



Caracterización de la geología suprabasáltica con el uso de geoelectrónica 1D en provincia de Entre Ríos, Argentina

Characterization of the suprabasaltic geology with use of 1D geoelectric in Entre Ríos province, Argentina

Silva Busso, Adrián^{1, 2, 3} ✉ - Machado, Patricio¹

Recibido: 22 de agosto de 2017 • Aceptado: 21 de noviembre de 2017

Resumen

La prospección de acuíferos en la provincia de Entre Ríos acusa la falta de un estudio integrador que permita orientar la exploración y mejorar los resultados de la misma. Los métodos geoelectrónicos han sido ampliamente empleados en la región para la prospección de acuíferos someros y termales profundos. Sin embargo, no han sido interpretados regionalmente sobre la base de un modelo hidrogeológico conceptual de correlación entre las respuestas resistivas del subsuelo. Este estudio presenta una propuesta de interpretación en esa dirección analizando la respuesta resistiva de los acuíferos de la Sección Suprabasáltica en toda la provincia. Se determinan seis unidades resistivas y proponen valores guía, para cada una de ellas, correlacionándolas con la hidrogeología local en cada caso en función de la información hidrogeológica disponible del subsuelo entrerriano. Se concluye en una propuesta de regionalización y sectorización de las diferentes unidades resistivas.

Palabras claves: *Geoelectrónica, Hidrogeología, Acuíferos.*

Abstract

The aquifers prospecting in the province of Entre Rios has a lack of an integrated study, to guide the exploration and improve the results of the same. Geoelectrical methods have been widely used in the region to explore shallow and deep thermal aquifers. However, they have been interpreted regionally from a conceptual hydrogeological model that includes the correlation between soil resistivity responses. This study shows a proposal for interpretation in that direction by analyzing the resistive response of aquifers in the "Suprabasáltica" Section throughout the province. Six resistive units are identified and propose values guide for each one, correlating them with the local hydrogeology in each case, depending on the available subsurface hydrogeological information. We have concluded in a proposal of regionalization and segmentation of the different resistive units.

Keywords: *Geoelectric, Hydrogeology, Aquifers.*

1. GIICMA, Universidad Tecnológica Nacional Regional Concordia (FRCON), Entre Ríos

2. DSH - Instituto Nacional del Agua (INA), Autopista Ezeiza Cañuelas - empalme J. Newbery Km 1,620, Ezeiza, Buenos Aires (tel 011-44804500 int 5314)

✉ pntsas@ina.gov.ar

3. Dpto. Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Buenos Aires, Ciudad Universitaria, Pabellón II, Primer Piso, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

INTRODUCCIÓN

Sobre la base de perforaciones preexistentes, el conocimiento hidrogeológico actual y el apoyo de métodos geoelectrónicos, éste estudio realiza, un modelo hidrogeológico conceptual de correlación entre las respuestas resistivas del subsuelo y los acuíferos de la Sección Suprabasáltica en diferentes zonas de la provincia de Entre Ríos. Existen diversos estudios geológicos e hidrogeológicos de diferente alcance regional en la provincia que mencionan el uso de éstas técnicas y su posible interpretación para los niveles acuíferos Intra e Infrabasálticos (Acuífero Termal Guaraní) y que ha sido tema de discusión de diversos autores algunos inéditos, y otros publicados como *Oleaga et al. (2007)*; *Silva Busso, (1999)*; *Bertolini y Toma (1992)*. En particular los Acuíferos Suprabasálticos destacan por su intenso uso, su importancia como fuentes de abastecimiento humano, su valor económico en el uso agrícola-ganadero, industrial e incluso su valor estratégico, si los consideramos vehiculizadores del desarrollo regional dada su importancia en el producto bruto provincial y nacional (*Silva Busso y Amato, 2009*). Sin embargo, casi se carece en la bibliografía de menciones acerca de la aplicación e interpretación de métodos geoelectrónicos en dichos acuíferos, siendo éstos métodos los más empleados (sino los únicos) en la prospección del recurso agua subterránea. La información obtenida para este estudio a partir de la aplicación de métodos geoelectrónicos es original, pero no debe olvidarse que

su interpretación depende de la geología conocida y los modelos vigentes en el momento de su actual interpretación. Sobre la base de lo expuesto la correlación e interpretación entre la respuesta resistiva del subsuelo con un adecuado modelo hidrogeológico, consecuente con la información disponible, justifica plenamente el objetivo de este estudio.

ÁREA DE ESTUDIO

Territorialmente este estudio comprende a la provincia del Entre Ríos (figura 1). El relieve presenta un gradiente muy ondulado y la zona se encuentra modelada y surcada por infinidad de cursos fluviales y pequeñas cañadas. El proceso fluvial es el agente geomorfológico más importante como moderador del paisaje de la región. La Provincia está dividida en dos regiones climáticas: una pequeña franja al norte de la provincia que corresponde al clima subtropical húmedo de llanura y otra que cubre el resto de su territorio y corresponde al clima templado húmedo de llanura. Debido a la diversidad de factores pedogenéticos concurrentes y el grado de incidencia de cada uno de ellos en situaciones particulares y alternativas reflejadas en la morfogénesis de los suelos, hace que esta provincia, como pocas en el país, exhiba un verdadero catálogo de suelos. Dentro de su territorio se encuentran hasta hoy 8 de los 10 Órdenes que contempla la clasificación taxonómica del sistema norteamericano vigente (*Soil Survey Staff, 1975*).



Figura 1. Área de estudio. Provincia de Entre Ríos (Google. (s.f.). [Mapa de Entre Ríos, Argentina en Google maps]. Recuperado el

METODOLOGÍA

La cuenca Chacoparanense, en la región de Entre Ríos, se caracteriza por una marcada ausencia de afloramientos de edades inferiores al cuaternario por lo tanto gran parte de la información geológica de apoyo a este estudio provendrá de los pozos y las obras de captación de agua subterránea de diversos estudios en puntos específicos de la provincia. La recopilación bibliográfica ha consistido en el análisis de las publicaciones regionales más importantes sobre hidrogeología de los últimos treinta años. La mayor parte de dicha información es difícil de recuperarla plenamente para los objetivos propuestos, por lo tanto, se considerará que la información integrada será válida en el contexto y en el momento que se realice este estudio. Para la interpretación se han recopilado datos de perforaciones provenientes de diferentes fuentes (*Santi y Bianchi, 2004; Auge y Santi, 2002; Silva Busso, 1999; Santi et al., 1995; SNGM, 1965*) y se ha revisado los planos de perforaciones de agua y descripciones geológicas reinterpretando la información, redefiniendo la nomenclatura y los límites estratigráficos a las concepciones más modernas y recientes (*Fernández Garrasino, 2008; Fernández Garrasino y Rezoagli, 2008; Fernández Garrasino, et al. 2005; Silva Busso y Fernández Garrasino, 2004; Silva Busso, 1999; Aceñolaza, 2007; Aceñolaza 2000; Fili et al., 1993, Iriondo, 1996*). Como se ha mencionado se propone en éste estudio correlacionar la información hidrogeológica con el estudio de campo aplicando métodos geoelectrónicos sobre los niveles geológicos más someros y establecer un modelo de correlación. Los métodos geoelectrónicos son de rápida y eficaz aplicación y conceptualmente se basan en la medición de la resistividad del subsuelo. En este estudio se ha empleado el Método Schlumberger que consiste en un dispositivo electrónico lineal, en este caso simétrico, en el que la distancia MN es muy corta con respecto a la AB. La realización de SEV fue realizada con un Terrámetros un dispositivo que como el resistímetro mide con muy buena precisión la diferencia de potencial (ΔV) e intensidad de corriente (I) reales calculando la resistividad aparente (ρ_a). Se realizaron tendidos de AB/2 final a 320 metros desde el centro del tendido. Las curvas obtenidas son expresivas y sensibles a las características del corte geoelectrónico sobre el que se efectuaron las mediciones. Es un método conocido, probado, aceptado y con una justificación científica que lo convierte en universal (*Orellana, 1982; Custodio y Llamas, 1983*). El mismo es método válido para cualquier tipo de estudio o confrontación de la información obtenida que siempre puede volver a ser interpretada. Este estudio requirió de 5 campañas de campo realizadas durante el primer semestre del 2011 dividiendo el territorio provincial en aproximadamente 5 secciones sin otro objeto que facilitar la logística y movilidad de la tarea. La primera involucró los departamentos de Federal, Feliciano, Federación y Concordia; la segunda los departamentos de San Salvador, Villaguay, La Paz y Paraná; La tercera los departamentos de Diamante Victoria Nogoyá y Tala; la cuarta los departamentos de Colón, Uruguay y Gualeguaychú y finalmente la quinta involucro los departamentos de Gualeguay e Islas el Ibicuy. Las tareas de campo han consistido fundamentalmente en dos: la ejecución de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y la revisión de la geología de afloramientos, canteras y pozos. Los SEV se realizaron en aquellos lugares donde la escasez de datos de pozo era muy significativa y tuvieron como objetivo completar en forma indirecta y mediante interpretación la posible geología de profundidad. Para ello se realizaron también SEV

