcilla mientras que lo que está encima a intercalaciones de arenas finas entre limos arenosos, (Ver la figura N ° 5) el espesor de la capa saturada capaz de ser aprovechada se ubica entre los 5,5m hasta 7,5m de profundidad, es decir corresponde a la capa cuyos valores de resistividad están entre los 7 hasta 30 ó 40 ohm. m. A lo largo del perfil y en virtud de los valores mencionados el paleo río se presenta como un cauce simple, asimilado conceptualmente a un canal subterráneo único y colmatado naturalmente.

El aumento de la profundidad entre los sondeos eléctricos N ° 1 y N ° 9 de la figura N ° 6 la atribuyo a que en esa zona se encuentra una represa que recarga por infiltración desde su fondo el agua de lluvia captada por las regueras que los propios pobladores construyeron. En esa zona precisamente se encuentran los pozos excavados cuyos pobladores construyeron y de donde extraen por baldeo el agua contenida. Generalmente no pueden profundizar más allá de los 6m, ya que se producen derrumbes de las paredes en la zona saturada constituida por sedimentos muy finos (Arenas finas a muy finas).

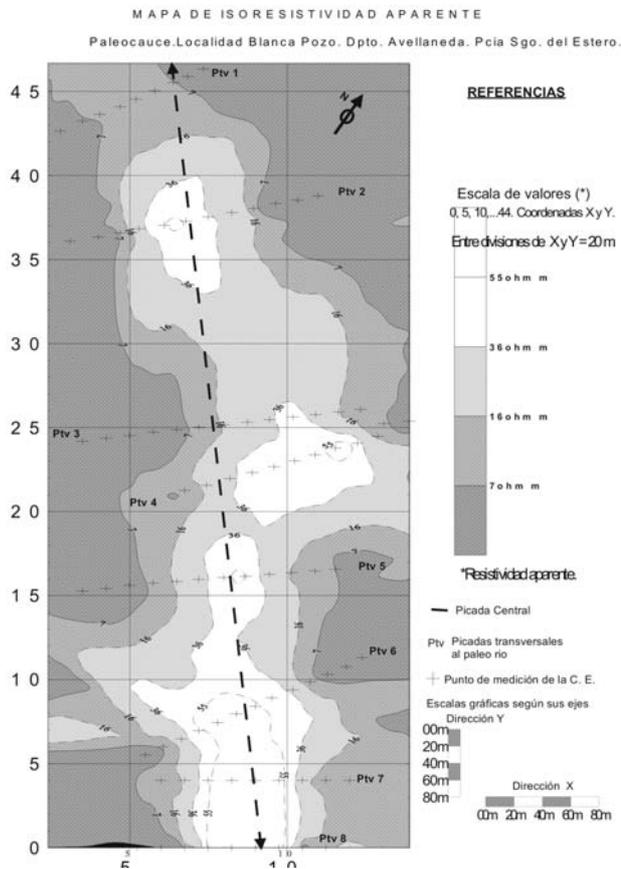


Figura N° 7. Forma del paleo río a 3 - 4 m. de profundidad.

resistividad aparente (ρ_a) y en la que se constata una cierta simetría desde adentro hacia fuera del paleo río, ya que los valores mayores se ubican en la zona central y disminuyen hacia la periferia (Terrenos mas conductores: mayor salinidad). El ancho de la geoforma es variable y oscila con entre un máximo de 120 m a 50 m, quedando en evidencia que el eje de la misma presenta una ligera curva hacia el NO., lo que en consecuencia el S. E. V. N° 4, se ejecuta en la margen izquierda del paleo río y explica los cambios de la forma de la curva de campo respecto a los otros efectuados en la picada central, los valores de la resistividad verdadera y por último la menor profundidad alcanzada (Ver figura N° 6).

CONCLUSIONES

Los aspectos considerados precedentemente permiten concluir lo siguiente:

La validez de los métodos de exploración aplicados para la evaluación de los paleo ríos colmatados, cuando los cambios de las condiciones naturales se reflejan como anomalías en las propiedades eléctricas entre los terrenos explorados dentro del mismo como afuera.

Los cortes geoelectricos resultantes de los S. E. V. configuran el sustrato o base del acuífero posible de

Calicatas eléctricas (C.E.)

Estas se efectuaron en 8 (ocho) picadas transversales con estación o paso, cada 5m, los arreglos utilizados fueron Schlumberger tanto cuadripolar como trielectrodico (Directo e Inverso)⁷, la abertura desplegada en todos los dispositivos fue de AO= 10m, permitiendo una respuesta acorde a las expectativas generadas, aunque si se deseara como varía el paleo río tanto por debajo o por encima del plano aquí considerado, se puede ampliar o disminuir la abertura entre electrodos y ver cual será la respuesta, pero teniendo siempre presente la no proporcionalidad de la profundidad de investigación con la apertura utilizada de Iso electrodos. Para el caso que nos ocupa la profundidad que se estimó para el plano de exploración, es entre los 3 ó 4 m, medida esta como el resultado de la comparación de valores de resistividad aparente obtenidos con esta técnica con los valores de la resistividad aparente y verdadera de los S. E. V. y perforaciones ejecutados en la picada central y también con las de afuera del paleo río.

De la observación de los las curvas isoresistivas representadas en el gráfico de la figura N° 7 se aprecia la variación de la

ser explotado, alojado este último sedimentos arenosos de la parte superior del paleo río. (Ver figura N ° 5)

La paleo forma fluvial es un cauce simple donde queda diferenciado el eje del mismo y la traza curva que tiene a la profundidad de 3 -4 m. en el tramo aquí explorado.

Contribuyen estos procedimientos de exploración geoelectrica a estimar el volumen del almacenamiento y un posible caudal de extracción del agua contenida, conociendo la profundidad, ancho, espesor saturado de la capa freática del paleo río a partir de la interpretación de los valores de resistividad obtenidos y mucho mejor cuando hay datos de una perforación como en el presente.

La mejor zona para desarrollar una explotación es la actual, ubicada entre los S. E. V. N ° 1 y N ° 9. (Ver figura N ° 6) dada por la profundidad mayor que tiene el sustrato conductor (Valores de 9 – 11 ohm. m son indicadores, en nuestra zona, de terrenos portadores de aguas con tenores salinos bajos, principalmente si recibe como es este caso la infiltración del agua de lluvia del lugar.

RECOMENDACIONES

El procedimiento de combinar los S. E. V. y con las C. E. será mas preciso si estas últimas se efectúan con diferentes aberturas interelectrónicas ya que permitirá encontrar, para los mismos punto de medición y paso, las variaciones de la resistividad aparente en diferentes profundidades de las secciones horizontales exploradas y así establecer la “pendiente” de una misma curvas isoaresistiva y con ello estimar la profundidad que puede alcanzar la capa resistiva entre los planos estudiados y extrapolarlos hacia arriba o por debajo de ellos.

REFERENCIAS

- ANUARIO ESTADÍSTICO DE LA PCIA. DE SANTIAGO DEL ESTERO (2000).** Dirección Gral de Estadística y Censo.
- ASTIER J.L., (1975).** “Geofísica Aplicada a la Hidrogeología Cap. 3 Los métodos de prospección geoelectrica Pag. 75 a 1001, Editorial Paraninfo Madrid.
- MARTÍN ALFREDO P. (1989).** Hidrogeología de la región chaqueña semiárida de Santiago del Estero Universidad Nacional de Tucumán Facultad de Ciencias Naturales Tesis Doctoral Inédita Tomo I.
- AUTORES VARIOS (1972).** “Geología Regional Argentina” Tomo 1 Academia Nacional de Ciencias. Córdoba. Argentina
- MARTÍN A. P.; CASTELLANO J. A.; STORNILO, A. R.; SCHEJTMAN, W.; BEJARANO R. (1997)** “Carta Hidrogeológica de la Provincia de Santiago del Estero (R. A.)” Primer Congreso Nacional de Hidrogeología y Tercer Seminario Hispano – Argentino sobre temas actuales de hidrología subterránea. U. N. S. (Dpto. Geología), Internacional Association of Hidrogeologists, Grupo Argentino, Bahía Blanca, Argentina.
- ORELLANA – MONEY (1978).** Colección de Curvas Patrón. Editorial Paraninfo Madrid. España.

GEOELÉCTRICA EN PALEOCAUCES DEL RÍO SALADO EN PAMPA DE LOS GUANACOS Y CORONEL RICO EN SANTIAGO DEL ESTERO

Dora Cecilia Sosa, Oscar Coriale, Miguel Genesis

Instituto Nacional del Agua

Patricio Cullen 6161 – 3000 Santa Fe tel Fax 0342-4604540 dorasosa@arnet.com.ar

RESUMEN

Para investigar las posibilidades de obtención de agua para consumo humano se estudiaron, en la zona, los paleocauces del Río Salado ubicados próximos a Pampa de los Guanacos. La zona se ubica en la “Región Chaqueña Semiárida de Santiago del Estero” un abanico aluvial de Río Salado, que está interrumpido hacia el Este por un arco estructural que es parte de la “Dorsal El Caburé” (Padula y Minngramm. 1963), el cual sirve como barrera natural de las aguas subterráneas..

La información de campo se volcó al GIS ArcView 3.2 para la elaboración de los planos finales. Conjuntamente con el estudio geoeléctrico, se inventariaron pozos donde se midieron niveles estáticos, conductividad eléctrica y temperatura, que permitió realizar un análisis integrado de la información y tomar decisiones en el campo sobre las zonas a prospectar. Los datos obtenidos permiten observar la heterogeneidad de la zona, puesto de manifiesto en las los tipos curvas obtenidas que se corresponde con el ambiente de sedimentación aluvial.

Los paleocauces se manifiestan en las curvas SEV tipo K, donde la rama ascendente, es pronunciada y se debe a espesores poco húmedos, y la descendente se atribuye a agua muy mineralizada ubicada por debajo del espesor arenoso. La zona con valores de resistividad más altas, a mas de 50 m de profundidad se ubica en las proximidades de Coronel Rico, estos espesores saturados fueron los que alumbraron agua apta para consumo humano.

Palabras claves: paleocauces, geoeléctrica, agua para consumo humano.

ABSTRACT

To investigate the possibilities of obtaining water for human consumption at the “paleocauces” zone of the SALADO river, near PAMPA DE LOS GUANACOS a geoelectrical study was carried on. The zone is placed at semiarid chaqueña region in SANTIAGO DEL ESTERO province. The alluvial fan of SALADO – present in this region- it is interrupted towards the east by an structural arch which it forms part of DORSAL EL CABURÉ (PADULA AND MINNGRAMM, 1963) acting as a natural barrier from groundwater. To draw the final plans the field information was placed in GIS Arc View 3.2. It was taken an inventory of wells where temperature, electrical conductivity and static level were measured jointly with geoelectrical study thus allowing to perform an integral analysis and to make decisions in the field about zones to prospect.

It is thus possible to observe the heterogeneity of the zone through the obtained data which is demonstrated by the achieved types curves which is suitable with alluvial sedimentation environment.

The presence of horizons with low resistivities denotes the presences of mineralized water.

Paleocauces are make evident in the SEV type K curves where the rising limb is increased due to little wet depths and the falling limb which is ascribable to very mineralized water placed under sand depth. The zone with the most high resistivity values – more than 50 m depth-is placed near CORONEL RICO. These saturated thickness threw light on fit water for human consumption.

Key words: paleocauces (bed of former water course from previous geologic time)- geoelectrics- water for human consumption.

INTRODUCCIÓN

La localidad de Pampa de los Guanacos, se encuentra ubicada en la provincia de Santiago del Estero, Departamento Copo sobre la Ruta Nacional N° 16, a 17 km al NO del límite con la Provincia del Chaco. Ver ubicación en la figura N° 1, 2 y 3 .

El estudio geoelectrico comprendió dos transectas, una ubicada sobre la Ruta Nacional N° 16 hacia Los Pirpintos y la otra, sobre la Ruta Provincial N° 6 hacia Coronel Manuel Rico.

La localidad de Pampa de Los Guanacos se abastece de agua superficial proveniente del Canal de Dios; el desabastecimiento, la falta de suministro de los últimos tiempos, hizo necesaria la búsqueda de otras fuentes de provisión. Este trabajo surge a pedido de la municipalidad.



Figura 1. Argentina
Prov. de Santiago del Estero.



Figura 2. Provincia de Santiago del Estero
Pampa de los Guanacos.

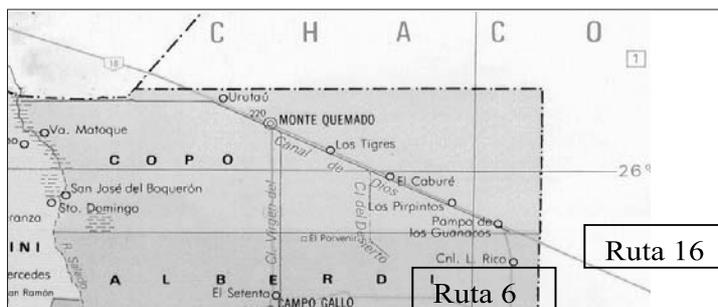


Figura 3.
Departamentos Copo y Norte de Alberdi.

OBJETIVO

La finalidad del estudio consistió en analizar las posibilidades de obtener agua subterránea en la zona y conocer las características de los paleocauces del río Salado para la obtención de agua para consumo humano, ante la carencia de agua superficial.

