

CARACTERÍSTICAS GEOELÉCTRICAS DEL ACUÍFERO LIBRE EN LA ZONA CIRCUNVECINA A LA LOCALIDAD DE RUFINO, PROVINCIAS DE SANTA FE, CORDOBA Y BUENOS AIRES, REPÚBLICA ARGENTINA.

Aldo D. Giaccardi¹ & David H. Aguilera¹

Resumen - La importante cantidad de sondeos eléctricos verticales realizados en el sur de las provincias de Santa Fe, sudeste de Córdoba y noroeste de Buenos Aires, han permitido caracterizar desde el punto de vista georesistivo las formaciones cuaternarias someras, únicas fuentes de provisión de agua para los pobladores de la región.

La explotación exclusiva del acuífero libre o freático hace indispensable el conocimiento de su comportamiento geohidrológico a los fines de establecer pautas para su prospección y realización de perforaciones.

La alternancia lateral de sedimentos finos de tipo loessoide (limo-arcillosos) con intercalaciones arenosas, permite establecer una respuesta geoeléctrica diferente de estas fracciones y su asociación con la calidad de agua del acuífero freático. La recarga directa a partir de las precipitaciones pluviales sobre una u otra formación, determinará las posibilidades de alumbramiento de aguas subterráneas aptas para consumo, limitadas casi exclusivamente a los sectores donde la fracción arenosa resulta predominante.

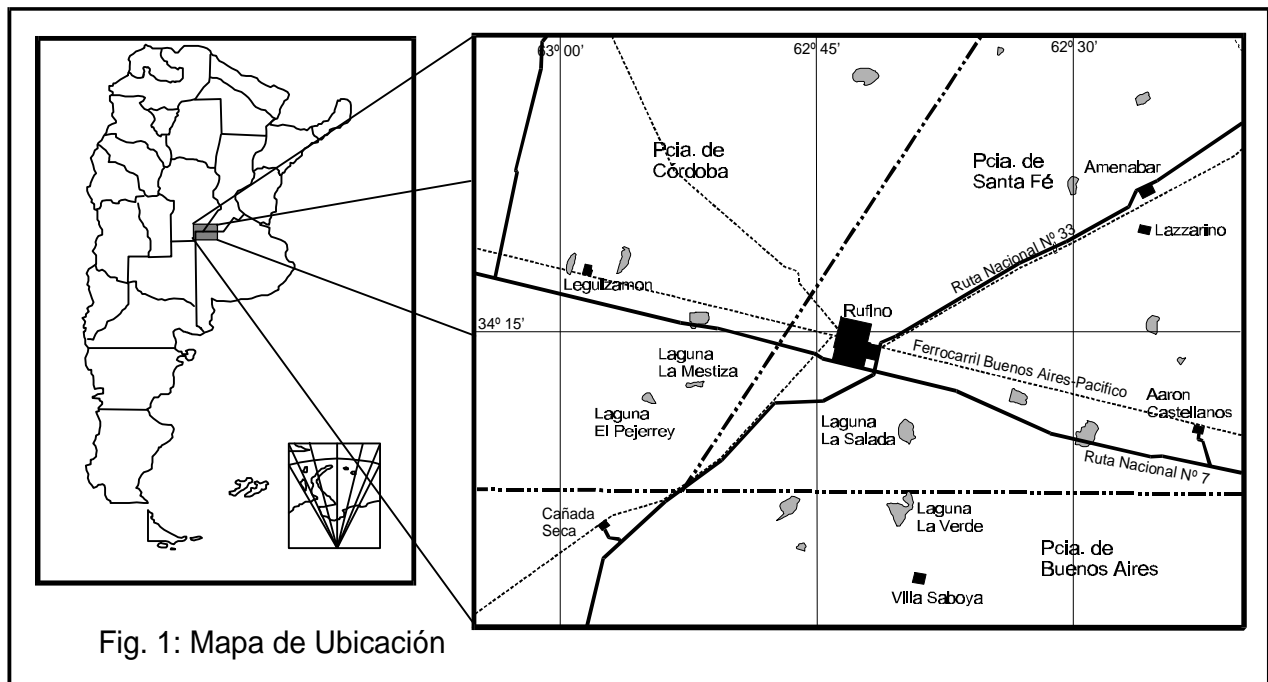
Los resultados obtenidos mediante la exploración geoeléctrica del subsuelo por el método de resistividad, han permitido diferenciar y delimitar distintas áreas según el contenido salino del acuífero libre, y caracterizar distintas zonas según sus posibilidades de explotabilidad.