paraméricos, es decir, cercanos a pozos de geología e hidrogeología conocida. Posteriormente, se realizó en gabinete la interpretación geofísica primero e hidrogeológica después cuyos resultados se explayan en este estudio. Se elaboraron los datos obtenidos interpretándolos, primeramente con curvas patrón para usarlas de referencia y luego con programas de computación, para obtener la distribución de resistividades en el subsuelo y así poder traducirlas a los cortes hidrogeológicos que se necesitaban como resultado. A lo largo de la lectura de este trabajo se debe tener presente que este método es una aproximación al conocimiento mediante modelos y es susceptible de ser falsado en el futuro a la luz de nuevos datos, metodologías e incluso interpretaciones de las que hoy no se disponen incrementando el conocimiento científico.

GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA DEL SUBSUELO ENTRERRIANO

Hidroestratigrafía Regional

La geología y estratigrafía de la cuenca Chacoparanense Argentina (que involucra a la Provincia de Entre Ríos) comienza a ser conocida prácticamente desde las primeras perforaciones de la Dirección de Geología, Minas e Hidrogeología (Actual Subsecretaría de Minería) con el objetivo de brindar abastecimiento de agua al Ferrocarril a principios de siglo XX. La geología de la provincia se puede leer de su mapa geológico del SEGEMAR a escala 1:500000 (*Bertolini, 1995*) y constituye la cartografía geológica de base de este estudio. Lamentablemente no existe un mapa hidrogeológico de la provincia que pudiera servir de apoyo a las interpretaciones de este estudio. La Hidroestratigrafía de la región entrerriana puede ser tan compleja como la estratigrafía, pero a los fines y alcances de este trabajo consideraremos la estratigrafía relacionada a los principales acuíferos de la región de estudio porque estos en particular caracterizan este estudio. Recientemente pueden citarse aportes interpretativos de información geológica con objetivos energéticos (*Silva Busso et al., 2011*) e hidrogeológicos como los vertidos en el estudio de *Santi et al., (1995); Silva Busso (1999), Auge y Santi (2002), Santi y Bianchi (2004) y Silva Busso y Amato (2017)*. La región se caracteriza de otras en que el control estructural adquiere mayor importancia sobre el comportamiento de los acuíferos Infrabasálticos e Intrabasálticos (*Silva Busso, 1999*). En principio, se reconocen las siguientes unidades hidroestratigráficas en territorio provincial:

Basamento Hidrogeológico

El basamento cristalino en la región De composición ígneo - metamórfico, aflora en la zona suroccidental de la República Oriental del Uruguay, en algunas islas e islotes en la zona de desembocadura del Río Uruguay y en la isla de Martín García, no aflora en la provincia de Entre Ríos. Sin embargo, diversas perforaciones en el sudeste alcanzaron el basamento cristalino a profundidades relativamente someras. Esta es la unidad acuífuga basal de los sistemas acuíferos que se desarrollan por encima del mismo.

Sección Infrabasáltica

Las sedimentitas continentales de la sección Infrabasáltica también han sido atravesadas por las captaciones de agua termal dado que ninguno de estos términos formacionales aflora en territorio entrerriano. La geología del subsuelo región

oriental de la provincia, en particular las Formaciones Serra Geral, Botucatu y Piramboia (de edades comprendidas entre Triásico- Jurásico medio), su correlato con la geología de la R.O. Uruguay y los aspectos hidrogeológicos de estas unidades (que algunos autores denominan Acuífero Guaraní) fue estudiada por *Silva Busso (1999)* y diversas publicaciones posteriores (*Silva Busso et al., 2002; Silva Busso y Fernández Garrasino, 2004 y Marsico, 2013*). Tras el desarrollo del Proyecto Acuífero Guaraní, (cuyo principal área de estudio fue Brasil, Paraguay y Uruguay y muy tangencialmente abarco aspectos geológicos o hidrogeológicos en Argentina), se pueden incluir algunos aportes relacionados con detalles de la litología de las secciones Interbasáltica e Infrabasáltica (*Aguirre y Fucks, 2004*) que no modifican sustantivamente la estratigrafía propuesta previamente para esas unidades.

Sección Intrabasáltica

El complejo tecto-efusivo regional conocido bajo la denominación de Fm. Serra Geral (*Hausen, 1919*) de edades comprendidas entre Jurásico medio Cretácico medio posee gran extensión regional. Frecuentemente se ha entendido por varios autores a la Fm. Serra Geral como solo a las secuencias volcánicas, aunque *Silva Busso (1999)* incluye las sedimentitas intercaladas como un miembro clástico (Solari). El Miembro Posadas (*Gentili y Rimoldi, 1979*) constituye las unidades basálticas que contienen interestratificadas las areniscas descriptas. Ambos miembros son acuíferos. El primero es clásticos, (Mbo. Solari y Acuífero Solari) de composición arena fina y probable origen eólico es importante en la región porque constituye uno de los horizontes de aporte del Sistema Acuífero Termal (*Silva Busso, 1999*). El segundo es fisurado (Mbo. Posadas y Acuífero Arapey en ROU) y es un importante acuífero en la Rep. Oriental del Uruguay.

Sección Suprabasáltica

Constituye el conjunto de acuíferos en los sedimentos dispuestos sobre la Fm. Serra Geral de edades comprendidas desde el cretácico superior al reciente y donde se considera fundamentalmente a la Fm. Paraná como horizonte guía como ocurre en Buenos Aires y Santa Fe (*Sala et al., 1983*).

Sección Suprabasáltica- Hipoparaniana

Se reconoce una sucesión sedimentaria de origen mayoritariamente continental y edades comprendidas entre el Cretácico superior y el Paleógeno inclusive. Está dividida en varias formaciones de hasta 350 m espesor y constituye un conjunto de areniscas, limos y arcillas castañas, rojas y rosadas reconocidas como Formaciones Fray Bentos, Puerto Yerúa, Asencio y hacia occidente Fm. Olivos probablemente, que presenta varios niveles acuitados y algunos acuíferos clásticos y fisurados de variable salinidad y muy poco conocidos a la actualidad. Algunos de ellos como el Acuífero Puerto Yerúa adquieren importancia en algunas ciudades entrerrianas del litoral uruguayo.

Sección Suprabasáltica- Paraniense

De origen marino y edad Mioceno (Neógeno), se encuentra sobreimpuesta sobre la anterior, constituida por arcillas verde azuladas y verdes con intercalaciones arenosas y abundantes fósiles marinos, predominando los sedimentos acuíclados y existiendo algunas intercalaciones acuíferas de muy buen rendimiento. Se extiende ampliamente en la región de la Cuenca Chacoparanense y su particular litología y extensión

permite considerarla un verdadero horizonte guía para la hidroestratigrafía, a excepción de las zonas donde la altura relativa del basamento ha controlado la transgresión Miocena en la región oriental entrerriana.