ANTECEDENTES

La zona de trabajo, se ubica en la “Región Chaqueña Semiárida de Santiago del Estero”

El abanico aluvial de Río Salado, presente en esta región está interrumpido hacia el Este por un arco estructural que es parte de la “Dorsal El Caburé” (Padula y Minngramm. 1963), el cual sirve como barrera natural de las aguas subterráneas.

Este abanico presenta acuíferos con buenos rendimientos en los sectores apical y medio, hacia el borde distal se reduce la permeabilidad y los caudales específicos, el agua contenida en los acuíferos aumenta su mineralización como consecuencia de un mayor tiempo de contacto entre roca y agua.

El contenido de cenizas volcánicas dentro del abanico aluvial es la fuente de arsénico de los acuíferos profundos.

METODOLOGÍA

La base cartográfica para la confección de los planos, se obtuvo del servicio ARGserver a través de los Quick- Looks, que brinda la CONAE.

A partir de las imágenes (Marzo 2002), se armó el fotomapa, el cual fue georeferenciado con datos de campo tomados con GPS en el sistema WGS 84.

En el campo se utilizó el GPS para la identificación de las coordenadas geográficas de pozos y Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

El cálculo de Coordenadas Gauss Krugger en el sistema WGS 84 se obtuvo mediante el software “CoordenadasRA” (Guillermo Macedo, CRL).

Toda la información de campo se procesó mediante el GIS ArcView 3.2 para la elaboración de los Planos finales.

Conjuntamente con la ejecución de los trabajos geoeléctricos se identificaron pozos donde se midieron niveles estáticos, conductividad eléctrica y temperatura además se obtuvieron muestras de agua para el laboratorio. Esta información se utilizó, para la interpretación de sondeos paramétricos. (ver Plano 1 con tabla de información de pozos).

En el estudio geoeléctrico, se aplicó el dispositivo tetraelectródico de Schlumberger, hasta una abertura de la línea de alimentación AB/2 de 250 m, empleando un resistivímetro de corriente continua marca ITS.

Para la línea de alimentación se utilizaron electrodos de acero inoxidable y para la toma del potencial eléctrico del terreno, electrodos impolarizables.

Los sondeos eléctricos verticales (SEV) se ubicaron dentro y fuera de paleocauces a los efectos de estudiar los contrastes y sobre las Rutas Nacional N° 16 y Provincial N° 6.

El Software E-Lander (Sosa D., Battioni M) permitió: la representación de la curva SEV de campo, la interpretación, y el dibujo del corte eléctrico correspondiente.

Los Perfiles Isorresistivos permiten visualizar los contrastes de las resistividades aparentes dentro del perfil estudiado, complementando el análisis de los Perfiles Geoeléctricos y se confeccionan de la siguiente manera: En abscisas se ubican los SEV dentro del perfil y en ordenadas se vuelcan los valores de $AB/2$ con las respectivas mediciones de resistividad aparente. A partir de estos se trazan mediante interpolación las curvas de igual resistividad aparente.

Una vez interpretada la curva SEV, se construyen los Perfiles Geoeléctricos con los valores de espesores y resistividades verdaderas, estos perfiles constituyen la síntesis del estudio.

RESULTADOS

Lo primero que se realizó fue el reconocimiento en el campo de los paleocauces que se visualizaban en el foto-mapa y el recorrido de caminos y accesos para el tendido de cables de los SEV.

Se inventariaron 15 pozos (Figura 4).

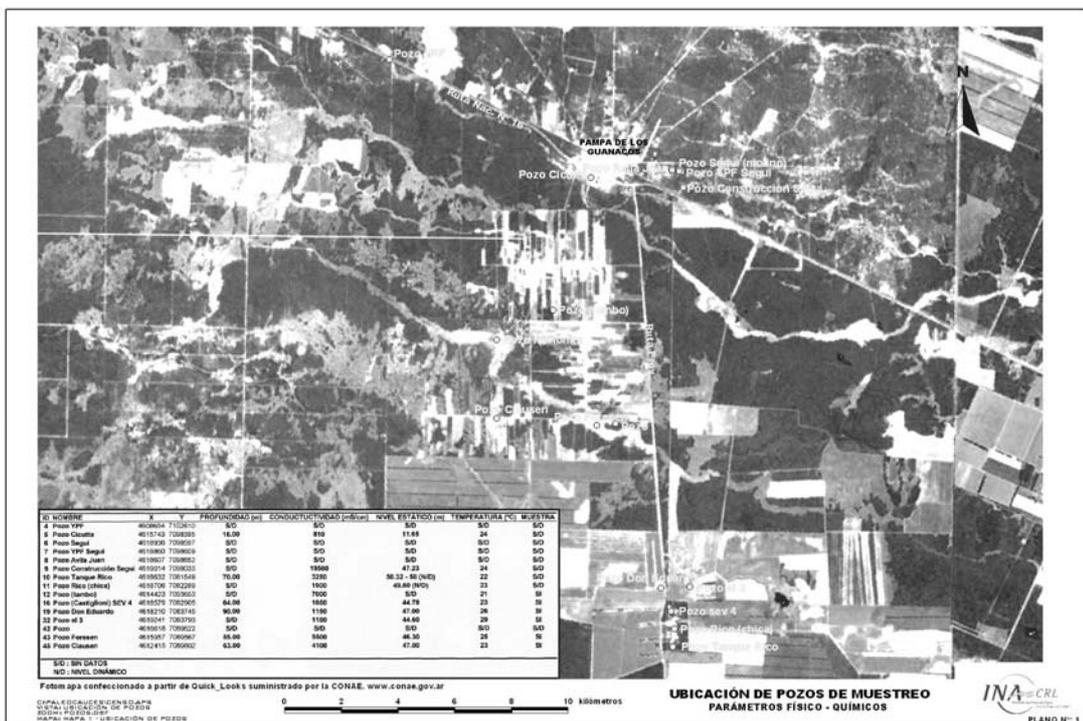


Figura 4. ubicación de los pozos.

Se realizaron 27 Sondeos eléctricos verticales (SEV) ubicados en dos líneas que siguieron las Rutas Nacional N° 16 y Provincial N° 6, dando origen a los Perfiles Isorresistivos 1 y 2 y los Geoeléctricos 1 y 2 respectivamente(Figura 5).

estudio.

A los efectos de analizar las variaciones en curvas y resistividades encontradas se trazaron los perfiles isorresistivos a partir de las resistividades aparentes. A continuación se los describe brevemente.

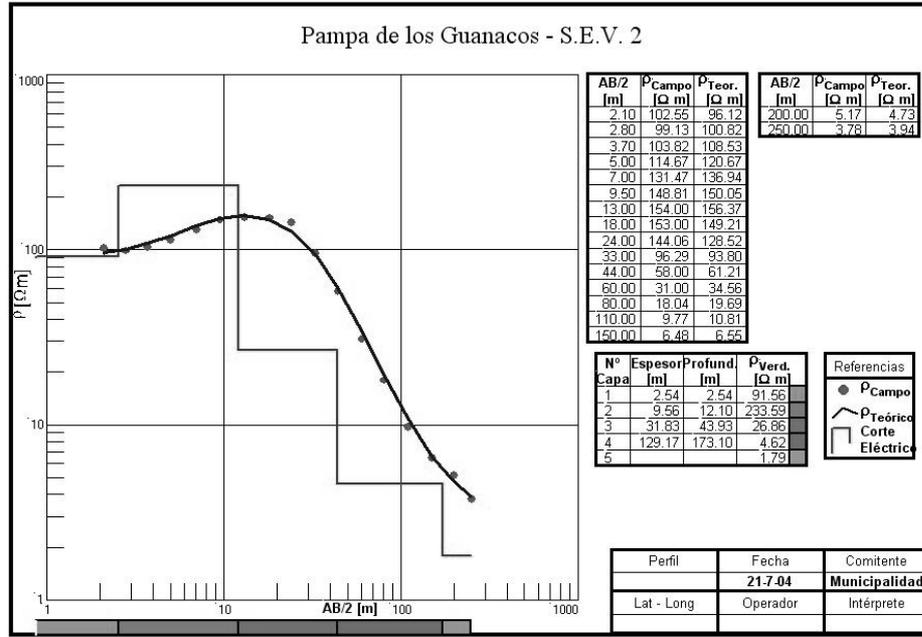


Figura 6. Ejemplo de curva SEV en paleocauce.

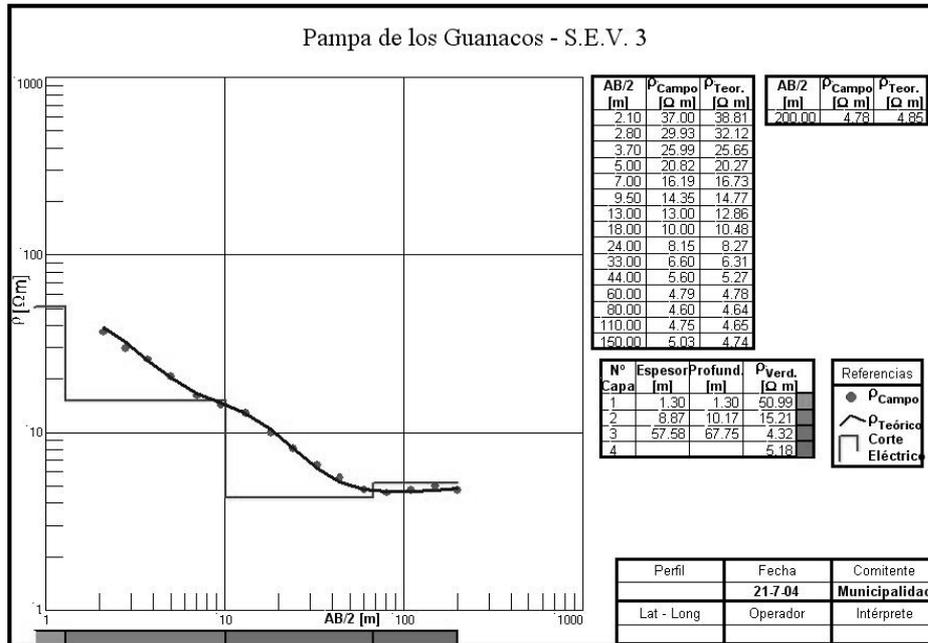


Figura 7. Ejemplo de curva SEV fuera de paleocauce.

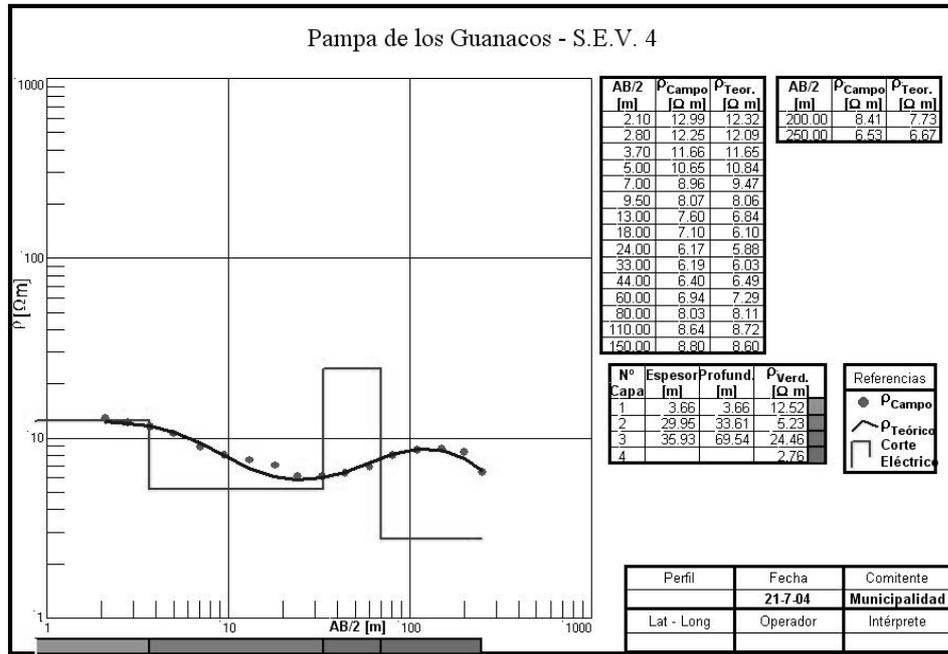


Figura 8. SEV cercano a Coronel Rico donde se perforó el pozo 1.