Palabras-clave - resistivo, eólico

¹ Departamento de Geología- Univ. Nac. San Luis. Avda. Ejército de los Andes 950- 5700-San Luis- Argentina - agiacca@linux0.unsl.edu.ar- e adavid@unsl.edu.ar

UBICACIÓN

El área estudiada posee como centro aproximado en el punto de unión tripartito entre las provincias de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires, en la porción centro-este de Argentina. Se encuentra entre los $S34^{\circ}$ y $S34^{\circ} 30'$ de latitud, y los $O62^{\circ} 20'$ y $O63^{\circ} 05'$ de longitud (fig. 1) abarcando una superficie aproximada de 3.200 km^2 .



INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua a los pobladores de la región analizada se realiza exclusivamente a través de la explotación del acuífero libre o freático, ya que esta importante porción de la llanura Pampeana carece de recursos hídricos superficiales y las perforaciones efectuadas con el propósito del alumbramiento de acuíferos confinados han dado como resultado aguas de mayor contenido salino.

El acuífero libre se desarrolla íntegramente en sedimentos de tipo loessoides (limo arcilloso con algunas intercalaciones arenosas) pertenecientes a la Fm. Pampeano y Postpampeano, de baja permeabilidad y profundidades variables. Dentro de este contexto sedimentológico, las aguas se disponen generalmente en forma estratificada diferenciadas solo por su densidad, ocupando las aguas más salobres los niveles más profundos. La posibilidad de explotación de aguas aptas para consumo se reduce entonces al aprovechamiento solo de la capa superior. El espesor de la capa de agua de buena calidad en general es muy reducido, del orden de 30-40 cm, pero bajo ciertas condiciones de desarrollo puede llegar a formar cuerpos de forma lenticular, con

espesores superiores a los 5 metros, constituyendo excelentes reservorios que con un manejo apropiado resultan suficientes para el abastecimiento rural.

Hasta el momento, la localización de estos cuerpos se ha realizado en forma azarosa, ya que no se observan evidencias sobre el terreno que permitan establecer su correlación en profundidad.

Existe una correspondencia identificatoria entre la conductividad eléctrica de los sectores donde se puede encontrar agua "dulce" y los que poseen agua de mala calidad. Tal hecho hace que resulte una metodología óptima la identificación desde la superficie mediante la exploración por Sondeos Eléctricos Verticales.

Los valores obtenidos resultan de suma importancia para caracterizar desde el punto de vista geoelectrico el subsuelo y constituyen además una guía eficaz al momento de prospectar mediante esta metodología nuevos sitios para explotación de aguas subterráneas someras residentes en el acuífero libre e interpolable a regiones vecinas.

GEOLOGIA DEL AREA

La geología de subsuelo esta representada, según Groeber (en Frenguelli, 1950), para el noreste de la provincia de Buenos Aires con un basamento cristalino, constituido por rocas metamórficas, luego una secuencia de areniscas y arcillas rojas, con alto porcentaje de yeso denominado el "Rojo", de edad Mioceno inferior. Sobre este se encuentra el "Verde", secuencia discordante compuesta por arcillas grises, azuladas, verdosas, con intercalaciones de arenas de colores semejantes, de edad Mioceno superior.

Suprayaciendo se encontrarían los pisos distinguidos por Frenguelli: Mesopotamiense, Entrerriense y Puelchense, sin demasiados caracteres diagnósticos de tal diferenciación.

El Puelche (Sala, 1969; Santa Cruz, 1972), se denomina a toda una serie de depósitos arenosos de color amarillo grisáceo de grano medio a fino y también areno-limosos.

Se superponen al Puelche los sedimentos Pampeanos, pliocenos, compuesto por un conjunto de sedimentos loessoides, limoarenosos, areno-limosos, limos y arenas finas.