Sección Suprabasáltica- Epiparaniana:

Es la tercera sección acuífera que por su accesibilidad y características acuíferas resulta la más explorada y explotada. Se desarrolla en toda el área de estudio a excepción de las áreas donde afloran rocas más antiguas. Constituyen depósitos de sedimentos de granulometría variable desde gravas (Fm. Salto Chico) hasta arena media a fina con intercalaciones de niveles arcillosos (Fm. Ituzaingó). Son niveles correlacionables con la Fm. Salto (*Bossi, 1966*) y Fm. Puelches (*Döering 1882*) contingentes del Acuífero Puelches (*Santa Cruz, 1972*) en Buenos Aires y Santa Fe. Son los principales acuíferos de la provincia de edades Plio-pleistocenas. En Entre Ríos, por encima de estos hacia el oeste, se superponen las Fm. Hernadarias, Tezanos Pintos y Alvear de edades cuaternarias y que pueden contener acuíferos más restringidos (aunque su comportamiento en general es de acuitados) y de explotación subordinada. Hacia el este se encuentra la Fm. Ubajay, aunque de litologías psémiticas e incluso pséfíticas su importante cantidad de material limo arcilloso en la matriz limita sus posibilidades acuíferas y también es de uso subordinado. La hidroestratigrafía de la tabla 1 se presenta en base al trabajo de *Santa Cruz y Silva Busso, (1999)* aunque actualmente se encuentra en revisión. Probablemente la influencia del control estructural profundo alcance al paleógeno y al neógeno (*Silva Busso et al., 2011 y Silva Busso y Amato, 2017*) posiblemente condicionando la geometría de los acuíferos. Sobre los Sedimentos Fluviales Plio-pleistocenos – actuales y según *Fili et al., (1997)* y *Fili y Tujchneider, (1977)* el control de las estructuras de profundidad es verificable en el Arroyo Feliciano y muy posiblemente en los principales cursos fluviales de la provincia de Entre Ríos. Sin embargo, el reciente estudio de *Silva Busso et al., (2011)* muestra que no se manifiesta control estructural profundo en dichos sedimentos y los cursos fluviales entrerrianos, donde los cambios glacio-eustáticos del cuaternario parecen haber tenido mayor influencia.

RESULTADOS

Datos de los Sondeos Eléctricos Verticales

Se han usado métodos geoelectrónicos para determinar, a partir de su interpretación, la posible ocurrencia en profundidad de las unidades geológicas mencionadas. Debe tenerse presente que la respuesta resistiva del terreno involucra el conjunto agua-roca, de aquí que el uso de pozos paramétricos (SEV realizado cerca de pozos de geología conocida) y el conocimiento hidrogeológico regional por parte del interprete son las dos principales fortalezas de la interpretación. Una vez concretada la densidad de las mediciones (distancia entre centros de SEV contiguos), su posición (en función de las zonas donde no existía información) y los pozos paramétricos elegidos, se efectuaron las tareas de campo. Las curvas de campo obtenidas fueron en general de buena calidad ya que no aparecieron datos anómalos. La información recopilada de las descripciones litológicas de pozos perfiles litológicos de afloramientos y canteras, es utilizada para el ajuste paramétrico de las respectivas posiciones medidas y para una mejor interpretación global del esquema geológico de la zona. Considerando esto último la tabla 2 nos da una aproximación al porcentaje de SEV donde fue posible interpretar para cada unidad geológica considerada y que re-

Tabla 1. Hidroestratigrafía propuesta para la comarca entrerriana. 1 Acuíferos relacionados con al estratigrafía de la región oriental de Entre Ríos y la Rep. del Uruguay. 2 Ausente del registro en la Región Oriental de Ente Ríos.

Estratigrafía	Hidroestratigrafía	Tipo
Fm. Hernandarias y/o Tezanos Pintos, Ubajay, otros.	SUPRABASALTICA Epiparaneana	Acuitardos y Acuíferos
Fm. Ituzaingó y/o Salto Chico	SUPRABASALTICA Epiparaneana	Acuíferos
Fm. Paraná 2	SUPRABASALTICA Paraneana	Acuíferos y Acuícludos
Fm. Fray Bentos y Arroyo Avalos	SUPRABASALTICA Hipoparaneana	Acuitardos y Acuícludos
Fm. Puerto Yeruá1	SUPRABASALTICA Hipoparaneana	Acuíferos fisurados
Fm. Serra Geral (Mbo. Posadas)	INTRABASALTICA (Basáltica)	Acuífero fisurado
Fm. Serra Geral (Mbo Solari)	INTRABASALTICA (Clástica)	Acuífero
Fm. Botucatu, Piramboia y otras relacionadas.	INFRABASALTICA (Clástica)	Acuífero y Acuitardos
Paleozoico y Basamento	BASAMENTO HIDROGEOLOGICO	Acuífugo

sultan útiles en cada caso para la confección cartográfica y la interpretación geoelectrica. Como el tendido es constante en longitud ($AB/2=320m$) la profundidad de alcance está acotada a rangos entre 150-180 mbbp. Lo que significa que la altimetría de las unidades en el subsuelo condicionaran la respuesta resistiva. No obstante, todos los SEV atraviesan las secuencias cuaternarias. Por esta razón y al igual que los datos de las perforaciones esto nos determina que los niveles más profundos son más difíciles de alcanzar con los SEV. No obstante, aumenta la densidad de información, favoreciendo la representatividad de la interpolación y una correlación más adecuada de la información. Se realizaron un total de 43 sondeos eléctricos verticales (SEV) en todo el territorio provincial. El mapa de la figura 2 muestra la distribución geográfica de los SEV en conjunto con los afloramientos y pozos paramétricos.

Tabla 2. Representatividad de la información geoelectrica en la interpretación.

Formaciones	%
Hernandarias, Ubajay, Talavera y otras	100
Ituzaingó y Salto Chico	100
Paraná	100
Fray Bentos	51
Olivos Ascencio y otros	28
Puerto Yeruá	28
Serra Geral	7
Basamento	0

Interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

Los SEV realizados alcanzan para apoyar una caracterización y exploración preliminar con miras a ser empelados como una forma indirecta de determinar la estratigrafía del subsuelo. El concepto es interpretar la disposición de los niveles resistivos en profundidad y correlacionarlos arealmente con los demás. Las curvas de resistividad aparente de los SEV realizados han permitido interpretar la disposición de los niveles resistivos en cada sitio sondeado. En tal sentido se han identificado hasta seis paquetes o capas resistivas. La distribución de los horizontes resistivos en superficie y profundidad es muy variable

en espesores, profundidades y en la salinidad de las aguas de los acuíferos. Este hecho dificulta la interpretación porque evidencia un ambiente con cambios no solo geológicos, sino también hidroquímicos. Estos no pueden ser correlacionados adecuadamente dado que en algunos sitios no se conoce la hidrogeología con suficiente detalle o por la falta de pozos paramétricos. No se ha recurrido a la reinterpretación o análisis de los antecedentes de SEV profundos realizados como apoyo a los pozos termales debido a que los tendidos fueron realizados con otros propósitos exploratorios más profundos y poseen poca resolución en las profundidades de interés para este estudio. Las unidades resistivas se han interpretado tentativamente bajo los siguientes criterios, (1) la zona no saturada es relativamente poco potente, (2) la zona saturada contiene aguas que son normalmente dulces, aunque en algunos casos pueden ser salobres razón por la cual puede cambiar la respuesta resistiva de una misma unidad y (3) las unidades más profundas poseen mayor dispersión y escasez de información, lo que hace más subjetivas las interpretaciones y más expuestas a errores. A continuación se detalla la interpretación geoelectrica de las unidades resistivas por los SEVs.