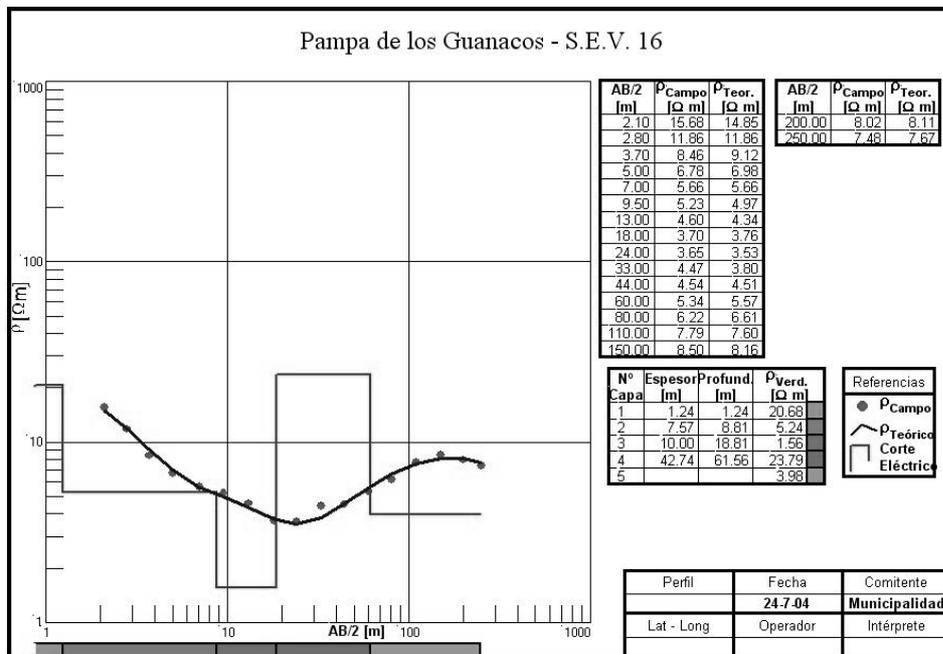


Figura 9. SEV cercano a Coronel Rico donde se perforó el pozo 2.

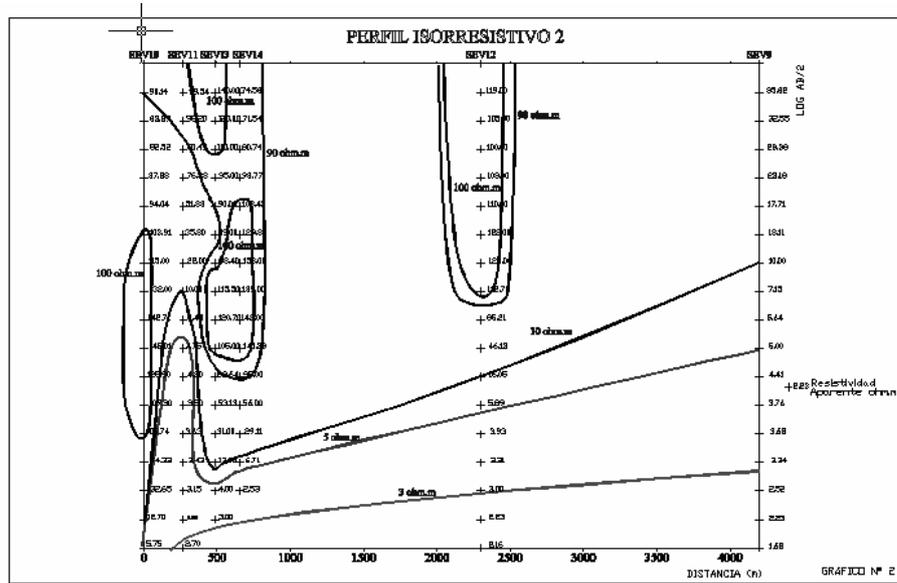


Figura 11. Perfil isorresistivo paralelo a la ruta nacional 16. Con los datos obtenidos de la interpretación de las curvas de los SEV se trazaron perfiles geoeléctricos. Que a continuación se describen.

Perfil Geoeléctrico N° 1

Paralelo a la Ruta Provincial N° 6. Se observa que las resistividades mas altas para los espesores saturados se encuentran cercanos a la localidad de Coronel Manuel L. Rico, los paleocauces atravesados mediante los SEV tienen resistividades altas que denota la presencia de sedimentos con poca humedad.

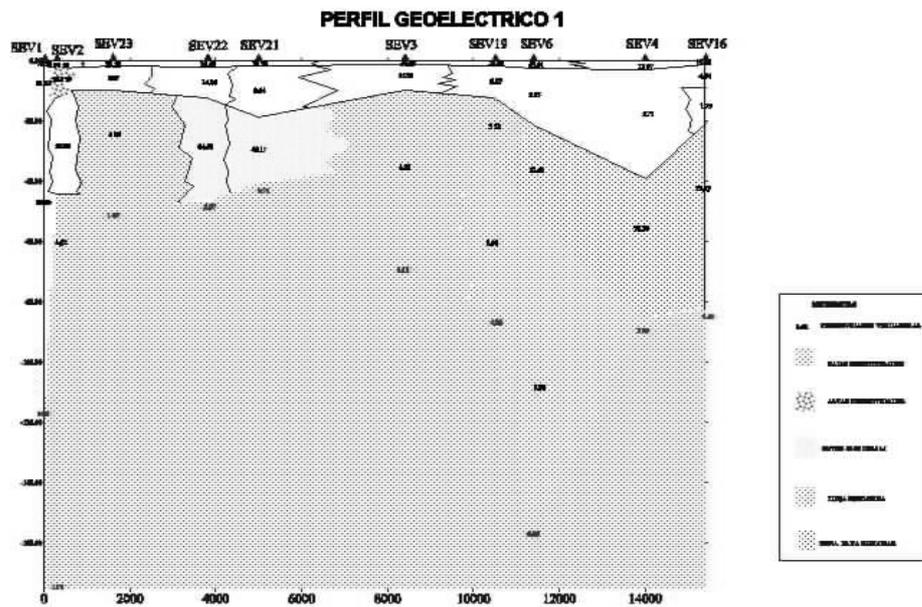


Figura 12. Perfil geoeléctrico paralelo a la ruta provincial 6.

Perfil Geoelectrico N° 2

Paralelo a la Ruta Nacional N° 16, la presencia de agua salada a las profundidades de interés en este estudio se aprecia en las resistividades bajas. Los paleocauces tienen sedimentos secos y por debajo el agua contenida en los espesores saturados se encuentra mineralizada.

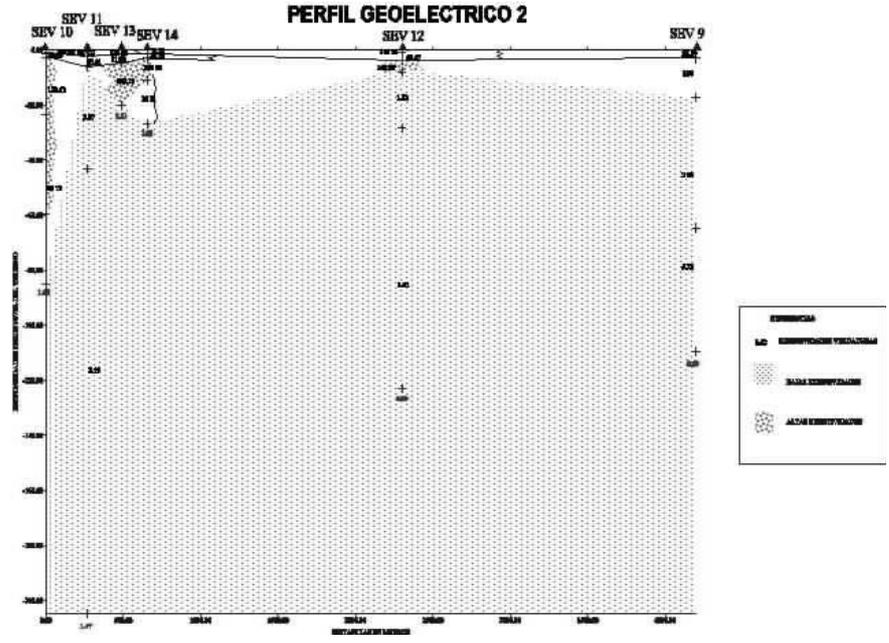


Figura 13. Perfil geoelectrico paralelo a la ruta nacional 16.

Perforaciones de estudio

Las perforaciones se ubicaron según los resultados del estudio Geoelectrico correspondiendo a los S.E.V. 4 y 16, a 600 m (Pozo N° 1) y 1000 m (Pozo N° 2) al sur del pozo Coronel Manuel L. Rico (cisterna), a metros del antiguo acueducto que va a Sachayoj entre el terraplén de las vías férreas y la Ruta provincial N° 6. Las ubicaciones geográficas del Pozo N° 1 corresponden en X= 4618530 Y= 7081050 y Pozo N° 2 X= 4618550 Y= 7080450. La profundidad final fue de 61.50 y 60 m alcanzando un espesor constituido por arcilla gris.

POZO N° 1

Descripción sedimentológica

0m - 14 m.	Arena fina limosa-arcillosa con tosca castaña muy compacta
14 m - 17 m	Arcilla limosa color gris castaño medio con presencia de clastos arenosos muy finos a finos, subredondeados de composición cuarzosa y líticos de origen ígneo.

17 m - 32 m	Limo fino a grueso algo arcilloso color gris castaño rojizo, con presencia de clastos subredondeados de composición cuarzosa y líticos de origen ígneo. Presencia de niveles limosos interestratificados con capas de calcretes o nódulos carbonáticos.
32 m - 36 m	Sedimento arcilloso-limoso fino color gris castaño con niveles con participación de material limoso grueso.
36 m - 52 m	Sedimento limoso grisáceo con abundante a moderada participación de material arcilloso e intercalación de niveles con presencia de clastos subredondeados a redondeados de granulometría arenosa muy fina. Hacia la base, presencia esporádica de nódulos carbonáticos.
52 m - 54 m	Sedimento arenoso muy fino a fino, color gris castaño claro algo amarillento, moderadamente seleccionados con clastos subredondeados a redondeados, silíceos de carácter lítico ígneo y sedimentario y feldespáticos, acompañando a gran cantidad de clastos cuarzosos vítreos. Abundante matriz limosa fina - arcillosa.
54 m - 60 m	Limo arcilloso color gris claro con aislada participación de clastos arenosos finos a muy finos silíceos y desarrollo en algunos niveles de nódulos de origen carbonático.
60 m - 61 m	Limo fino a grueso color gris medio con participación de clastos arenosos muy fino a finos y presencia como matriz de material arcilloso.

Cuadro Estratigráfico

Unidad	Profundidad considerada (aprox. en m.)	Espesor reconocido (aprox. en m.)
Sedimentos recientes	0 - 17	17
Formación Pampa	17 - 61	44

Análisis Estratigráfico

La sección considerada entre los 17 m y 61 m de profundidad con carácter de sedimentación de limos arcillosos con intercalaciones muy aisladas de lentes finas de arenas muy finas con abundante participación de material pelítico color gris castaño podrían ser pertenecientes a la Formación Pampa, (Pleistoceno), en condiciones de depositación de muy baja energía y con desarrollo de posibles paleosuelos en distintos niveles relacionados con la presencia de nódulos carbonáticos y posible desarrollo de calcretes.

Por encima de la Formación Pampa y en un pasaje transicional se podrían haber depositado los sedimentos señalados como recientes, también de naturaleza pelítica fina predominantemente arcillosa-limosa.

Datos técnicos de la perforación Coronel Manuel L. Rico N° 1.

Nivel del agua	48,40m
Nivel dinámico	58,90 m
Caudal de bombeo	1,9 m ³ /hora
Conductividad	1690 micromhos/cm
Temperatura	27,5 °C
Prof. Inst. Bomba	59,50 m
Punto de referencia	0,50 m

POZO N° 2

La profundidad final el pozo N° 2 fue de 60 m.

Descripción sedimentológica

0m - 9 m	Limo arcilloso castaño con intercalaciones de tosca muy compacta.
9 m - 23 m	Arcilla limosa color gris castaño medio con presencia de clastos arenosos muy finos a finos, subredondeados de composición cuarzosa y líticos de origen ígneo, tamaño arena fina-muy fina.
23 m - 29 m	Limo fino a grueso color gris castaño rojizo, con abundante participación de material arcilloso y aislados clastos subredondeados de composición cuarzosa y líticos de origen ígneo y granulometría arena muy fina. Presencia de niveles con nódulos carbonáticos.
29 m - 30 m	Sedimento limoso - arenoso muy fino color gris castaño con abundante participación de material arcilloso.
30 m - 34 m	Sedimento limoso grisáceo con abundante participación de material arcilloso e intercalación de niveles con presencia de clastos subredondeados a redondeados de granulometría arenosa muy fina.
34 m - 37 m	Sedimento limoso fino a grueso, color gris castaño claro, moderadamente seleccionados con clastos subredondeados a redondeados. Abundante matriz arcillosa.
37 m - 40m	Limo grueso color gris claro con participación de clastos arenosos finos a muy finos silíceos subangulosos a subredondeados.
40 m - 49 m	Limo fino a grueso color gris medio con participación de clastos arenosos muy fino a finos y presencia como matriz de material arcilloso.
9 m - 53 m	Limo fino color gris medio, acompañado con abundante presencia de arcillas.
53 m - 56 m	Arcilla color gris medio con presencia moderada de material limoso fino a grueso.
56 m - 60 m	Limo fino color gris medio, acompañado con abundante presencia de arcillas.

Cuadro estratigráfico

Unidad	Profundidad considerada (aprox. en m.)	Espesor reconocido (aprox. en m.)
Sedimentos recientes	0 - 23	23
Formación Pampa	23 - 60	37

Análisis estratigráfico

La sección considerada entre los 23 m y 60 m de profundidad, con carácter de sedimentación de limos arcillosos con intercalaciones aisladas de lentes finas de arenas muy finas con abundante participación de material pelítico color gris castaño, podría ser perteneciente a la Formación Pampa, (Pleistoceno), en condiciones de depositación de muy baja energía y con desarrollo de posibles paleosuelos en distintos niveles, relacionados con la presencia de nódulos carbonatos.