CARACTERÍSTICAS GEOHIDROLÓGICAS DE LA REGIÓN

La porción de interés de este estudio se caracteriza por presentar una secuencia perteneciente a una planicie loésica ondulada o deprimida con materiales fluviales,

lagunares y eólicos, todos ellos pertenecientes a los depósitos del Pampeano de edad Pliocena. Bojanich Marcovich y Risiga (1975) dividen la provincia de Santa Fé en una serie de áreas geohidrológicas, ocupando la zona de estudio el área denominada de médanos fijos.

La situación hidrológica general puede esquematizarse como un acuífero libre estratificado verticalmente, poseyendo agua de buena calidad en la porción superior, con aumento de la concentración salina hacia profundidad, no existiendo claridad en la detección de la interfase.

La deposición eólica y el modelado morfológico impuesto al paisaje han dado lugar a una alternancia de zonas deprimidas y elevadas. Las primeras son ocupadas, comunmente por cuerpos lagunares, que en tiempos de elevada pluviosidad aumentan su cobertura areal, sí estas condiciones perduran presentan un carácter permanente. Las zonas bajas o intermedanasas poseen sedimentos loésicos de granulometría muy fina y por lo tanto baja permeabilidad, hecho que unido a un posible corte de la topografía de la superficie freática, producen los encharcamientos y enlagunamientos, que en muchos casos han pasado a poseer carácter semipermanente. Las lagunas son muy frecuentes y en los últimos años han incrementado el área de inundación, lo que permite inferir un lento aumento del nivel freático.

Sección	Subsección	Litología	Características Hidrológicas
EPIPARANIANA	Superior	Loess Limos loessoides	Acuífera Acuitarda Libres
	Inferior	Arenas	Acuífera poco mineralizada
	Fm. Puelches	Gravas	Semiconfinadas- confinadas
PARANIANA	Superior	Lentes de arenas grises, azules, etc.	Acuífera muy mineralizada
	Inferior	Arcillas verdes, pardas, potentes	Acuícludas
HIOPARANIANA		Materiales de origen glacial, fluvial, fluvioglacial, eólico, volcánico, etc. (metamorfismo)	Acuífera, acuífuga, acuitarda, acuícluda, muy mineralizadas.
BASAMENTO IMPERMEABLE		Rocas metamórficas e ígneas (Basamento Cristalino)	Acuífuga

Tabla I: Esquema hidroestratigráfico basado en Bojanich Marcovich, 1987

Las zonas elevadas se comportan como zonas de recarga directa a partir de las precipitaciones, estas son el producto de un modelado eólico regional. Se disponen en sentido general noroeste a sudeste, separando cuencas locales elongadas o redondeadas.

En el área específica de trabajo es netamente predominante la ubicación en superficie de la Sección Epiparaniana Superior (Tabla I), donde los materiales loésicos se interdigitan lateralmente con porciones medanosas (Giaccardi, et al, 1994). Esta circunstancia hace que se produzcan recargas localizadas en los sectores que presentan la mayor permeabilidad superficial, es decir las zonas medanosas. Ello permite la generación de acuíferos colgados o lentes de agua dulce utilizando como reservorios sedimentos que por su origen no poseen una gran contaminación salina y que, por lo tanto, en muchos casos poseen un gran desarrollo areal y en profundidad lo que hace que se conviertan en sectores de explotación para el abastecimiento de las ciudades, tal como el caso de la ciudad de Rufino, Diego de Alvear, etc.

El nivel freático se encuentra muy próximo a la superficie, siendo el espesor de la zona no saturada de entre 1,5 a 2 m en una faja de dirección noroeste-sudeste (Leguizamón- Rufino-sur de la Ruta Nacional N° 7), de 5 a 7m. en el Norte y Noreste y en el sudoeste en el área aledaña a la localidad de Cañada Seca. La menor profundidad del nivel freático, mencionado en primer término, se corresponde con el área ocupada por una mayor densidad de lagunas (Lagunas La Mestiza, La Salada, La Verde, etc), (fig 3), donde la base de las mismas, posiblemente, corte dicho nivel.

La dirección general del flujo subterráneo es N-S a NO-SE (DIPOS, 1990).