Unidad Resistiva I

Esta unidad resistiva ha sido reconocida en todos los SEV realizados en este estudio. Para su mejor interpretación es conveniente separarla en dos subunidades que denominaremos Subunidad Ia y Ib. Esta separación se fundamenta en el contraste resistivo de la toda la Unidad I como puede verse en la distribución modal de las observaciones presentado en la figura 3.

La Subunidad Ia posee un espesor promedio de 6.5 m alcanzando un máximo de 32.8 m y un mínimo de 1.6 m. Las resistividades calculadas oscilan entre 1.4 ohm.m de valor mínimo a 30.7 ohm.m de valor máximo con un promedio de 7.3 ohm.m. Esta respuesta resistiva correspondería a facies clásticas finas, probablemente limos a limos arcillosos con intercalaciones arenosas muy finas. Incluyen en general a niveles edafológicos, escasa potencia de la zona no saturada y niveles saturados por agua. Esta unidad resistiva contiene el nivel acuífero libre que a lo largo de las diferentes épocas del año su espesor varía en relación con las precipitaciones locales. Puede incluir depósitos evaporíticos y calcretes carbonáticos que confieren variaciones locales que pueden ser muy significativas. También la respuesta está en dependencia de la salinidad del acuífero libre que suele ser más alta en la zona norte de la provincia.



Figura 2. Distribución de los SEV y de los pozos y canteras.

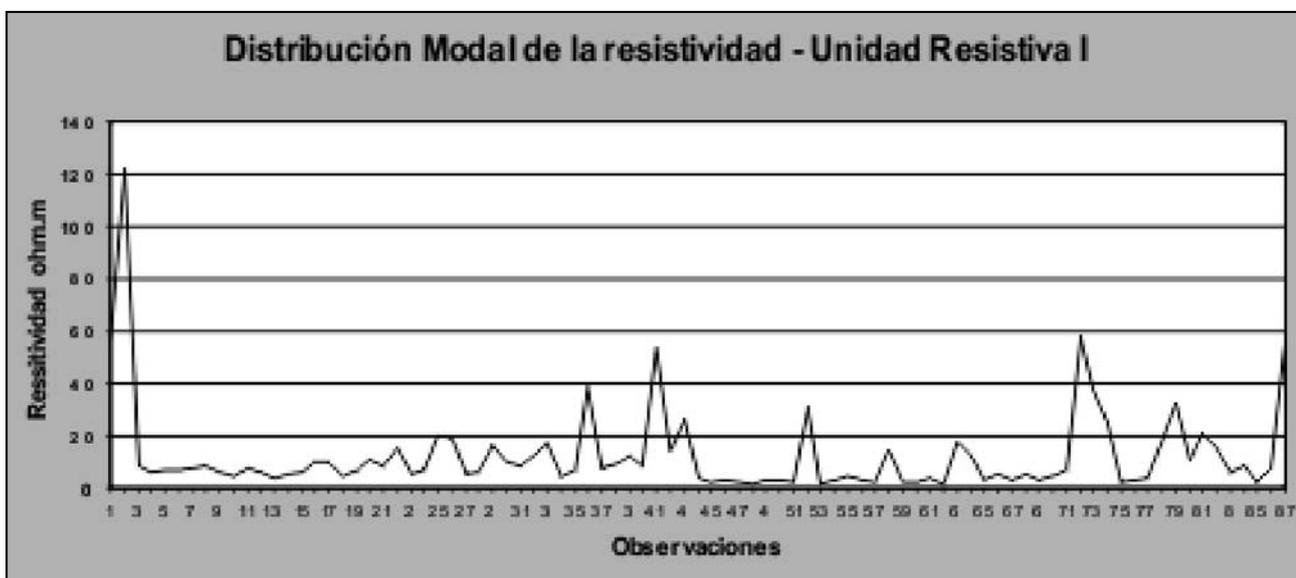


Figura 3. Distribución modal de la resistividad en la Unidad Resistiva.

La Subunidad Ib posee un espesor promedio de 4.6 m alcanzando un máximo de 10.4 m y un mínimo de 1.4 m. Las resistividades calculadas oscilan entre 4.81 ohm.m de valor mínimo a 122.6 ohm.m de valor máximo con un promedio de 34.01 ohm.m. Esta respuesta resistiva correspondería a facies clásticas psamíticas, probablemente arenas finas a medianas aunque con intercalaciones arcillosas. Al igual que el caso anterior incluyen en general a niveles edafológicos en conjunto, escasa

potencia de la zona no saturada y con niveles saturados por agua. Esta unidad resistiva contiene el nivel acuífero libre que a lo largo de las diferentes épocas del año su espesor varía en relación con las precipitaciones locales. La respuesta está más en dependencia de cambios litológicos que de la salinidad del acuífero libre que suele ser de buena calidad. Aparentemente su distribución está restringida a la región del litoral oriental de la provincia.

Unidad Resistiva II

Esta unidad resistiva también ha sido reconocida en todos los SEV realizados. Para su mejor interpretación es conveniente separarla en dos subunidades las denominaremos Subunidad IIa y IIb. En este caso esta separación no puede fundamentarse en el contraste resistivo de la toda la Unidad II porque los valores son similares, sino que se fundamente en los pozos paramétricos donde se conoce la litología que acompaña a cada respuesta resistiva. La Unidad Resistiva II subyace en todos los casos a la Unidad Resistiva I mencionada previamente.

Sobre la base de estos pozos paramétricos la Subunidad IIa posee un espesor promedio de 41.5 m alcanzando un máximo de 93.7 m y un mínimo de 7.6 m. Las resistividades calculadas oscilan entre 2.4 ohm.m de valor mínimo a 95.20 ohm.m de valor máximo con un promedio de 23.90 ohm.m. Esta respuesta resistiva correspondería a facies clásticas psamíticas, probablemente arenas medianas a gruesas aunque con intercalaciones arcillosas estas son de poca potencia y escasa extensión regional. Esta unidad resistiva contiene un acuífero (a veces libre, semilibre y a veces semiconfinado) infrayacente cuyos cambios litológicos (arcillas) y de salinidad le confiere variaciones locales que pueden ser muy significativas. En general tenderemos a aceptar que la respuesta resistiva esta en más dependencia de cambios litológicos que de la salinidad del acuífero que suele ser de buena calidad.

La subunidad IIb posee un espesor promedio de 45.53 m alcanzando un máximo de 91.6 m y un mínimo de 8.9 m. Las resistividades calculadas oscilan entre 17.5 ohm.m de valor mínimo a 39.1 ohm.m de valor máximo con un promedio de 20.1 ohm.m. Esta respuesta resistiva correspondería a facies clásticas predominantemente psefticas, probablemente gravas y arenas medianas aunque con intercalaciones arcillosas de poca expresión. Esta unidad resistiva también contiene un acuífero (a veces libre, semilibre y a veces semiconfinado) infrayacente cuyos cambios litológicos (arcillas) le confiere variaciones locales que pueden ser significativas. Al igual que el caso anterior, la respuesta resistiva también depende más de cambios litológicos que de la salinidad del acuífero que suele ser de buena calidad. Puede presentar acuñamiento lateral y correspondería a sedimentos clásticos más finos en zona saturada y no saturada. Su distribución está restringida a la región del litoral oriental de la provincia. Independientemente de esta subdivisión la Unidad Resistiva II puede considerarse representativa de litologías similares entre ambas subunidades.

Unidad Resistiva III

Esta unidad resistiva ha sido reconocida en casi todos los SEV realizados a excepción de los SEV 1, 2, 3, 6, 8, 24, 34, 35, 36, 40, 41 y 43. La Unidad Resistiva III subyace en todos los casos a la Unidad Resistiva II mencionada previamente, a excepción del SEV 25 que lo hace bajo la Unidad Resistiva I. Sobre la base de estos pozos paramétricos la Unidad III posee un espesor promedio de 85 m alcanzando un máximo de 137.2 m y un mínimo de 20.6 m. Las resistividades calculadas oscilan entre 1.3 ohm.m de valor mínimo a 19.4 ohm.m de valor máximo con un promedio de 5.65 ohm.m. Esta respuesta resistiva correspondería a facies clásticas finas, mayormente arcillas con intercalaciones arenosas finas. En algunos casos puede las facies psamíticas pueden alcanzar las decena de metros de espesor.