Por encima de la Formación Pampa y en un pasaje de transición se podrían haber depositado los sedimentos señalados como recientes, también de naturaleza pelítica fina predominantemente arcillosa-limosa.

Datos técnicos de la perforación Coronel Manuel L. Rico N° 2.

Nivel del agua	48,90m
Nivel dinámico	58,40 m
Caudal de bombeo	1,7 m ³ /hora
Conductividad	1798 micromhos/cm
Temperatura	28,5 °C
Prof. Inst. Bomba	58,80 m
Punto de referencia	0,50 m

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La zona se caracteriza por la heterogeneidad de la propiedad eléctrica de los espesores (resistividad) entre los SEVs. Esto se corresponde con el ambiente de sedimentación aluvial.

En Pampa de los Guanacos, la presencia de horizontes con resistividades bajas, denotan agua mineralizada. Esta situación se agudiza hacia esta localidad, en ambas rutas.

Los paleocauces se manifiestan en las curvas SEV como tipo K, la rama ascendente, es pronunciada y se debe a espesores poco húmedos, la rama descendente se atribuye a agua muy mineralizada.

La zona con valores de resistividad más altas, a profundidades donde los horizontes se hallan saturados, se encuentran cercanos a la localidad de Coronel Manuel L. Rico, donde se considera aconsejable la perforación de exploración.

Los lugares que se recomendaron para la exploración con sondeos mecánicos son los correspondientes a los SEV N° 6, 4 y 16 El lugar correspondiente al SEV 19, zona donde puede considerarse de transición puede esperarse condiciones menos favorable que los anteriores.

Una vez realizada las perforaciones en los lugares correspondientes a los SEV 4 y 16, los resultados de los análisis físico-químico realizado califican como agua potable para consumo humano.

La profundidad del sondeo se aconseja en todos los casos, no pasar de 70 m, ya que por debajo, la presencia de horizontes conductores de la corriente permiten inferir la presencia de agua más mineralizada.

Aun en la zona detectada con mejores posibilidades, aledaña a la localidad de Coronel Manuel Rico, se

observa resistividades bajas (espesores conductores). Estos espesores se atribuyen a agua mineralizada.

Realizar conjuntamente las tareas de Geoeléctrica con la de inventarios de pozos de la zona se consideró de mucha utilidad, ya que permitió rápidamente observar la presencia de los paleocauces secos en el sector de Pampa de los Guanacos.

REFERENCIAS

MARTÍN A., P. (2000). “Hidrogeología de la Prov. de Santiago del Estero” ediciones del rectorado de la Universidad Naional de Tucumán - Tucumán.

INA (2005).

ESTUDIO DE FUENTES PARA LA PROVISIÓN DE AGUA POTABLE A LA LOCALIDAD DE PAMPA DE LOS GUANACOS INFORME TÉCNICO, DIRECCIÓN DE SERVICIOS HIDRÁULICOS (2005).

PALAZZO, R. (1990). Abastecimiento a la localidad de Villa Minetti Provincia de Santa Fe, informe inedito.

PADULA, E.; MINGRAM, A. (1963). Permian Sub-Surface Beds of the Chaco - Mesopotamian. Region, Argentina. Ed. Complementaria, Buenos Aires.

SOSA, D.; GENESIO, M.; MONTEVERDE, C. (2004). Estudio Geoeléctrico en Pampa de los Guanacos, Provincia de Santiago del Estero, Informe técnico.

SOSA, D.; GENESIO, M.; FERTONANI, M.; VILLORDO, J. (1997). Exploración Geoeléctrica en Charata, Chaco, Informe técnico INA.

INTERPRETACIÓN DE PERFILAJES DE POZOS EN LA ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS (ANÁLISIS PRELIMINAR)

J. Ainchil.¹; E. Kruse.²; P. Calahorra Fuertes ²; S. Ruiz¹

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. UNLP

² CONICET. Universidad Nacional de La Plata - Paseo del Bosque s/n°. La Plata. Buenos Aires. Argentina. kruse@fcaglp.unlp.edu.ar

RESUMEN

El conocimiento hidrológico subterráneo y la información obtenida a través de distintas metodologías indirectas, en especial geoelectricas, permite definir las relaciones existentes entre las propiedades geofísicas detectadas y los parámetros hidrogeológicos. A partir de ello es posible mejorar la cuantificación de los recursos hídricos subterráneos considerando sus variaciones espaciales en menores tiempos y costos. El objetivo de este trabajo es reconocer las posibilidades que brinda la interpretación de perfilajes múltiples de perforaciones para una estimación preliminar de la transmisividad en un nivel acuífero. En el trabajo se incluye el análisis e interpretación de perfilajes con registros de potencial espontáneo, variables eléctricas (normales de corto y largo espaciado, lateral y monoelectrónica, resistividad del fluido) y variables radiactivas (gamma natural) asociados a las características hidrogeológicas del acuífero de la arenas Puelches en el Noreste de la Provincia de Buenos Aires. Los registros de resistividad de las arenas vinculados a los registros de gamma natural que detectan variaciones en los contenidos de arcilla del nivel acuífero permiten apreciar las variaciones en los valores de transmisividad que son verificables de acuerdo a los ensayos de bombeo ejecutados en las perforaciones. Se concluye que la metodología desarrollada resulta apta para mejorar el conocimiento del comportamiento de las aguas subterráneas, y en particular del acuífero en estudio.

Palabras claves: perfilajes múltiples de pozos, transmisividad, arenas Puelches.

ABSTRACT

The hydrogeological knowledge and the information obtained by different indirect methodologies, especially geoelectric methods, allows to define the existing relations between geophysical detected properties and the hydrogeological parameters. It is possible to improve the groundwater resources quantification considering its spatial variations in minor times and costs. The objective of this work is to recognize the possibilities that the interpretation of multiple well logs in perforations offers for a preliminary estimation of the transmissivity in aquifers formations. In this work the analysis and interpretation of well logs with spontaneous potential, electric variables: normal short (16N), normal long (64N), lateral, single point resistance (SPR) and fluid resistance, also radioactive variables (natural gamma) records are included. These records are associated with the aquifer hydrogeological characteristics of the Puelches sands in the North-east of the Province of Buenos Aires. Resistivity records of the sands, linked to the natural gamma records that detect

variations in the contents of clay of the aquifer, allows finding the variations in transmissivity values that agree with the pumping tests done in the wells. It concludes that the developed methodology is suitable to improve the knowledge of the behaviour of the underground water, and especially of the studied aquifer.

Key words: multiple logs, transmissivity, Puelches sands.

INTRODUCCIÓN

Los perfilajes de pozos constituyen una herramienta tradicional para precisar los cambios litológicos en el perfil de una perforación. A partir de la información proporcionada y de la descripción del material recuperado es posible reconocer la posición de los niveles acuíferos y a su vez las variaciones litológicas verticales.

Ainchil et al (2006) plantea que en el esquema hidrogeológico del Noreste de la Provincia de Buenos Aires, la asociación de registros de potencial espontáneo, gamma natural y resistividades (normal larga y corta) en los perfilajes de perforaciones son de utilidad para delimitar los sedimentos y los niveles acuíferos atravesados. A su vez se reconoce, a partir de perfilajes de pozos vecinos, que existen fuertes variaciones laterales en el espesor y granulometría de las arenas del principal acuífero (Puelche) en explotación en la región. Ello tiene una influencia directa en variaciones significativas en la transmissividad y conductividad hidráulica de los niveles acuíferos.

El objetivo de este trabajo es reconocer las posibilidades que brinda la interpretación de perfilajes múltiples de perforaciones para una estimación preliminar de las variaciones en la transmissividad en un nivel acuífero, con especial referencia al caso de estudio del Puelche en el noreste bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se han seleccionado perforaciones representativas situadas en las proximidades de La Plata, cuya ubicación se muestra en la Figura 1.

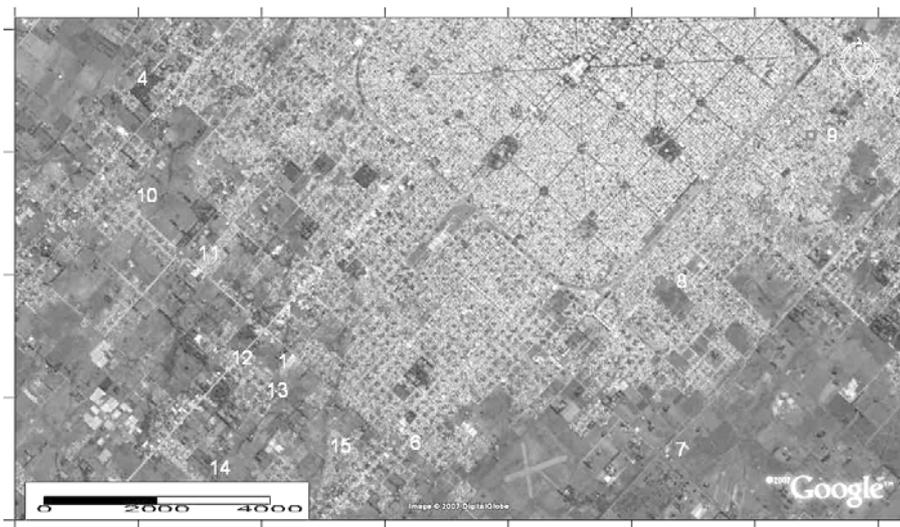


Figura 1.
Ubicación de los sondeos

Potencial Espontáneo

El potencial espontáneo es la resultante de varias fuerzas electromotrices, que generan una diferencia de potencial natural entre cada punto de la perforación y un punto ubicado en la superficie (Asquith, 1983). Este parámetro puede medirse en las perforaciones sin recubrimientos. Los valores representados dependen en gran medida de los tipos y de la cantidad de sales disueltas en el agua que contienen las formaciones. La diferencia de potencial en formaciones permeables puede ser negativa o positiva, de acuerdo a múltiples factores, pero en especial en función de la relación entre la conductividad del lodo y la conductividad del agua de formación. Los datos originales fueron suavizados mediante la técnica de filtrado utilizando una media móvil de 5 términos, a los efectos de obtener un registro no influenciado por las variaciones estadísticas del potencial espontáneo.

Resistividad

Los registros resistivos determinan la resistividad eléctrica aparente de las formaciones atravesadas por el sondeo. Las resistividades de ellas dependen básicamente de la porosidad efectiva de las mismas y de la salinidad del agua que contienen. El equipo calibrado brinda directamente los valores de resistividad aparente de las formaciones, expresados en ohm.m, en función de la profundidad en forma de gráfica continua. Las resistividades más bajas corresponden a las formaciones de arcillas, limos y acuíferos salinizados, y se hacen más elevados con la presencia de formaciones arenosas o rocas. Las herramientas utilizadas han sido las resistivas normales de corto y largo espaciado, y las resistivas de disposición lateral y monoelectrónica (Schlumberger Well Surveying Corp., 1958).

Además se efectúa el registro de resistividad del fluido, mediante un sensor ubicado en el extremo final de la sonda multiparamétrica a 2,286 metros del cabezal, que registra en forma continua las variaciones de la resistividad del fluido. Esta sonda permite interpretar, frente a variaciones de resistividad asociados a otros parámetros, el ingreso de agua de otras formaciones acuíferas.

Radiactividad

El registro de radioactividad natural o gamma natural es el más sencillo de todos, mide la radiación gamma natural asociada al propio terreno (Peterson, 2000). En este registro no es necesario que el pozo esté lleno de agua o lodo, tampoco es inconveniente la presencia de entubados, razón por la cual es de uso más general que los otros eléctricos u otros registros radiactivos, siendo en algunas ocasiones la única alternativa posible. Algunas rocas son radioactivas por naturaleza. Los elementos inestables presentes en las formaciones son: las series Uranio-Radio y Thorio-Radio-Potasio. Estos elementos son los que contribuyen en más alto porcentaje a las radiaciones naturales que se observan en las rocas sedimentarias. La integración de estas curvas es cualitativa, con una buena definición en los distintos niveles litológicos sedimentarios por la presencia en las arcillas de los elementos C14 y K40, que aumentan considerablemente su actividad, pudiendo en condiciones favorables determinar cuantitativamente el contenido de finos. Es definida como un registro litológico dado su capacidad de discriminar materiales en función de su actividad de emisión gamma natural.

Mapeo de unidades

A partir de la asociación de los parámetros descriptos se ha definido la profundidad y límites entre capas litológicas características. La correlación entre los perfilajes y la representación de dichas capas posibilitó la

confección de mapas profundidades e isopáquicos. Un tratamiento de mayor detalle se ha realizado en el nivel acuífero Puelche.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

La región de La Plata presenta una marcada monotonía en su condición geológica (Auge, 2005), presentando las típicas características hidrogeológicas del Noreste de la Provincia de Buenos Aires (EASNE, 1972; Auge y Hernández, 1983; Auge et al, 2002). Incluye desde un punto de vista práctico, las secciones del subsuelo menos profundo: Fm Paraná (Verde), Arenas Puelches, Pampeano y Pospampeano, que resultan las más conocidas y presentan una mayor significación en relación a la explotación de aguas subterráneas y a los aspectos ambientales asociados.