El área de interés se caracteriza regionalmente por poseer una distribución areal de sedimentos eólicos superficiales y subsuperficiales en la porción norte y nordeste, mientras que en el sector occidental la presencia de estas manifestaciones eólicas es prácticamente nula o de un espesor muy reducido, hacia el sur y sudoeste existe una alternancia entre sedimentos loessoides arenosos, de este origen, y limo-loessoides .

PROSPECCION GEOFISICA

La prospección geoelectrica se llevó a cabo por el método de resistividad por corriente continua, mediante la ejecución de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y calicatas eléctricas, utilizando la configuración electródica tetrapolar simétrica Wenner.

El procedimiento consiste en introducir corriente eléctrica continua en el terreno por medio de dos electrodos y medir la variación de potencial entre otros dos ubicados convenientemente en el terreno.

La presencia de lentes de agua con bajo contenido salino se detecta por un aumento en la resistividad del subsuelo en relación con las áreas circundantes, debido a que la conductividad eléctrica del terreno está relacionada directamente con la cantidad de sales disueltas contenida en el electrolito

Como la variación de resistividades es un fenómeno que se puede determinar tanto vertical como horizontalmente, dependiendo lo último de la distribución de sondeos y los contrastes resistivos laterales existentes, la metodología utilizada fué focalizada en obtener datos que permitieran generar un modelo del acuífero en cada caso.

Los trabajos de campo para la obtención de los datos aquí discutidos se realizaron en distintas campañas durante los años 1996 y 1998. En cada sitio investigado se efectuaron SEV paramétricos o de reconocimiento cercanos a perforaciones existentes, a los efectos de conocer y caracterizar la respuesta eléctrica del acuífero libre del área a prospectar. En base a los datos obtenidos, se establece la separación interelectródica

adecuada para la exploración sobre la zona desconocida por medio de calicatas eléctricas, las que se distribuyeron según un mallado que dependería de los objetivos perseguidos.

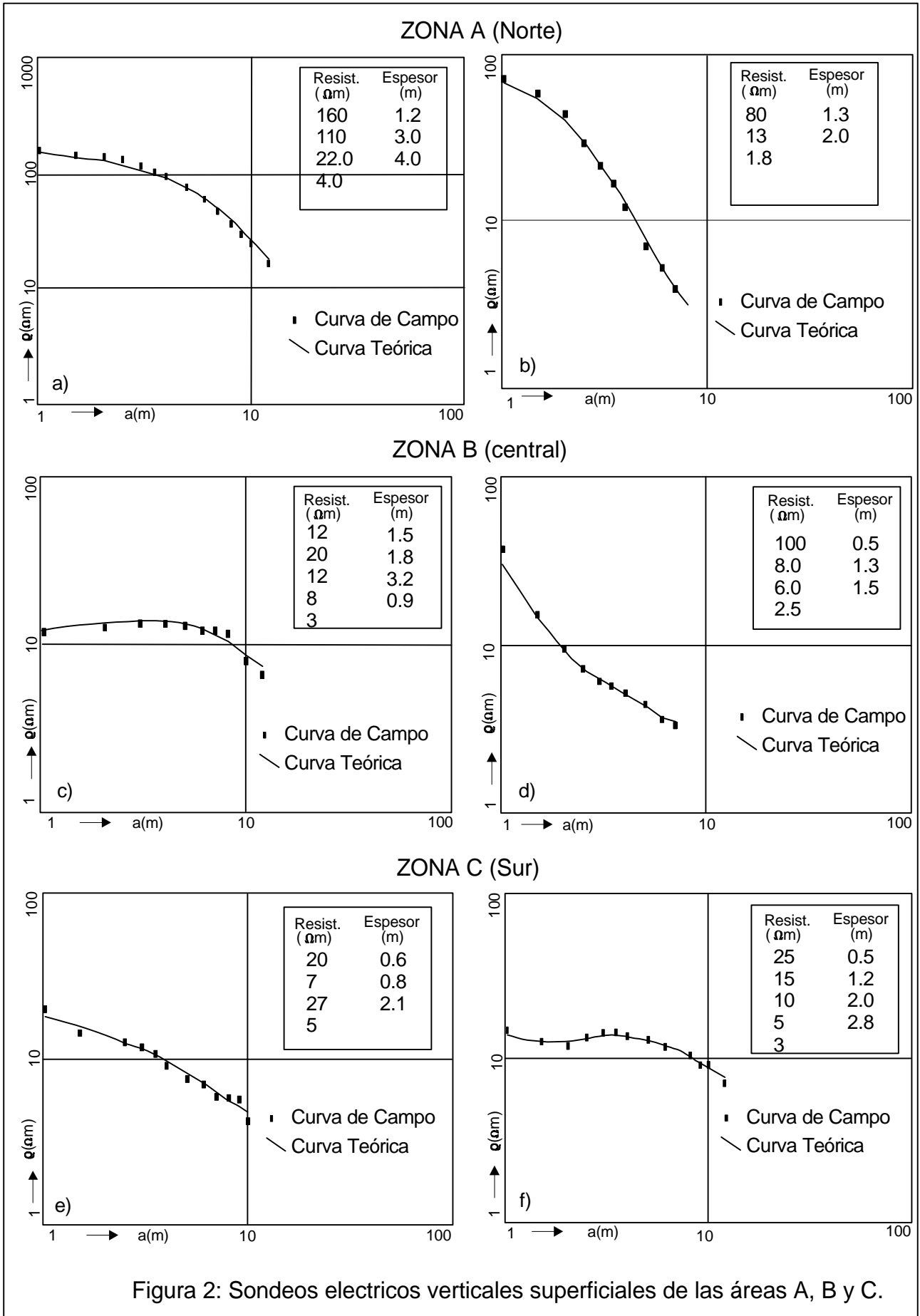
Con los resultados arrojados por las calicatas, se confeccionaron mapas de isorresistividad, y en los sitios donde se detectaron anomalías atribuibles a contrastes entre los valores regionales y la posible existencia de lentes de agua dulce, se densificó la exploración por medio de SEV, a efectos de poder definir con la mayor aproximación posible, en un entorno aceptable, las variaciones laterales y en profundidad de la calidad del agua y las características del lente.