Esta unidad resistiva posee un potente acuitardo, aunque en algunas regiones del sudeste entrerriano suele contener un acuífero (a veces libre, semilibre y a veces semiconfinado)

suprayacente a las arcillas que incluso contendría aguas dulces. También en afloramiento se ha observado a esta unidad silicificada y/o con presencia de silcretos. Estos cambios litológicos (arenas, silcretos, etc.) y de salinidad le confiere variaciones locales que pueden ser muy significativas y se reflejan en un aumento de la resistividad. En general tenderemos a aceptar que la respuesta resistiva está en dependencia más de cambios litológicos que de la salinidad del acuífero. Las aguas suelen ser salobre y en algunos casos es salada. Su distribución está restringida a la región del litoral occidental paraneano, centro y norte de la provincia.

Unidad Resistiva IV

En esta unidad resistiva se incluyen los SEV 4, 5, 6, 8, 16, 17, 18, 20, 24, 26, 35, 36, 40, 41, 42 y 43. La misma subyace a la Unidad Resistiva III mencionada previamente, a excepción de los SEV 24, 36, 40 y 41. También subyace a la Unidad Resistiva II en los SEV 6, 8, y a la Unidad Resistiva I en los SEV 35 y 43. La Unidad IV poseería un espesor promedio de 60.4 m alcanzando un máximo de 115.7 m y un mínimo de 23.9 m. Las resistividades calculadas oscilan entre 1.5 ohm.m de valor mínimo a 119.3 ohm.m de valor máximo con un promedio de 38.37 ohm.m. Dada la escasez de afloramientos y pozos paramétricos es difícil definir claramente esta respuesta resistiva. Aquí se la considerara relacionada a facies clásticas finas, mayormente limos que con intercalaciones arenosas fina de poca potencia y expresión lateral. Fuertemente calcetizada hacia la base puede contener intraclastos de origen volcánico, como se ha observado en cantera. Esta unidad resistiva también posee un potente acuitardo, aunque difícilmente puede contener un acuífero, de contenerlo, sus aguas serían salobres. Si bien serían los cambios litológicos los que le confieren las variaciones resistivas, a escala local pueden observarse valores de resistividad más bajos, que podrían reflejar la presencia de algún acuitardo salobre. En general tenderemos a aceptar que la respuesta resistiva está en dependencia más de cambios litológicos. Su distribución es discontinua, mayoritariamente presente en el levante entrerriano aunque la escasa información y su profundidad hacia poniente hacen esta observación muy subjetiva.

Unidad Resistiva V

Esta unidad resistiva se incluyen los SEV 7, 8, 22, 24, 34, 35, 40, 41, 43. La misma subyace a varias unidades previas. A la Unidad Resistiva IV lo hace en los SEV 8, 24, 35 y 43, a la Unidad Resistiva III en los SEV 7 y 22, y a la Unidad Resistiva I en el SEV 34. En este estudio esta unidad resistiva solo se ha atravesado por completo en el SEV 34 con espesor de 65.4 m. Las resistividades calculadas oscilan entre 5.4 ohm.m de valor mínimo a 613.4 ohm.m de valor máximo con un promedio de 211.31 ohm.m. Dada la escasez de afloramientos y pozos paramétricos es difícil definir claramente que correlación sería atribuible a esta respuesta resistiva. Aquí se la considerara relacionada a facies clásticas psefticas, mayormente arenas medianas con intercalaciones limosas o arcillosas y poca extensión lateral. En algunos casos se ha descripto como conglomerado (pozos en la cuenca del Arroyo Feliciano) o gravas (pozos en la Cuenca del Río Gualaguaychú). Se ha observado en afloramientos y pozos fuertemente calcetizados y silcretizados. Esta unidad resistiva puede también contener un acuífero complejo, en parte clástico y en parte fisurado (explotado en algunas zonas) con aguas que suelen ser, de dulces a salobres cuando es más profundo. Se considera que serían los cambios salinos, los que confieren las variaciones resistivas. Su distribución es dis-

continua, mayoritariamente presente en el levante entrerriano muy restringido a la zona costera del margen derecho del Río Uruguay y en la cuenca del Arroyo Feliciano.

Unidad Resistiva VI

Esta unidad resistiva se incluye los SEV 1, 2, 3 y 34. La misma también subyace a varias unidades previas. A la Unidad Resistiva V lo hace en el SEV 34, a la Unidad Resistiva II en el SEV 2, y a la Unidad Resistiva I en el SEV 1 y 3. En este estudio esta unidad resistiva no se ha atravesado por completo solo se alzo su techo con resistividades calculadas que oscilan entre 26.2 ohm.m de valor mínimo a 783.22 ohm.m de valor máximo con un promedio de resistividades verdaderas de 184.7 ohm.m. Dada la escasez de afloramientos y pozos paramétricos es difícil definir claramente la correlación de esta respuesta resistiva. Aquí se la considerara relacionada a las rocas ígneas volcánicas, muy potentes y de gran extensión lateral. Se las ha observado en afloramiento y cantera, muy fisuradas y alteradas. Por esta razón esta unidad es también poseedora de un potente y complejo acuífero, en parte clástico y en parte fisurado. Las aguas suelen ser dulces evolucionando a saladas cuando el acuífero es más profundo. Se considera que serían los cambios salinos los que le confiere las variaciones resistivas. Su distribución involucraría casi todo el territorio de la provincia de Entre Ríos a excepción el delta paraneano. La tabla 3 presenta un resumen de los valores promedio de resistividad y espesor de las unidades resistivas mencionadas.

Tabla 3. Resumen de los intervalos resistivos en diferentes unidades resistivas

Unidad	Resistividad ohm.m	Espesores (m)
Ia	1.4 - 30.7	1.6 - 32.8
Ib	4.8 - 122.6	1.4 - 10.4
IIa	2.4 - 95.2	7.6 - 93.7
IIb	17.5 - 39.1	8.9 - 91.6
III	1.3 - 19.4	20.6 - 137.2
IV	1.5 - 119.3	23.9 - 115.7
V	5.4 - 613.4	65.4?
VI	26.2 - 783.22	?

Correlación entre Estratigrafía y Geoeléctrica - Áreas Resistivas

En la zona de estudio se identifican claramente seis unidades resistivas que deben ser correlacionadas con un modelo estratigráfico local. La correlación propuesta a continuación intenta ese vínculo interpretativo que es fundamental para completar una visión actualizada del subsuelo entrerriano. Debe tenerse presente que estas unidades geológicas poseen acuíferos cuyas aguas pueden contener salinidades diversas, lo que modifica sus valores de resistividad. Por consecuencia no debe pensarse que un valor determinado de resistividad corresponde invariablemente a una determinada formación. Lo que se debe considerar es que existe un rango de variaciones resistivas para cada unidad que en el contexto de cada región puede ser interpretada de diferente forma sobre la base de la estratigrafía local. A priori puede suponerse, y de hecho ocurre, que si se observa una determinada unidad geológica considerando toda

su extensión regional habría intervalos valores de resistividad que se superponen con otras unidades geológicas. Esta situación es la lógica consecuencia de la influencia que la salinidad del agua le imprime a los valores de resistividad. Por esta razón se usan pozos paramétricos y se sectorizan las áreas resistivas sobre la base de un modelo estratigráfico local.