La Formación Paraná o “El Verde”, representa a una secuencia compuesta por arcillas y arenas acumuladas durante la ingresión paraniense, que se encuentra por debajo de las Arenas Puelches, de las cuales lo separa una discordancia erosiva. En su parte superior predominan arcillas plásticas verdosas y azuladas y en la inferior, arenas medianas blanquecinas. Los antecedentes en el área de estudio indican que el agua subterránea almacenada en esta unidad presenta un alto contenido salino.

Las Arenas Puelches representan a una secuencia de arenas cuarzosas sueltas, medianas y finas, blanquecinas y amarillentas, con estratificación gradada, de origen fluvial. Es la unidad hidrogeológica más conocida, debido a la intensa explotación a que ha sido sometida y por lo tanto con mayor información a partir de las perforaciones realizadas. En la zona de estudio el techo de las arena se sitúan entre 20 y más de 50 m de profundidad y su espesor varía entre alrededor de 15 y 35 m. La secuencia sedimentaria es en general granodecreciente (Auge et al, 2002) con extremos de gravilla en el sector inferior y arena muy fina a limosa en el pasaje a la arcilla que le sirve de techo (acuitardo). Los datos químicos del agua subterránea en la zona estudiada muestran una baja salinidad.

El Pampeano representa a una secuencia compuesta por limos arenosos y arcillosos, de tonalidades castañas, amarillentas y rojizas con frecuentes intercalaciones calcáreas (tosca). El espesor del Pampeano está controlado por los desniveles topográficos y por la posición del techo de las Arenas Puelches (Auge, 2005), variando entre extremos de 50 m (llanura alta) y 0 m en la costa del Río de La Plata. Estos sedimentos sobreyacen a las Arenas Puelches, siendo frecuente la existencia de un estrato limo-arcilloso intercalado entre ambos, de comportamiento acuitardo. En la zona de estudio el agua se caracteriza por un relativamente bajo tenor salino.

La denominación de Pospampeano se refiere a depósitos de diferente origen (fluvial, eólico, marino, lacustre). Se trata de limos, arcillas, arenas y conchillas, en general de escaso espesor que se sitúan por encima de los Sedimentos Pampeanos.

RESULTADOS

La interpretación de los perfilajes geofísicos ha permitido reconocer distintas características de la secuencia estratigráfica.

Interpretación de perfilajes

A modo de ejemplo se han seleccionado dos perfilajes que indican los resultados que se obtienen a partir de esquema hidrogeológico que caracteriza al noreste de la Provincia de Buenos Aires.

En la Figura 2 se muestra el perfilaje y la litología del Pozo 1 que alcanza los 79 metros de profundidad. Puede observarse que entre 79 y 77 mbbp altos valores de gamma natural y en contraste una evidente disminución de valores de resistividad. Los registros gamma crecen hasta valores del orden de 100 CPS y los de resistividad caen entre 1 y 2 ohm.m. Ello es característico de la sección con predominio de sedimentos finos asignable a las arcillas verdes de la formación Paraná.

Entre 77 y 53 mbbp se desarrolla un paquete donde el registro gamma natural (inferior a 20 CPS) y los registros resistivos (superiores a 30 ohm.m) son indicadores de la presencia de las Arenas Puelches.

A partir de los 43 mbbp y hasta la superficie se presentan registros con valores del orden de 50 CPS en gamma natural y 10 ohm.m en resistividad, que son característicos de los Sedimentos Pampeanos.

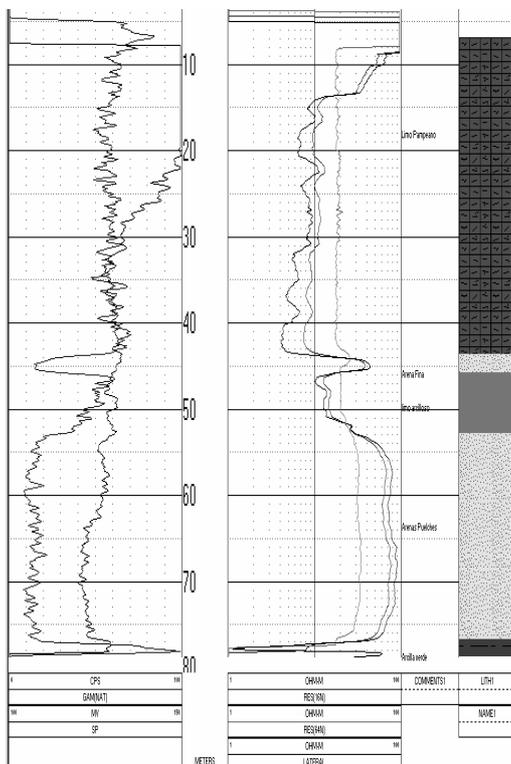


Figura 2. Pozo 1

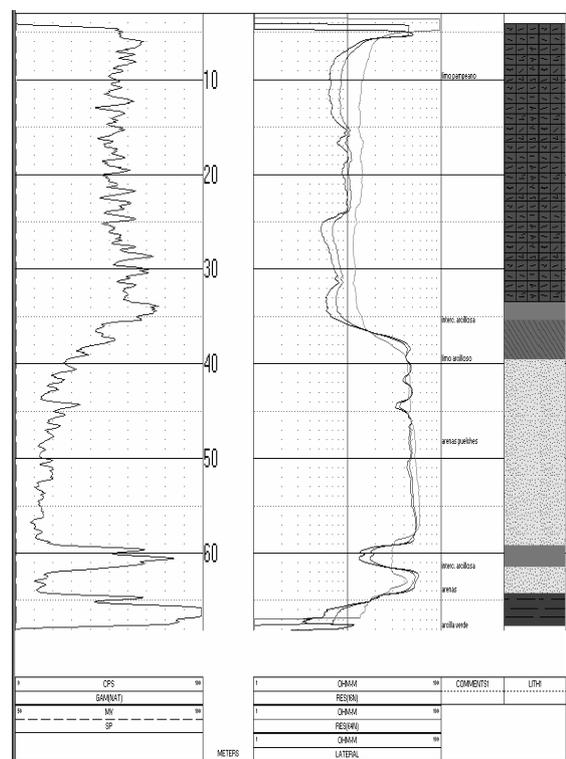


Figura 3. Pozo 11

En estas perforaciones se realizaron perfilajes múltiples, en los cuales en una única corrida se registran: potencial espontáneo, variables eléctricas (normales de corto y largo espaciado, lateral y monoelectrónica, resistividad del fluido) y variables radiactivas (gamma natural).

Se observa una intercalación de características arenosas entre los 43 y 46 mbbp y una de materiales finos entre los 46 y 53 mbbp.

La Figura 3 muestra el perfilaje y las características litológicas del Pozo 11 que alcanza los 68 metros de profundidad.

En la parte final del perfil, entre 68 y 65 mbbp, se reconocen valores altos de gamma natural y en contraste una evidente disminución de valores de resistividad. Los registros gamma alcanzan hasta valores del orden

de 90 CPS y los de resistividad disminuyen entre 1 y 2 ohm.m, siendo estos registros indicadores de las arcillas de la Formación Paraná.

Entre 65 y 39 mbbp se desarrolla un paquete donde el registro gamma natural (inferior a 20 CPS) y los registros resistivos (superiores a 30 ohm.m) son característicos del nivel acuífero de las Arenas Puelches. Se observa una intercalación de valor significativo de gamma y de bajo valor de resistividad entre 67 y 64 mbbp, atribuidos a una intercalación de mayor contenido de arcillas.

Entre 39 y 34 mbbp crecen los valores de gamma natural y decae la resistividad evidenciando presencia de un alto contenido de arcillas.

A partir de los 34 mbbp y hasta superficie se presentan registros con valores del orden de 50 CPS en gamma natural y 10 ohm.m en resistividad, que son característicos de los Sedimentos Pampeanos.

Caracterización general

Las interpretaciones realizadas para todos los pozos del área de estudio indican que las resistividades en el nivel acuífero de las Arenas Puelches muestran valores superiores a 30 ohm.m, mientras que en los Sedimentos Pampeanos oscilan entre 10 y 20 ohm.m. Los valores frecuentes obtenidos para gamma natural son inferiores a 20 CPS para el primer caso y del orden 50 CPS para el segundo. En ambos casos se trata de agua de bajo contenido salino. Ello contrasta fuertemente con los valores obtenidos en las arcillas verdes (Fm Paraná) en que la resistividad oscila entre 1 y 2 ohm.m y los valores de gamma natural alcanzan a 100 CPS.

Mapas de unidades de interés hidrogeológico

De acuerdo a la información obtenida se ha prestado especial atención a los espesores de las arenas (resistividades superiores a 30 ohm.m y valores de gamma natural inferiores a 20 CPS) y de las intercalaciones arcillosas en el nivel acuífero Puelche (resistividades inferiores a 7 ohm.m y valores de gamma natural superiores a 50 CPS).



Figura 4. Mapa de isocaptas de profundidad del acuífero en mbbp.

Se reconoce que la unidad arenosa que representa al nivel acuífero Puelche se encuentra entre 35 y 60 m por debajo de la superficie.

En la Figura 5 se han representado las variaciones de los espesores de arena en dicho nivel acuífero.

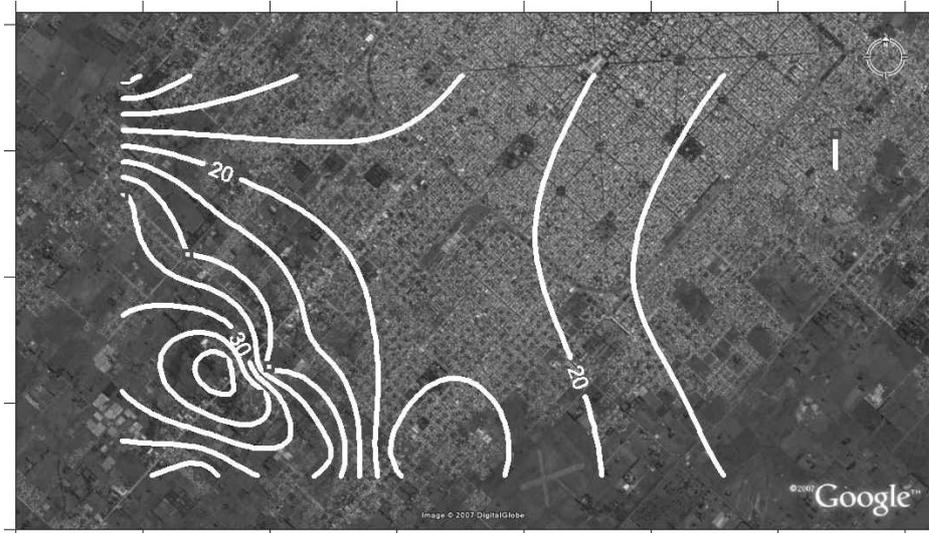


Figura 5. Mapa de isopacas del nivel acuífero en metros.

En este caso los espesores oscilan entre 15m y 35 m. La distribución de las curvas indica que existen aumentos significativos en cortas distancias lo cual se refleja especialmente en el sector Sudoeste del área estudiada.

En la Figura 6 se indican las variaciones en los espesores de las intercalaciones arcillosas en el mismo nivel acuífero.



Figura 6. Mapa de isolíneas de espesor de intercalaciones arcillosas en el acuífero en metros

Los espesores de las intercalaciones arcillosas oscilan entre 0 y 4,5 m, existiendo una alternancia puntual entre valores de mayor y menor espesor, esto también resulta más evidente en el sector sudoeste del mapa.

Desde un punto de vista regional el nivel acuífero Puelche puede considerarse homogéneo en su conformación hidrolitológica. Los perfilajes geofísicos obtenidos y una información litológica más detallada en las perforaciones descriptas permiten reconocer anisotropías significativas en el medio sedimentario.

Auge (2006) cita que en la zona de La Plata y a partir de la realización de ensayos de bombeo en el Acuífero Puelche se obtuvieron resultados de transmisividad que varían entre 225 y 1034 m²/día, con conductividades hidráulicas entre 8 y 41 m/día. Estos ensayos hacen referencia al nivel acuífero Puelche considerado como una unidad, que incluye en algunos sitios intercalaciones de sedimentos de menor granulometría.

Los mapas confeccionados muestran que las fuertes variaciones reconocidas en los espesores de las arenas y que las arcillas pueden representar entre 0 y 25% del espesor total de la unidad. Estas variaciones se pueden relacionar con los valores extremos de transmisividad y conductividad hidráulica antes mencionados.

Por otra parte, los mapas que se han representado indican que la densidad de perforaciones analizadas tiene una influencia significativa en la morfología de los espesores observados. Es así que en el sector Sudoeste de los mapas donde se cuenta con mayor cantidad de datos de perforaciones aparecen curvas irregulares. Ello es propio de un medio que se caracteriza por fuertes variaciones litológicas laterales y verticales y que son el resultado de depósitos en un ambiente fluvial (Puelche), en el cual se reconoce el predominio de las arenas e intercalaciones de sedimentos arcillosos.

En el sector Noreste las curvas de espesores que resultan más suaves y regulares. Es probable que una mayor información de pozos en este sector reproduzca una situación similar a la descripta anteriormente.