La interpretación cuantitativa de las curvas resultantes de los SEV, se efectuó con Software de cálculo de curvas teóricas de última generación obteniéndose el corte eléctrico de cada punto investigado. A partir de estos datos, se determinó la distribución espacial de las resistividades del subsuelo, y se elaboraron los mapas que caracterizan aproximadamente el comportamiento del subsuelo para cada zona.

COMPORTAMIENTO GEOELÉCTRICO DE LA SECUENCIA SUPERFICIAL

La interpretación de las curvas de resistividad aparente de cada SEV a permitido obtener el corte eléctrico para cada punto investigado, con los espesores de cada capa interpretada y su correspondiente resistividad, como también la ubicación del nivel freático.

En función del tipo de curvas obtenidas y los cortes eléctricos interpretados, ha sido posible diferenciar tres zonas con características resistivas y espesores de acuíferos con



agua dulce bien diferenciadas, en contraste con los valores resistivos regionales y su vinculación a la secuencia estratigráfica local.

Las características resistivas permiten estimar la tendencia en profundidad a un valor de fondo regional que no sobrepasa los 3 a 5 Ωm y que es identificable en todas las curvas que se obtuvieron. La presencia de este valor interfiere en la gráfica de campo ya que su influencia provoca un cambio en la respuesta de la porción superior del perfil geoelectrico, por lo tanto los valores que se obtienen, en algunos casos, se enmascaran por esta presencia conductiva regional.

La influencia de este terreno conductivo en profundidad se visualiza en la gráfica de las curvas por una elevada pendiente tendiendo casi a la vertical, hacia valores de resistividad muy bajos.

Teniendo en cuenta esta particularidad es posible filtrar la información obtenida y llegar a diferenciar la región en áreas de comportamiento geoelectrico típico. En este caso se han establecido 3 zonas generales, una norte, otra central, y otra sur (fig.3, A, B y C).

En la zona A, norte, (fig. 3, A) las curvas poseen dos capas muy bien definidas, una superior netamente resistiva (100 a 200 Ωm), y otra inferior de características conductivas (10-15 Ωm y menores). La calidad de las aguas es de buena a muy buena (fig. 2a, 2b), y quizás son las de mejor calidad de toda el área estudiada.