Por otro lado debe tenerse presente en todo momento que las Unidades Resistivas I II y III poseen más pozos paramétricos, afloramientos y/o canteras lo que hace más fiable las interpretaciones y correlaciones. Las Unidades Resistivas IV, V y VI no poseen las mismas ventajas por lo que en el futuro, a la luz de nuevos datos, pueden estar sujetas a modificaciones interpretativas. Esas unidades corresponderían a unidades geológicas que contendrían acuíferos o acuitardos que hacia el oeste contienen aguas salobres limitando sus posibilidades de explotación. En función de lo expuesto y lo interpretado se resume la correlación geológica regional:

Formación Hernandarias, Alvear, Toropí-Yupoí, otras relacionadas: Estas unidades estarían definidas por la Unidad Resistiva Ia del estudio geoelectrico. La profundidad de la base es muy variable desde los 5mbbp hasta los 38 mbbp y una profundidad promedio de 16 mbbp.

Formación Ubajay: Esta unidad estaría definida por la Unidad Resistiva Ib del estudio geoelectrico. La profundidad de la base es muy variable desde los 2mbbp hasta los 13 mbbp y una profundidad promedio de 7 mbbp.

Formación Ituzaingó: Esta unidad estaría definida por la Unidad Resistiva IIa del estudio geoelectrico. La profundidad de la base es muy variable desde los 17mbbp hasta los 112 mbbp y una profundidad promedio de 65 mbbp.

Formación Salto Chico: Esta unidad estaría definida por la Unidad Resistiva IIb del estudio geoelectrico. La profundidad de la base es muy variable desde los 11mbbp hasta los 125 mbbp y una profundidad promedio de 77 mbbp.

Formación Paraná: Esta unidad estaría definida por la Unidad Resistiva III del estudio geoelectrico. La profundidad de la base es muy variable desde los 49mbbp hasta los 193 mbbp y una profundidad promedio de 131 mbbp.

Formación Fray Bentos: Esta unidad estaría definida por la Unidad Resistiva IV del estudio geoelectrico. La profundidad de la base es muy variable desde los 4mbbp hasta los 193 mbbp y una profundidad promedio de 85mbbp.

Formación Puerto Yerúa y otras relacionadas: Esta unidad estaría definida por la Unidad Resistiva V del estudio geoelectrico. La profundidad de la base es muy variable desde los 12 mbbp hasta los 116 mbbp y una profundidad promedio de 77mbbp. Dada la falta de datos confiables la respuesta resistiva podría incluir unidades con arcillas de la Fm. Asencio o la Fm. Olivos, eventualmente estas podrían ser asimiladas por el método y la geometría del tendido.

Formación Serra Geral: Esta unidad estaría definida por la Unidad Resistiva VI del estudio geoelectrico. No se ha reconocido la profundidad de la base se ha tomado registro del techo de la misma a profundidades comprendidas entre 2 y 11 mbbp, o sea prácticamente en zonas de afloramiento. El cuadro de la tabla 4 resume las características geológicas supuestas sobre la base de la correlación entre el estudio geoelectrico y la estratigrafía regional.

Tabla 4. Correlación entre Unidades Resistivas y las formaciones geológicas.

Unidad	Formación	Profundidad intervalo
Ia	Hernandarias	5 – 38 mbbp
Ib	Ubajay	2 – 13 mbbp
Ila	Ituzaingó	17 – 112 mbbp
Ilb	Salto Chico	11 – 125 mbbp
III	Paraná	49 – 193 mbbp
IV	Fray Bentos	4 – 193 mbbp
V	Puerto Yerúa	12 – 116 mbbp
VI	Serra Geral	?

Las áreas resistivas se asocian en función de un modelo de capas resistivas común en toda la región considerada. Este modelo de capas se propone como guía interpretativa de cada área. Su alcance en profundidad no supera los 150-170 mbbp y esta interpretación es solo válida para ese intervalo. Las áreas se pueden dividir en cuatro, denominadas de A a D. Los datos de la tabla 3 y 4 fueron obtenidos sobre la base de la interpretación de las curvas de resistividad aparente y empelando los datos de pozos paramétricos incluidos en *Silva Busso et al, (2011)*.

Para completar la regionalización de información se presenta el mapa de la figura 6.

Área A: Localizada sobre la banda noroccidental del Río Uruguay y en la región más oriental del Delta Paraneano con un área estimada de 5100Km² presenta un arreglo de tres capas de resistividades altas (tipo K) donde el SEV 3 de la figura 4 puede considerarse como representativo del respuesta regional involucrando las Unidades Resistivas I, II y VI. Esta última en la zona del Delta Paraneano puede corresponder al Basamento Cristalino (*Amato y Silva Busso, 2005*).

Área B: Localizada en la zona sudoccidental de la provincia hacia las costa del Río Paraná y rodeada por el Área D posee un área estimada de 2720Km². Presenta un arreglo de 2 capas de resistividades moderadas a bajas (capa 3 y 4) donde el SEV 25 de la figura 4 puede considerarse como representativo de la respuesta regional involucrando las Unidades Resistivas I y III.

Área C: Localizada en la zona norte y la región centro oriental de la provincia lindante a la costa del Río Uruguay con un área total estimada de 7530Km² presenta un arreglo de hasta 4 capas de resistividades moderadas a bajas y la quinta capa inferior de resistividad baja. El SEV 8 de la figura 5 puede considerarse como representativo de la respuesta regional involucrando las Unidades Resistivas I, II, IV y V.

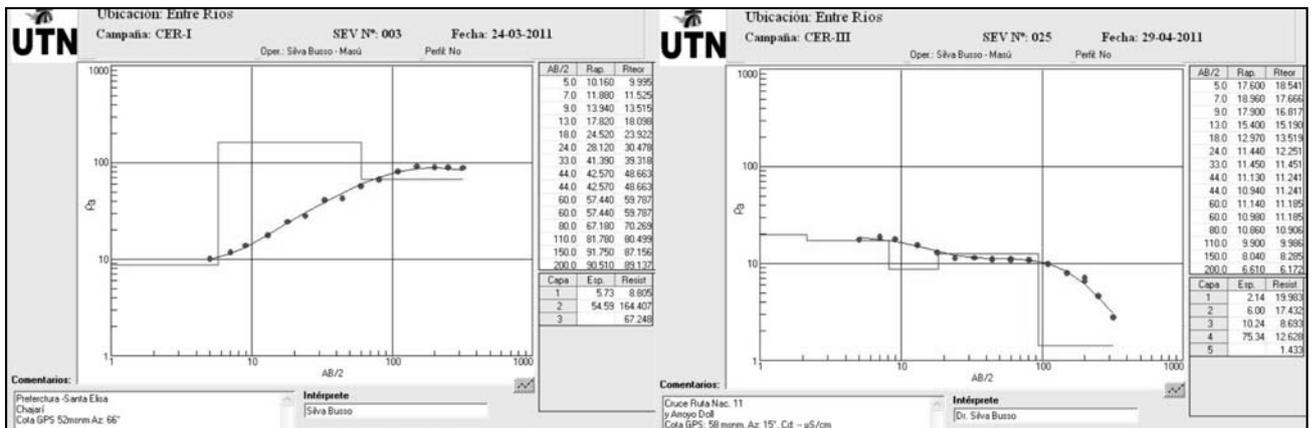


Figura 4. SEV 3 Característico del Área A y SEV 25 característicos del Área B.

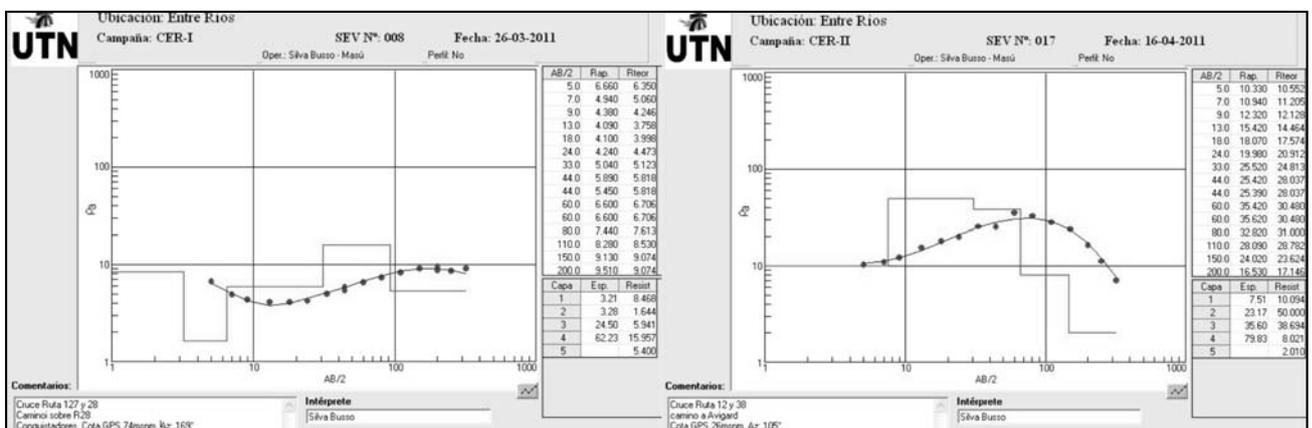


Figura 5. SEV 8 Característico del Área C y SEV 17 característicos del Área D.