CONCLUSIONES

Los perfilajes de pozos que incluyen registros de potencial espontáneo, gamma natural y resistividades (normal larga y corta) constituyen una herramienta de utilidad para precisar el conocimiento de los límites entre distintos niveles acuíferos.

En la zona de La Plata se ha diferenciado en el nivel acuífero Puelche una sucesión de arenas (resistividades superiores a 30 ohm.m y valores de gamma natural inferiores a 20 CPS) con algunas intercalaciones arcillosas (resistividades inferiores a 10 ohm.m y valores de gamma natural superiores a 50 CPS).

Las variaciones laterales del nivel acuífero (Puelche) ha permitido reconocer fuertes variaciones en los espesores y la influencia de las intercalaciones arcillosas, que pueden oscilar entre el 0 y el 25% del espesor total. Esto podría explicar los distintos valores de transmisividad (entre 200 y 1000m²/día) y de conductividad hidráulica (entre 8 y 41 m/día) en este nivel acuífero.

La información brindada por los perfilajes geofísicos constituye una base para el mejor conocimiento del comportamiento de los niveles acuíferos y por ende favorecer una mejor gestión en su explotación.

REFERENCIAS

- AINCHIL, J., KRUSE, E. Y CALAHORRA FUERTES, P. (2006).** Variaciones laterales en los sedimentos de los acuíferos pampeano y puelche (Noreste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina). VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Asunción. Paraguay.
- ASQUITH, G., (1983).** Basic Well Log Analysis for Geologists. AAPG. ISBN 0-89181-652-6, 28-44, 96-103.
- AUGE M., (2005).** Hidrogeología de La Plata, Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata.
- AUGE M, Y HERNÁNDEZ M., (1983).** Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense. Coloquio Internacional de Hidrología de Grandes Llanuras. UNESCO (II), 1019-1043. Buenos Aires.
- AUGE M, HERNÁNDEZ M Y HERNÁNDEZ L., (2002).** Actualización del conocimiento del acuífero semiconfinado Puelche en la provincia de Buenos Aires, Argentina. In: Groundwater and Human Development, 624-633.
- EASNE, (1972).** Contribución al estudio geohidrológico del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. EASNE-CFI. Serie. Téc.24, Tomo I y II.
- PETERSON, B., (2000).** Practical Use and Application of Geophysical Logs for Hydrogeological and Environmental Projects, Century Geophysical Corp. Tulsa Oklahoma.
- SCHLUMBERGER WELL SURVEYING CORP., (1958).** Perfilaje de Pozos. Documento 8. Ed. Schlumberger.

EMPLEO DE TÉCNICAS GEOFÍSICAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA ENDORREICA DE FUENTE DE PIEDRA, MÁLAGA (ESPAÑA)

J. Heredia¹, A.G. de Domingo¹, J.M. Ruiz¹, F.M. Rubio¹, P. Ibarra¹

¹ Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003, Madrid, España;

a.garcia@igme.es; j.heredia@igme.es; jm.ruiz@igme.es; fm.rubio@igme.es; p.ibarra@igme.es

RESUMEN

Una gran parte de los materiales que afloran en la cuenca endorreica de Fuente de Piedra se encuentran incluidos dentro del denominado Complejo Caótico Subbético (Vera, 2004), atribuido al Mioceno medio. Esta unidad está formada por bloques de distinta naturaleza, geometría y edad incluidos en una matriz arcillosa procedente de resedimentaciones de materiales del Triásico superior. Sobre este conjunto descansa una serie de calcarenitas y margas, datadas como Mioceno superior, que afloran en el sector septentrional de la laguna. La litología de estos materiales, sobre todo de los que forman parte del Complejo Caótico Subbético, junto a la existencia de varias salmueras distribuidas por los acuíferos del entorno, no facilitan el tratamiento geofísico de este sistema. Con el fin de comprobar la idoneidad de la tomografía eléctrica para la localización y caracterización de estos niveles de salmueras y de los niveles litológicos, que se supone controlan su disposición, se han realizado varios perfiles eléctricos, con diversos rangos de espaciado, localizados en los márgenes y en el interior de la laguna de Fuente de Piedra. De los resultados obtenidos, podemos concluir que este método es resolutivo para el objetivo propuesto, definiendo con precisión y calidad los niveles de salmueras, obteniendo una buena correlación con otras observaciones.

Palabras claves: Hidrogeología, geofísica, tomografía eléctrica, Fuente de Piedra (España).

ABSTRACT

A large part of the outcropping deposits over the Fuente de Piedra lake endorheic basin are contained in the so-called Complejo caótico Subbético (Vera, J.A. 2004) of the middle Miocene. It is composed of different natures, geometry and age blocks in a clayey matrix of resedimentated upper Triassic facies. Overlaying that facies, upper Miocene calcarenites and marls are deposited which outcrop in the northern part of the lake. The use of geophysical methods in this complex hydrogeological system is not simple due to the different lithologies and the existence of brines in some aquifers. Some electrical profiles have been carried in field works to check out the capacity of electrical resistivity tomography method to locate and characterize brines and lithologies. Various range distance measurements of electrical profiles were located over banks and inside the lake. In consequence from field measurements electrical resistivity tomography method is appropriate due to the reached resolution, accuracy for brine definition and showing good correlation with another hydrogeological facts.

Key words: Hydrogeology, geophysics, electrical tomography, Fuente de Piedra (Spain).

INTRODUCCIÓN

La laguna de Fuente de Piedra se localiza al norte de la provincia de Málaga (España), Figura 1. Se encuentra emplazada en una cuenca endorreica de unos 150 km² de extensión. Próximo al límite meridional de esta depresión se encuentra instalada la Laguna de Fuente de Piedra que ocupa unos 13,5 km² y acoge a una rica avifauna, por lo que en 1983 se incluyó en la Lista del Convenio de Ramsar y en 1984 se declaró como Reserva Integral. Este humedal constituye una de las zonas húmedas más importantes para la nidificación de flamencos en Europa occidental lo que la confiere unas singularidades que se necesitan conservar y proteger frente a las presiones del entorno.

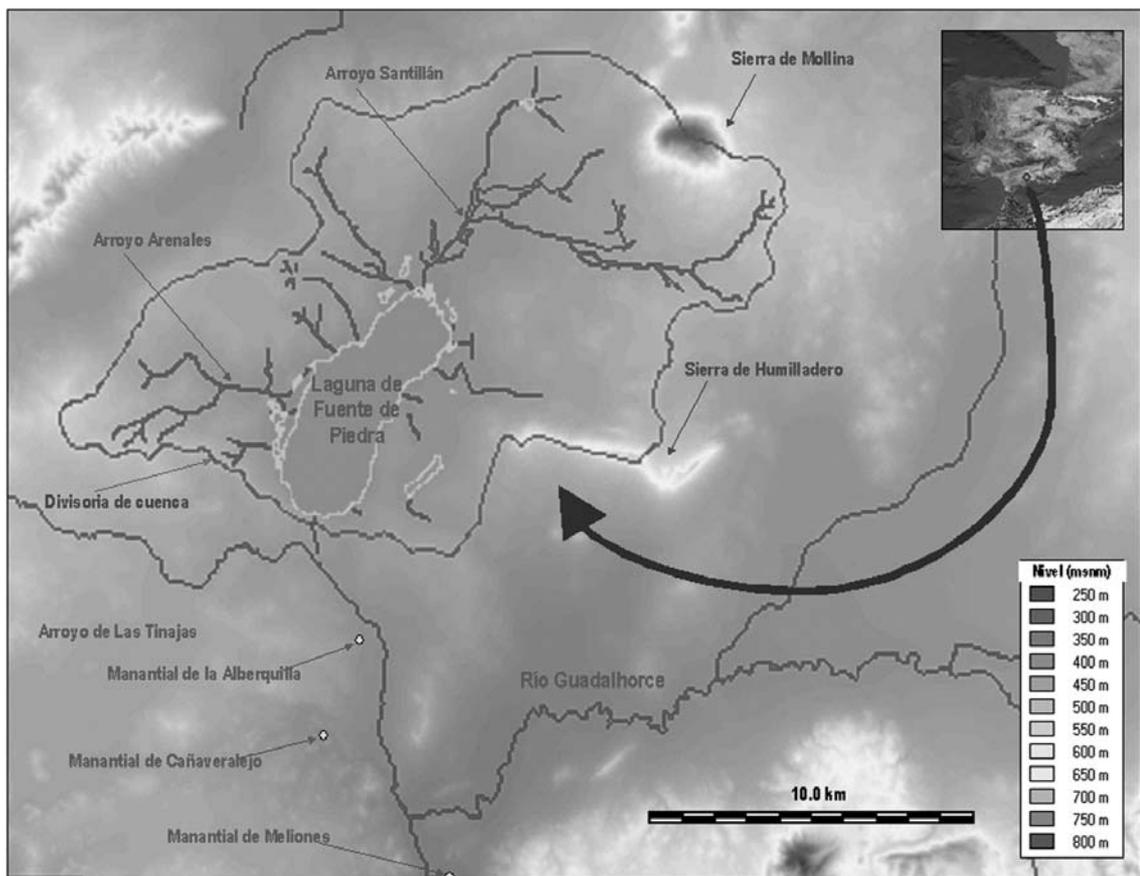


Figura 1. Cuenca de la laguna de Fuente de Piedra.

Los trabajos preliminares para el desarrollo de un modelo numérico que apoye una gestión hídrica sostenible de este humedal, pusieron en evidencia las incertidumbres y carencias en el conocimiento del sistema hidrogeológico. La complejidad de este sistema ha demandado el establecimiento de una estrategia multidisciplinar para la caracterización del mismo. Siendo el objetivo último de los trabajos acometidos el establecimiento de un modelo conceptual geológico e hidrogeológico consistente Heredia *et al.*, (2005).

OBJETIVO

En gran medida la complejidad del sistema hidrogeológico de la laguna de Fuente de Piedra se debe a la gran variabilidad de la densidad de los flujos presentes en él. Así, el rango de variación en la concentración observado va desde los 319 mg/l en aguas de las formaciones calizas a los 332000 mg/l en las salmueras profundas.

Dos décadas atrás, en las primeras investigaciones realizadas en la cuenca de la laguna, se emplearon Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) con el objetivo de caracterizar litológicamente al sistema. La falta de contraste en los sondeos paramétricos evidenció la inadecuación de esta técnica en este medio para alcanzar dicho objetivo.

Recientemente, la identificación de la importancia de las salmueras en este sistema hidrogeológico, propicio la reconsideración del empleo de técnicas geofísicas con el objetivo caracterizar geoméricamente las salmueras en la cuenca. Acorde a ello se acometió el ensayo que se presenta cuyo principal objetivo es comprobar la idoneidad del método de perfilaje eléctrico o tomografía de resistividad, para localizar y caracterizar el techo del nivel de las salmueras y aguas salobres existentes. Lo cual, eventualmente, contribuirá en la identificación de un hipotético control litológico para las salmueras que, se supone, es responsable de la disposición y el funcionamiento de estas aguas subterráneas

MARCOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS

La cuenca endorreica de Fuente de Piedra se emplaza en las Zonas Externas de la Cordillera Bética, concretamente en el denominado Complejo Caótico Subbético. Esta unidad se caracteriza por presentar una estructura interna muy compleja, producida por un intenso proceso de aloctonía que ha motivado su pérdida de coherencia interna transformándose en un conjunto de masas caóticas brechificadas. Este complejo olistostrómico esta formado por una serie de bloques u olistoplacas, de naturaleza fundamentalmente carbonatadas, cuyo origen se atribuye a los dominios del Subbético y del Campo de Gibraltar, inmersos en una pasta de naturaleza fundamentalmente arcillo-yesífera-salina, procedente de la desestructuración de los materiales del Triásico superior. Estos materiales yesífero-salinos no solamente forman parte de la matriz sino que también se incorporan al complejo como auténticos bloques. Este conjunto caótico, datado como Mioceno medio por García Cortes *et al* (1991), se encuentra deslizado e incluido en los sedimentos que forman parte del Complejo Olistostrómico del Guadalquivir (Pérez-López y Sanz de Galdeano, 1994). Los sectores en donde se acumulan los materiales yesífero-salinos pueden sufrir posteriormente, intensos procesos diapíricos que no se registran en otras zonas próximas, manteniendo una particular evolución geomorfológica caracterizada por desarrollar intensos procesos de karstificación.

Fosilizando este conjunto, se observa una serie formada por calcarenitas, arenas y margas, sedimentadas en etapas postectónicas béticas en cuencas marinas restringidas y datadas como Mioceno superior. Este conjunto puede llegar a alcanzar espesores del orden del centenar de metros, fosilizando un importante paleorelieve formado sobre el Complejo Caótico Subbético subyacente. Por último, un conjunto de sedimentos detríticos cuaternarios recubren, en determinadas zonas, a los depósitos descritos anteriormente.

La génesis de esta laguna esta relacionada con procesos de karstificación y disolución, que afectan a los materiales yesífero-salinos del Complejo Caótico Subbético en esta zona. La depresión sobre la que se instala este humedal, no solo esta relacionada con procesos de colapso y hundimiento desarrollados en un

kárst profundo sino que posiblemente, esta laguna, se encuentra instalada directamente sobre formas superficiales de adsorción kárstica.