La respuesta geoelectrica se asocia a una distribución mejor preservada de la morfología eólica y por lo tanto a un desarrollo volumétrico mayor de la fracción arenosa, que permite el almacenamiento de aguas provenientes de la recarga directa y por lo tanto con menor tiempo de tránsito lo que produce una menor disolución de sales, además de contar con un sedimento poco contaminado por ellas. Aquí existe, además, una vinculación topográfica a lomadas de variada disposición, y que en muchos casos es difícil de seguir su continuidad

Esta respuesta cambia sustancialmente en la zona B, central, (fig. 3, B), donde las curvas obtenidas son poco claras en la definición de capas, comunmente se presentan algo horizontalizadas y con variaciones mínimas entre las resistividades registradas (fig. 2c y 2d). El valor promedio de resistividad no supera los 10 a 15 Ωm , si ello sucede se encuentran aguas de muy buena calidad.

Las aguas son de calidad mediocre a malas, con considerables valores de los contenidos salinos (Residuo seco mayor a 2000 mg/l).

Es un área fácilmente inundable, por no poseer un relieve desarrollado y presentar pendientes muy bajas. No existen evidencias en superficie de morfología eólica, como se mencionara anteriormente, sólo se encuentra la base de estos cuerpos, siendo su expresión areal muy reducida.