Área D: Es la mayor de la provincia, localizada en la zona centro norte y oeste lindante con todas las anteriores. Se estima un área total de 65890Km² presenta un arreglo de 4 capas con resistividades moderadas siendo la quinta capa de baja re-

sistividad. El SEV 17 de la figura 5 puede considerarse como representativo de la respuesta regional e involucra las Unidades Resistivas I, II, III y IV, aunque en algunos esta última unidad IV puede ser reemplazada por la unidad V.

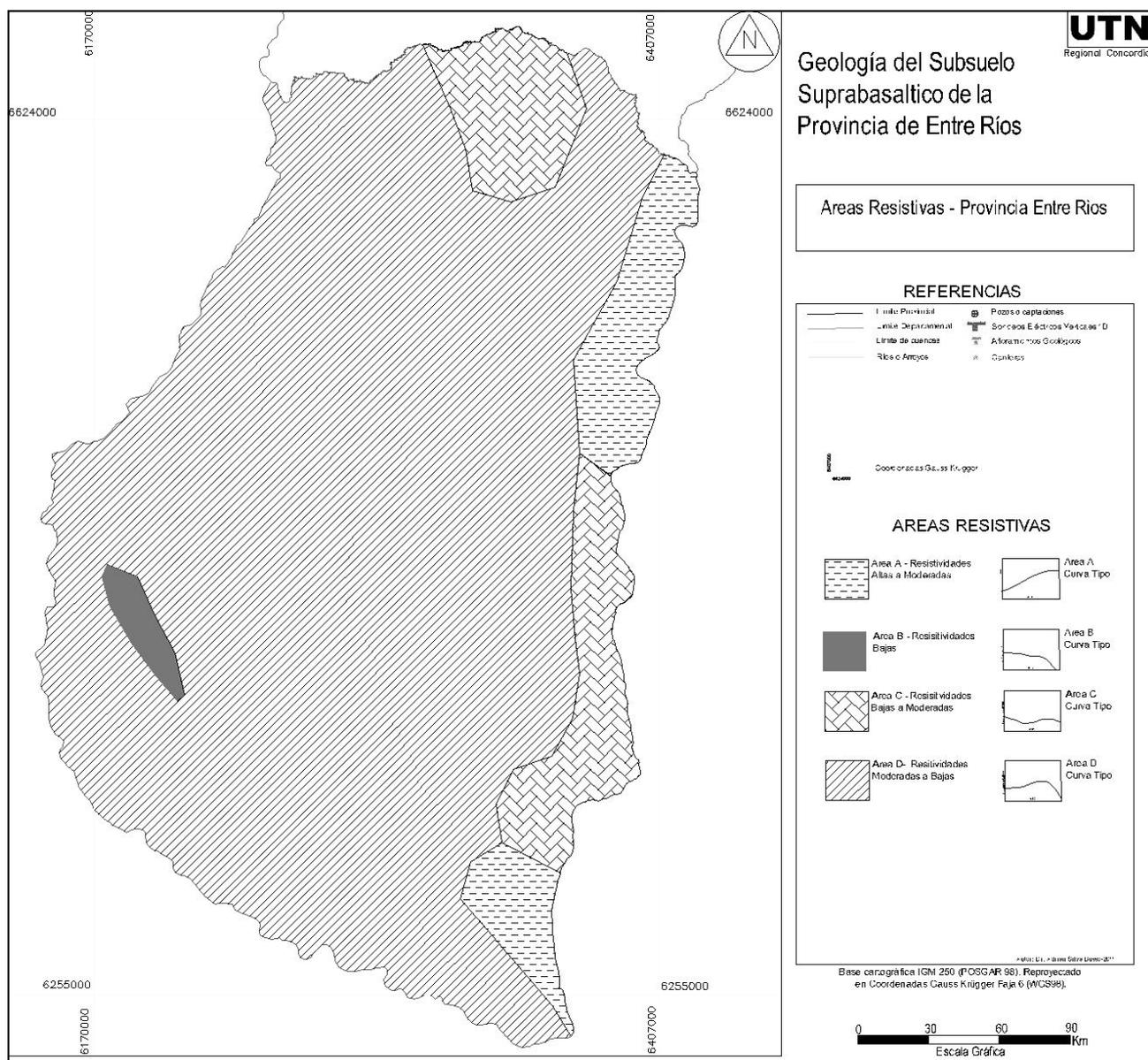


Figura 6. Sectorización de la respuesta Resistiva - Áreas Resistivas.

CONCLUSIONES

En principio es importante mencionar que la información geológica aflorante y del subsuelo que es la base de este estudio es escasa, fragmentaria, dispersa y en muchos casos de compleja validación. En este contexto, la combinación de la interpretación de datos de perforación y afloramiento complementariamente con la campaña realizada de sondeos eléctricos verticales permitió al menos nivelar y compensar la distribución de datos que luego fueron empleados como interpretación de los resultados presentados. Los resultados absolutos solo son orientativos, es la interrelación de los horizontes resistivos los