En estos materiales se localizan dos tipos de acuíferos muy diferentes: el inferior formado sobre el Complejo Caótico Subbético, de tipo kárstico, desarrollado en sales y yesos, y el superior de tipo intergranular, formado sobre las calcarenitas del Mioceno superior y los sedimentos detríticos del Cuaternario. Estos acuíferos son parte de un sistema hidrogeológico en el que se pueden identificar tres sistemas de flujo estratificados en función de la densidad, pero que interactúan entre sí. El sistema de flujo superior se desarrolla sobre el acuífero detrítico Mio-cuaternario y bloques de calizas y dolomías jurásicas. El intermedio, de baja permeabilidad, discurre por las arcillas con niveles de yesos y bloques de calizas y dolomías jurásicas que constituyen, en esta zona, los niveles superiores del Complejo Caótico Subbético. Finalmente, el sistema de flujo inferior es de alta permeabilidad, de tipo kárstico-, y se ha desarrollado sobre los niveles masivos de yesos y sales y bloques de calizas y dolomías jurásicas que constituyen los tramos inferiores de este complejo caótico. Ver Figuras 2.

Esta particular disposición hidrogeológica determina, en principio, la existencia de tres tipos de salmueras. Las cuales se distribuyen en los distintos ambientes geológicos del sistema, dificultando enormemente el empleo de técnicas geofísicas.

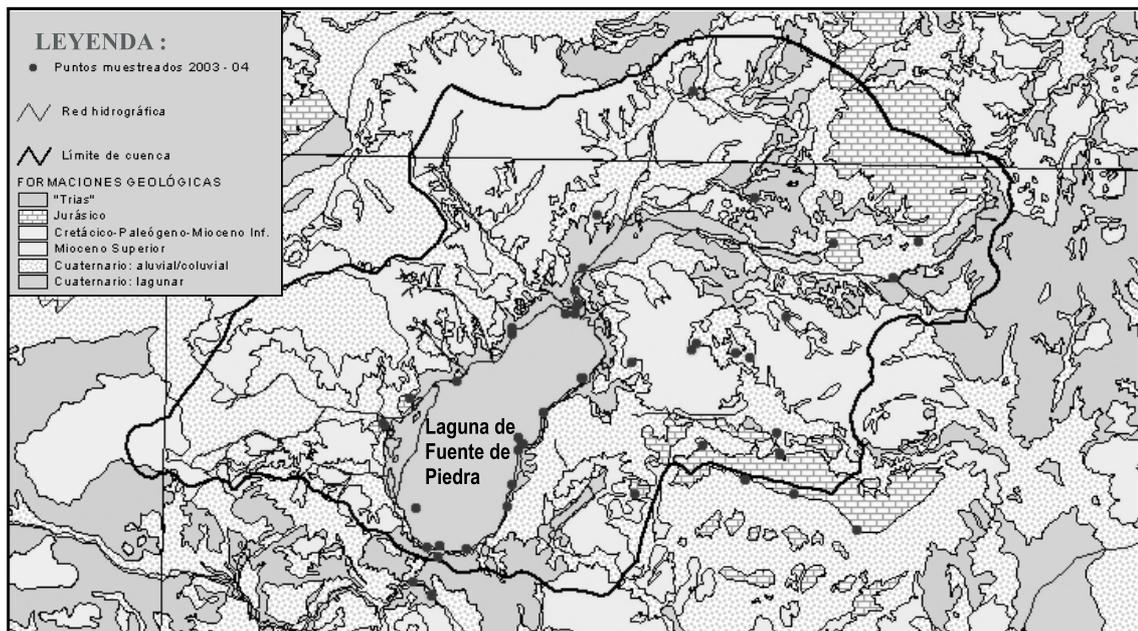


Figura 2. Formaciones geológicas en la cuenca .

METODOLOGÍA GEOFÍSICA

En respuesta al objetivo del ensayo se planteó realizar con el método de perfilaje eléctrico 4 perfiles tomográficos en los alrededores de la laguna, dentro de ésta y en zonas más alejadas. En la definición espacial de estos perfiles se , forzando el paso de éstos junto a algunos pozos con columna geológica y

perfiles de conductividad eléctrica conocidas a fin de verificar la fiabilidad de los resultados. Además se cuenta con una antigua campaña de SEV realizados en esta zona, en la que se comprobó la escasa resolución de este método. Ver Figura 3.

Para este estudio se utilizó un equipo de perfilaje marca ABEM, modelo Terrameter SAS4000, con sistema multielectrónico Lund, que realiza las medidas de forma múltiple y automática. Los perfiles se realizaron según esquema Wenner, muy resolutivo lateralmente y con una buena relación señal-ruido, utilizando espaciados electródicos distintos a fin de conseguir diferentes rangos de resolución y profundidad de investigación. Los datos de cada perfil se obtienen inicialmente en forma de pseudosección, siendo tratados mediante un programa de inversión (RES2DINV en modo “robusto”, que resalta los contrastes de resistividad) hasta conseguir un perfil de resistividad aproximadamente real.

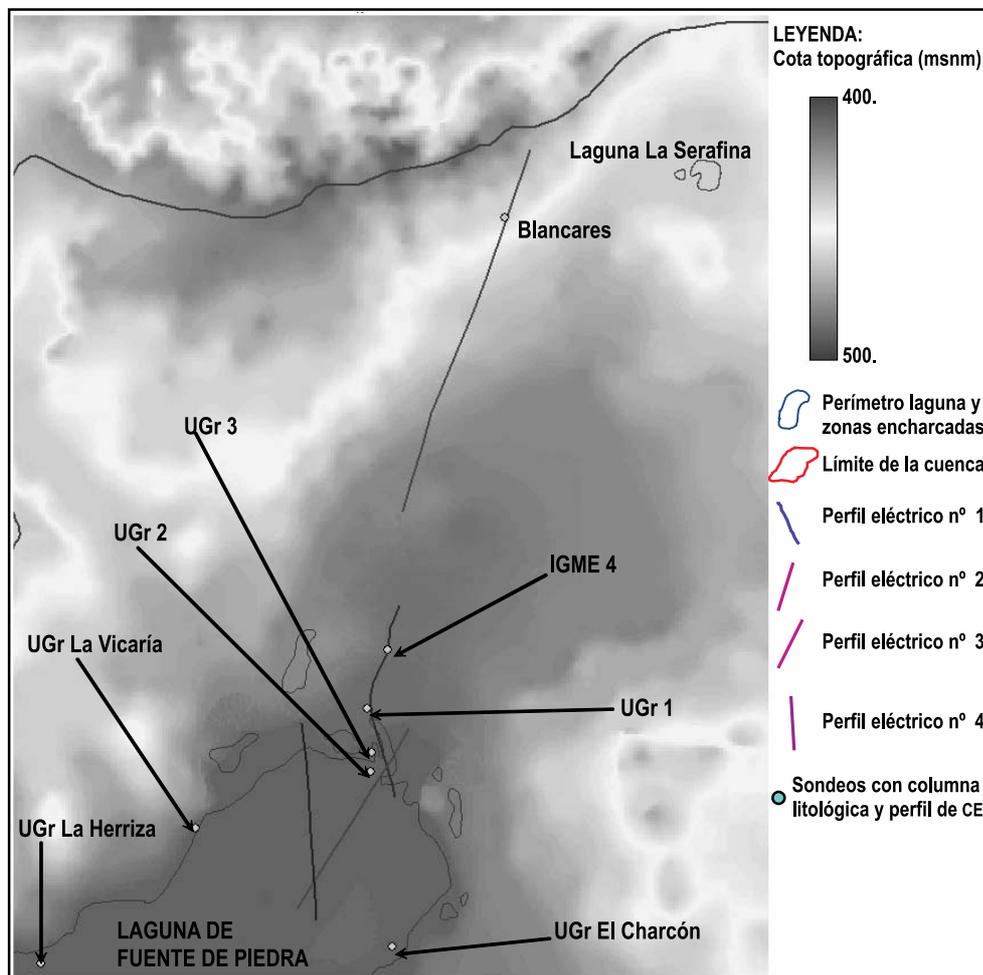


Figura 3. Perfiles de tomografía eléctrica y sondeos de apoyo con información litológica y / o perfiles de CE.

CONCLUSIONES METODOLÓGICAS DEL ENSAYO GEOFÍSICO

El desarrollo de este ensayo ha permitido realizar una valoración global sobre las técnicas geofísicas utilizadas en el estudio de la cuenca y, en particular, sobre la idoneidad del empleo de la tomografía eléctrica para la caracterización geométrica de salmueras en este medio. Las conclusiones metodológicas son las siguientes:

* El método de perfilaje eléctrico resulta adecuado para la localización de elementos conductores en contraste con bloques más resistivos que actúan como substrato de control geológico, visualizando su disposición en dos dimensiones.

- Los perfiles geoelectricos obtenidos, al igual que los SEVs, resultan poco adecuados para la discriminación de las formaciones geológicas presentes, ya se trate de materiales cuaternarios, - arcillas y yesos-, miocenos, -arcillas, margas, calizas y arenas- o triásicos, - margas, arcillas y yesos. Es decir, no es posible conseguir una diferenciación litológica con métodos eléctricos.
- Todos los perfiles de la campaña, en términos generales tienen un bajo nivel de ruido, lo que aumenta la confianza en la validez de las mediciones. Estadísticamente, la dispersión (varianza) de las lecturas, ha sido relativamente baja, muy poco influenciada por ruidos geológicos o ambientales
- Existe una buena correlación entre las resistividades obtenidas en los perfiles y las columnas de sondeos existentes, especialmente con las medidas directas de conductividad en sondeo.
- Existe una buena correlación, tanto cualitativa como cuantitativamente, entre los perfiles obtenidos y los SEVs más próximos a los mismos, realizados con anterioridad.
- Se puede concluir que el método funciona bien y es resolutivo para el objetivo propuesto, definiendo bien la disposición de los niveles de salmueras, lateralmente y en profundidad.

CONCLUSIONES ACERCA DE LA CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA

Los datos obtenidos, han permitido establecer algunas conclusiones preliminares sobre la disposición de las salmueras:

- Existe un importante bloque altamente conductor, constituido por salmueras que se ubica debajo de la laguna actual así como debajo de los terrenos más o menos inundados en el pasado, situados al norte del límite del vaso actual. En la Figura 4 se observa el perfil geoelectrico realizado desde el borde septentrional de la laguna, hacia el norte, en el que se incluyen los valores de conductividad eléctrica de varios piezómetros existentes, de izquierda a derecha: IGME 4, UGr-1, UGr-3 y UGr-2.

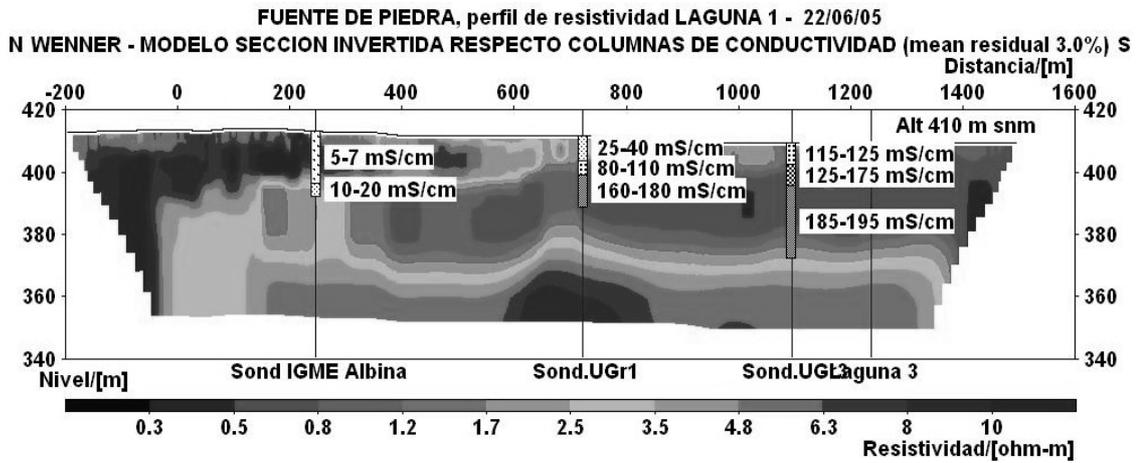
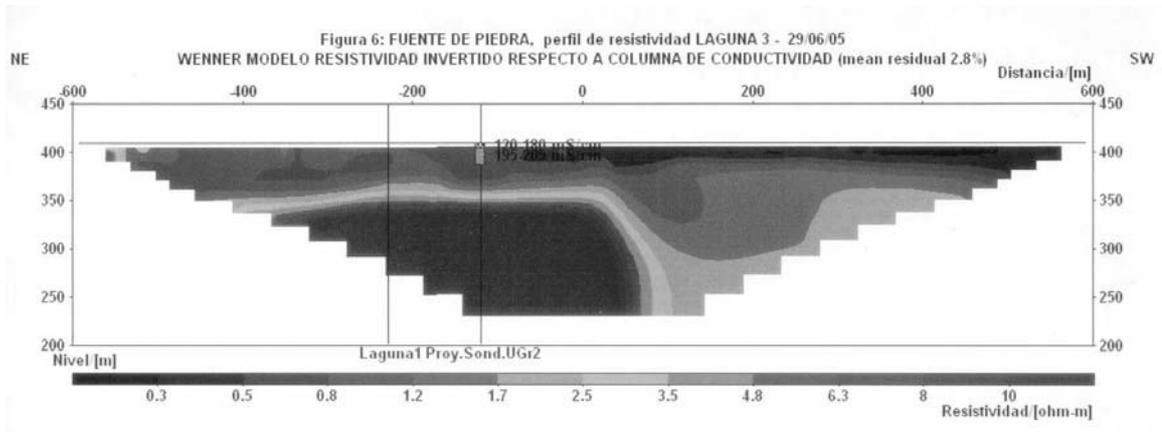


Figura 4. Perfil de tomografía eléctrica. Sondeos: IGME 4, UGr-1, UGr-3 y UGr-2.