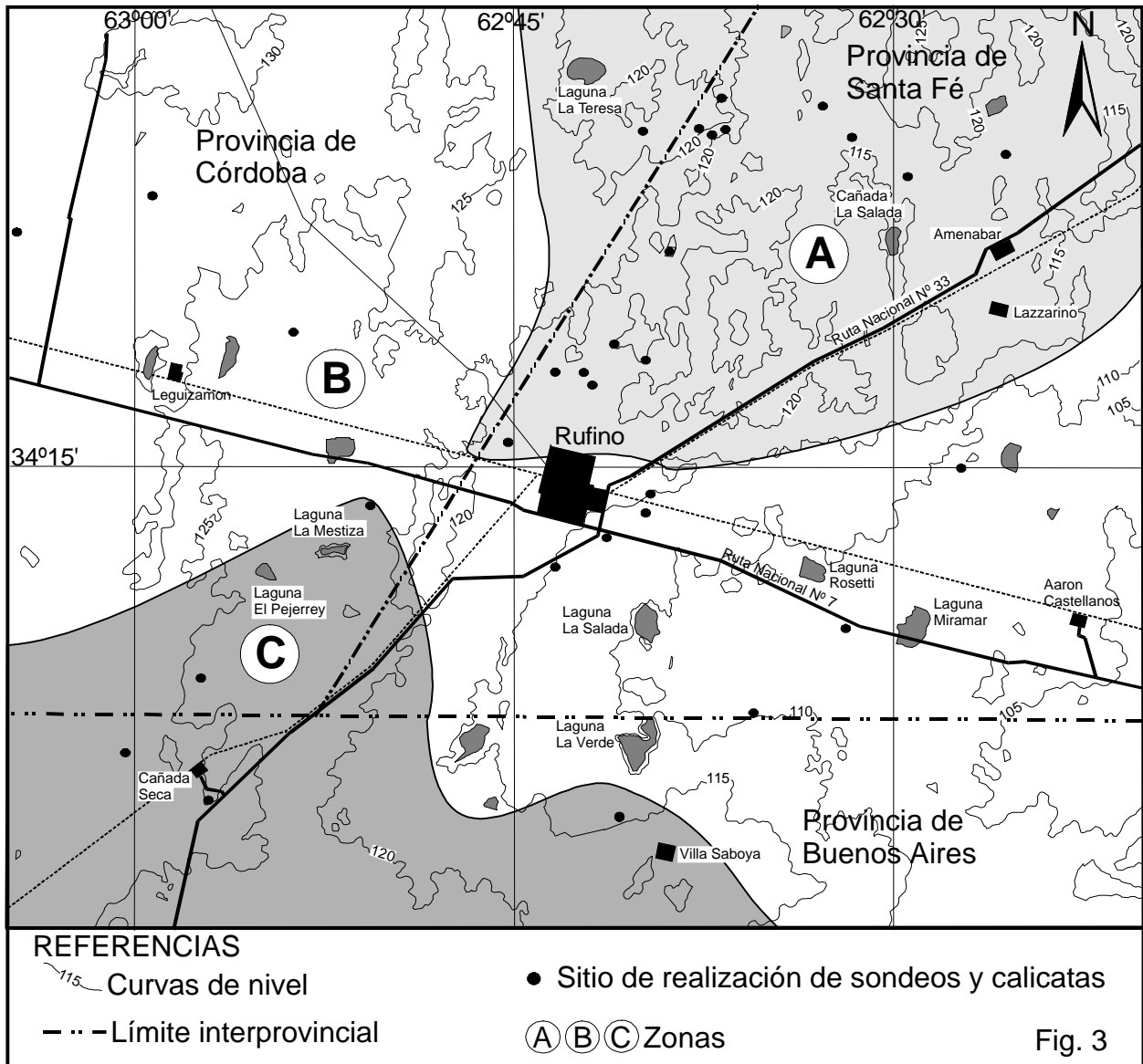


Fig. 3

En esta área existen variaciones laterales en muy corta distancia, 50 a 100 m, lo que significa aumentar la densidad de puntos de registro, ya que el hecho de tomar pocos puntos puede resultar negativo a la prospección.

En el área sur, en cercanías a la localidad de Cañada Seca, es posible identificar una zona C (fig.2e y 2f), de características mixta donde se encuentran condiciones de las dos áreas anteriormente descritas, se puede encontrar “bajos” que responden a las

características de la zona B y morfología eólica como en el caso de la descrita en la zona A.

CONCLUSIONES

En el área de estudio ha sido posible definir tres áreas con diferentes respuestas geoeléctricas.

En donde el área A está asociada a una mejor preservación de los elementos eólicos que modelaron el paisaje y que se convirtieron en los mejores reservorios de agua almacenada en el acuífero libre. Estos poseen dos características esenciales que son su buen funcionamiento como área de recarga y la conformación de acuíferos colgados de buena calidad de agua. Existe una moderada correlación entre las expresiones topográficas y la presencia de estos acuíferos

En el área B no existen estas características y las expresiones de un relieve eólico previo han sido borradas por un evento erosivo posterior que llevo a la zona a conformar una superficie netamente horizontalizada. La vinculación entre la expresión en superficie y su correspondencia en profundidad no existe, por lo tanto la prospección debe realizarse de modo detallado. El agua es de regular a mala calidad y sólo en algunos acuíferos colgados de expresión areal un poco mayor se encuentran aguas de buena calidad.

En el área C por su carácter de zona mixta, es posible encontrar acuíferos colgados de muy buena calidad asociados a elementos eólicos y otros donde no se puede llegar más que a explotar un agua de regular a buena calidad, todo ello dependiendo sí las características geológico-resistivas la asocian al área A o B.

BIBLIOGRAFÍA

Giaccardi, A. y Aguilera, D. 1994. Influencia del canal derivador de efluentes cloacales sobre las aguas subterráneas en la ciudad de Rufino, Provincia de Santa Fe, República Argentina. Avances '96. San Luis de Potosí, México.

Bojanich Marcovich, E. y Risiga, A. H., 1975. Contribución al conocimiento de la geohidrología de la Provincia de Santa Fe. II Cong. Iber.- Amer. De Geol. Económ., 5:

Kreimer, R., 1968. Descripción hidrogeológica de la zona de Arias, Venado Tuerto y Colón, Prov. De Córdoba, Santa Fe y buenos Aires. Inst. Nac. Geol. Y Min. Bol 116. Buenos aires.

- Sala, J. M., 1969.** El agua subterránea en el noreste de la provincia de Buenos Aires. Reunión sobre la geología de l agua subterránea de la provincia de Buenos aires-Comis. Inv. Cientif.: 25-47. La Plata.
- Santa Cruz, J.N., 1972.** Estudio sedimentológico de la Formación Puelches en la Provincia de Buenos Aires. Rev. Asoc. Geol. Arg., XXVII (1):5-62. Buenos Aires.