que permiten una interpretación hidroestratigráfica adecuada. En el aspecto metodológico se consideró un resultado satisfactorio dado que permitió regionalizar la respuesta resistiva de los métodos geoelectrónicos y al mismo tiempo la estratigrafía permitiendo, a partir de este enfoque regional, ser útil como guía prospectiva del agua subterránea en las diferentes comarcas de la provincia. Las regiones definidas no son conclusivas, son orientativas y sujetas a cambios en el futuro en función de nuevos datos que permitan mejorar las interpretaciones, sin embargo, pueden considerarse una buena guía para los estudios prospectivos actuales.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ACEÑOLAZA, F. 2000.
La Formación Paraná (Mioceno medio): estratigrafía, distribución regional y unidades equivalentes.
En: Aceñolaza, F. y Herbst, R. (Ed.) El Neógeno de Argentina. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo de la Universidad Nacional de Tucumán, Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO), Serie Correlación Geológica 14: 9-27, Tucumán
- ACEÑOLAZA, F. G., 2007.
Geología y Recursos Geológicos de la Mesopotamia Argentina,
INSUGEO Serie de Correlación Geológica 22 ISSN 1514-4186. pag:150., Tucumán, Argentina.
- AGUIRRE, M. Y FUCKS, E. 2004.
Moluscos y paleoambientes del Cuaternario marino en el sur de Entre Ríos.
En Aceñolaza, F. G. (Editor) Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial argentino. Miscelánea INSUGEO 12: 55-70.
- AMATO S Y SILVA BUSSO A. 2005.
Análisis de Interrelación Geológica-Hidrogeológica en el área del Delta del Río Paraná, Provincias de Entre Ríos y Buenos Aires, República Argentina.
XVI Congreso Geológico, Tomo III, 697 – 705 pp. La Plata, Buenos Aires, Argentina
- AUGE M. Y SANTI A., 2002.
Disponibilidad de Agua Subterránea para Producción Arroceras de la Provincia de Entre Ríos,
CFI (Consejo Federal de Inversiones) y Dirección Provincial de Hidráulica de Entre Ríos, Buenos Aires, Argentina (Inédito). Pag: 248
- BERTOLINI, J.C.; TOMAS, M.A., 1992.
Antecedentes Hidrotermales de la Provincia de Entre Ríos. Dirección de Promoción Minera e Hidrogeología,
SPE, MEOySP, Entre Ríos. Pag: 53
- BERTOLINI, J.C., 1995.
Mapa Geológico de la Provincia de Entre Ríos, República Argentina, 1:500.000.
Secretaría de Minería, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Buenos Aires, Argentina.
- BOSSI, J., 1966.
Geología del Uruguay. Universidad de la República, Departamento de Publicaciones,
Colección Ciencias 2: 1-470, Montevideo.
- CUSTODIO E.Y M.R. LLAMAS, 1983.
Hidrología Subterránea.
Editorial Omega, Segunda Edición, Tomos I y II. Barcelona, España.
- DIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA 1965.
Perfiles de perforaciones. Período 1910-1915.
Publicación N° 146, Buenos Aires, Argentina.
- DOERING, A., 1882.
Informe oficial de la Comisión Científica agregada al Estado Mayor General de la Expedición al Río Negro (Patagonia), realizada en los meses de abril, mayo y junio de 1879, bajo las órdenes del Gral. Julio A. Roca.
Entrega 3, 3a. parte, Geología: 295-530, Ostwald y Martínez, Buenos Aires
- FERNANDEZ GARRASINO, C, G. LAFFITTE Y H. VILLAR 2005.
Cuenca Chacoparanense.
6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos Simposio Fronteras Exploratorias, Tomo I, 245 - 265 pp Buenos Aires, Argentina
- FERNANDEZ GARRASINO, C. 2008.
Geología, Provincia de Entre Ríos (Informe Final).
Geodatos SRL, Informe Inédito., Buenos Aires, Argentina.
- FERNANDEZ GARRASINO, C Y REZOAGLI. 2008.
SAG. Aspectos estratigráficos y tectónicos (II).
Organización de los Estados Americanos (OEA), Secretaría General Proyecto Sistema Acuífero Guaraní (SGSAG), Pag: 181. Montevideo, Uruguay.
- FILÍ, M. F, TUJCHNEIDER, O., PEREZ M. Y PARIS M., 1993.
Investigaciones Geohidrológicas de la Provincia de Entre Ríos. Temas Actuales Sobre Agua Subterráneas.
Actas I. Pag: 299-315, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- FILI, M. Y O. TUJCHNEIDER, 1977.
Investigaciones Geohidrológicas en la Provincia de Entre Ríos.
Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Univ. Nac. Mar del Plata. CFI

- FILLI, M., M. PEREZ, O. TUJCHNEIDER, M. PARIS, M. D'ELIA, 1997.
Geohidrología del Sistema Acuífero en la Ciudad de Paraná (Argentina) y sus Alrededores.
4° Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Actas pag: 442-459, Montevideo, Uruguay
- GENTILI, C. Y H. RIMOLDI 1979.
Mesopotamia. Academia Nacional de Ciencias,
Segundo Simposio Geología Regional Argentina, 1: 185-223, Córdoba
- HAUSEN, J., 1919.
Contribución al estudio de la petrografía del Territorio Nacional de Misiones.
Dirección General de Minas, Geología e Hidrología Boletín N° 21 Serie B (Geología): 1-39, Buenos Aires
- IRIONDO, M. H. 1996.
Estratigrafía del Cuaternario de la Cuenca del Río Uruguay.
XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas IV: pag: 15-25.
- MÁRSICO, D. 2013
Aportes a la perspectiva geológica e hidrogeológica regional en el sector centro este de la Cuenca Chacoparanaea.
Universidad de La Coruña,
Tesis de doctorado, (Inédita) pp 209, La Coruña, Galicia, España.
- OLEAGA A., AZARTE J., CORBO F., LARENCA G., 2007.
Investigación Geofísica de la Estructura Geológica de la Cuenca Chacoparanaea, en un área centrada en las Ciudades de Salto (Ur) y Concordia (Ar).
Acuífero Guaraní - Avances para su Gestión Sustentable, ALHSUD, Montevideo, Uruguay.
- ORELLANA, E. 1982.
Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua.
Editorial Panarinfo, Madrid, España.
- SALA, J.M.; GONZALEZ, N. Y KRUSE, E. 1983.
Generalización Hidrológica de la Provincia de Bs. As.
Coloquio Internacional Sobre Hidrología de Grandes Llanuras. Comité Nacional para el Programa Hidrológico Internacional, p: 153, Olavarría, Argentina.
- SANTA CRUZ J. Y SILVA BUSSO A., 1999.
Escenario hidrogeológico General de los Principales Acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotamia Septentrional Argentina.
II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea. Actas, Tomo I, pag 461-471.
- SANTA CRUZ, J. 1972.
Estudio sedimentológico de la Formación Puelches en la provincia de Buenos Aires.
Asociación Geológica Argentina Revista 27(1): 5-62, Buenos Aires
- SANTI M., CASA H., LELL L. Y MARTINEZ J., 1995.
Estudio de Aguas Subterráneas.
CFI (Consejo Federal de Inversiones) y Dirección Provincial de Hidráulica de Entre Ríos, Buenos Aires, Argentina (Inédito).
- SANTI, M. Y BIANCHI, G., 2004.
Estudio de Aguas Subterráneas en la Región Sudeste de la Provincia de Entre Ríos.
CFI (Consejo Federal de Inversiones) y Dirección Provincial de Hidráulica de Entre Ríos, Buenos Aires, Argentina (Inédito).
- SANTI, M., 2002.
Estudio de Aguas Subterráneas en el Sudoeste de la Provincia de Entre Ríos.
CFI (Consejo Federal de Inversiones), Buenos Aires, Argentina (Inédito).
- SILVA BUSSO A. Y AMATO S. D., 2009.
Variaciones Paleoambientales e Hidroquímica del Acuífero Puelches en Área del "Delta del Río Paraná"
VI Congreso Hidrogeológico y V Simposio Iberoamericano sobre temas actuales en Hidrogeología, Santa Rosa 24-28 de Agosto del 2009, Actas Tomo I, N°23. Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- SILVA BUSSO A., MACHADO P., COSENTINO J., 2011.
Propuesta de Control de las Estructuras del Subsuelo sobre la Geología Terciario-Cuaternaria y su Relación con la Geomorfología Fluvial en la Provincia de Entre Ríos.
Convenio YPF-UTN, Facultad Regional Concordia, Concordia, Entre Ríos, Argentina (Inédito).
- SILVA BUSSO, A. 1999.
Contribución al conocimiento geológico e hidrogeológico del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanaea oriental argentina.
Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Tesis de doctorado, Buenos Aires

- SILVA BUSSO, A. Y C. FERNANDEZ GARRASINO 2004.
Presencia de las Formaciones Piramboia y Botucatú (Triásico - Jurásico) en el subsuelo oriental de la Provincia de Entre Ríos.
Asociación Geológica Argentina Revista 59 (1): 141-151, Buenos Aires
- SILVA BUSSO, A., C. FERNANDEZ GARRASINO Y J. SANTA CRUZ 2002.
Aspectos estructurales e implicancias hidrogeológicas sobre el Sistema Acuífero Termal "Guarani" en la Mesopotamia Argentina.
15º Congreso Geológico Argentino Actas 2: 481-487 (CD - ROM N° 044), Buenos Aires.
- SILVA BUSSO A. Y AMATO S. 2017.
Depósitos fluviales del plio-pleistoceno-holoceno de la Provincia de Entre Ríos y sus Implicancias Hidrogeológicas.
Revista de la Asociación Geológica Argentina, Rev. Asoc. Geol. Argent. Vol. 74 (3): 338 -356.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975.
Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for making and Interpreting Soil Surveys.
US. Departament of Agriculture, Agriculture Handbook, N°436. Washington D.C., USA.