- A partir del borde de la laguna, el bloque conductor se acuña gradualmente, disminuyendo de espesor y aumentando ligeramente en profundidad.
- Dentro del límite actual de la laguna, el nivel conductor llega a adquirir una gran profundidad, pudiendo quedar éste a más de 100 m en algunos puntos hacia el centro de la laguna. Ver Figura 5: perfiles 3 y 4, ejecutados en el vaso de la laguna.
- Por debajo del nivel de salmueras de la laguna, existe un nivel de mayor resistividad (en términos relativos), que pudiera constituir un control geológico de las salmueras suprayacentes.
- Fuera de la laguna y sus cercanías, las salmueras están presentes en otras zonas, distribuidas de forma irregular, tanto en extensión como en concentración, adoptando forma de lentejones o depósitos, cuya continuidad y conexión no han sido aún bien determinadas, dada la extensión limitada de este primer estudio. Ver Figura 6: perfil 2, sondeo de Blancares



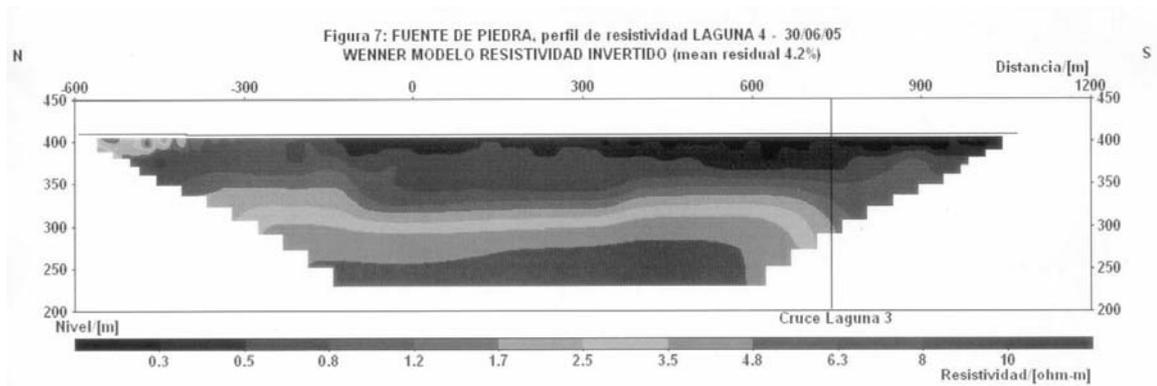


Figura 5. Perfil 3 y 4, ejecutados en el vaso de la laguna.

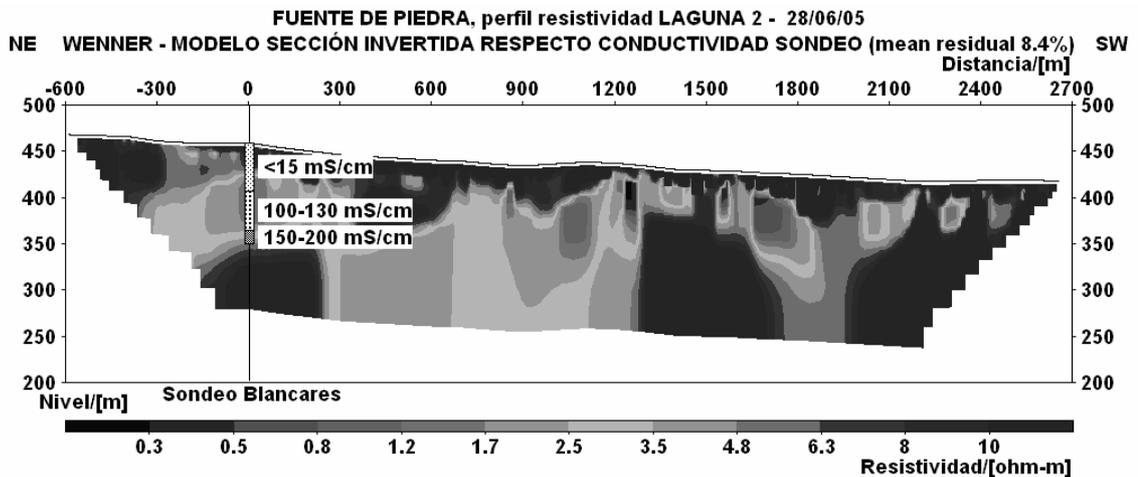


Figura 6. Perfil 2, sondeo de Blancares.

TRABAJOS RESULTANTES

Los buenos resultados obtenidos en esta campaña de ensayo, tanto en lo que respecta a la calidad de los datos como a su buena correlación con otras observaciones, ha hecho que se planificasen y se ejecutasen nuevas campañas geofísicas. Los objetivos de las mismas fueron:

- Localizar las salmueras existentes.
- Identificar un eventual control litológico.
- Contribuir a definir un modelo geológico e hidrogeológico conceptual del sistema.
- Contribuir a definir un modelo genético-evolutivo de las salmueras

Las técnicas geofísicas aplicadas fueron la tomografía eléctrica y los sondeos electromagnéticos (SEDT), ejecutándose sendas campañas durante el período 2006-2007. El criterio de diseño de las mismas fue de complementariedad de actuaciones en cuanto a información resultante, de forma tal que se obtenga el máxi-

mo de conocimiento del medio, minimizando los costes. Se realizaron 7 perfiles de tomográficos que cubrieron toda la cuenca (Figura 7) y representaron una longitud total de 30 km, alcanzando una profundidad de 100 m, y 2 perfiles con una longitud total de 2.5 km. Complementariamente a los perfiles se ejecutaron 11 SEDT's en el vaso de la laguna y 10 más en la cuenca de la misma (Figura 8). Actualmente, los resultados obtenidos se encuentran en fase de interpretación, contraste e integración con la información existente. No obstante, los avances de campo permiten esperar que los resultados de estos trabajos ofrezcan un importante aporte al conocimiento del medio.

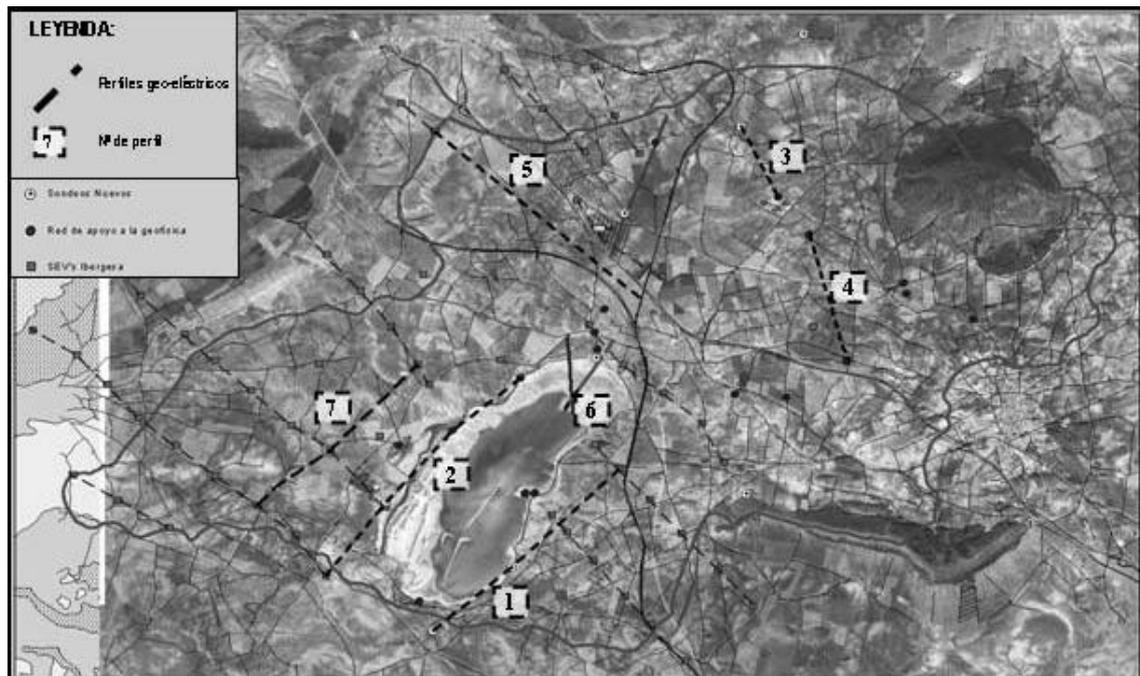


Figura 7. Emplazamiento de perfiles de tomografía eléctrica - 2º Campaña.

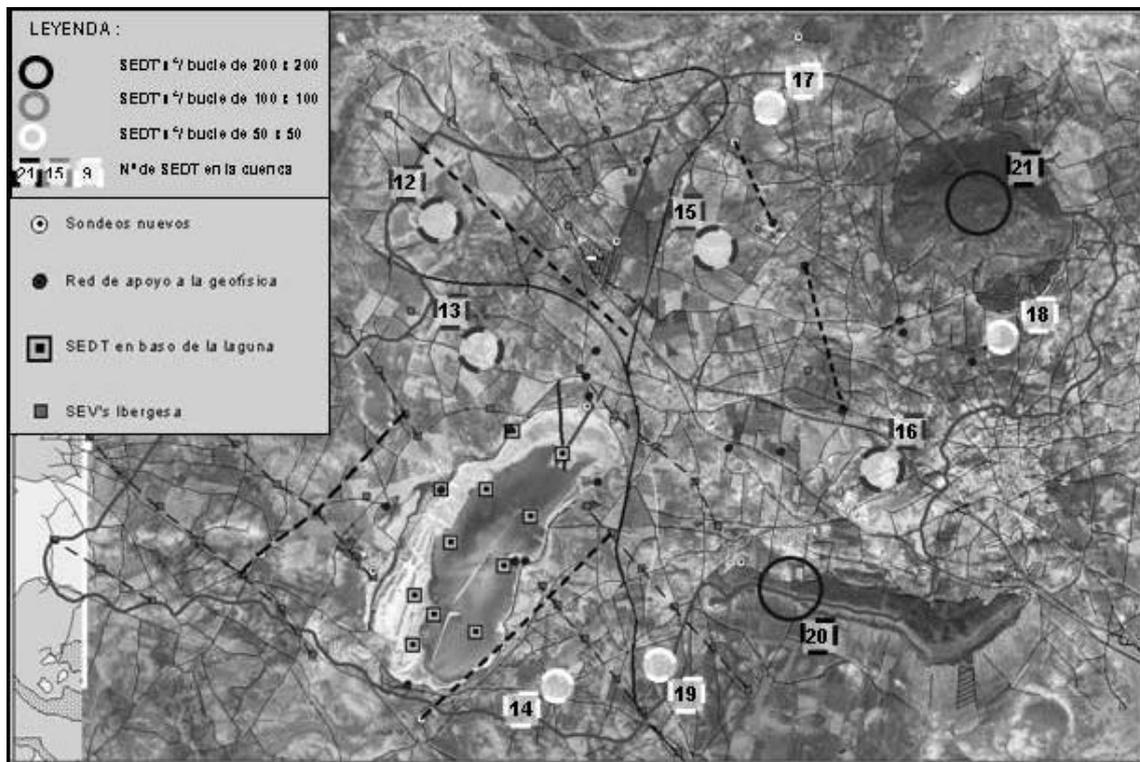


Figura 8. Emplazamiento de SEDT's en la cuenca y en el vaso de la laguna.

REFERENCIAS

- GARCÍA CORTES, A., MANSILLA, H. Y QUINTERO, I. (1991).** Puesta de manifiesto de la Unidad Olistostromica del Mioceno medio en el sector oriental de las Cordilleras Béticas (provincias de Jaén, Almería, Murcia y Alicante). *Bl. Geol. Min.*, 102, Madrid, pp. 524-535.
- HEREDIA, J., RUIZ, J.M., ARAGUÁS, L. Y GARCÍA DE DOMINGO, A. (2005).** Adquisición de datos para el desarrollo de un modelo de densidad variable del sistema hidrogeológico de la Laguna de Fuente de Piedra (Málaga). *International Workshop «From data gathering and groundwater modelling to integrated management»*. Alicante.
- PÉREZ-LÓPEZ, A. Y SANZ DE GALDEANO, C. (1994).** Tectónica de los materiales triásicos en el sector central de la Zona Subbética (Cordillera Bética). *Rev. Soc. Geol. España*, 7, Madrid, pp. 141-153.
- OVERA, J.A. (2004).** Cordillera Bética. In: Vera, J.M. (Ed). *Geología de España*, IGME-Sociedad Geológica de España, Madrid, pp. 345-464.

*La edición se terminó de imprimir en
el mes de Septiembre de 2007*

IMPRESOS S.A.

Vera 3825

E-mail: impresossa@gmail.com

Santa Fe - Argentina