

HIDROGEOLOGÍA DE LA REGION CHAQUEÑA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

P. Boujon, D. S. Fernández, S. Trevisiol, F.X. Pereyra y L. Gambandé

Dirección de Geología Ambiental y Aplicada, SEGEMAR. Av. General Paz 5445 (colectora) -Parque Tecnológico Miguelete. Edificio 25. San Martín. Buenos Aires, Argentina. Tel. (011) 4754 4070 int.437. Email:pamela.boujon@segemar.gov.ar

Resumen

Se realizó un análisis prospectivo de la hidrogeología con el objetivo de conocer la hidrodinámica e hidroquímica del agua subterránea de la región. La zona estudiada incluye la provincia de Formosa; la mayor parte del Chaco, el este de Salta; el norte y centro de Santiago del Estero y el este de Tucumán. El presente trabajo se realizó a partir de la elaboración de un estudio para el sistema acuífero transfronterizo Yrenda-Toba-Tarijeño (SAYTT.) solicitado por la Subsecretaría de Recursos Hídricos a la Dirección de Geología Ambiental y Aplicada (DGAA) del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) (escala 1: 1.500.000). Para la elaboración del mapa Hidrogeológico se consideraron los mapas geológico - litológico, geomorfológico y antecedentes principalmente en las provincias de Formosa, Santiago del Estero y Tucumán. Se integraron las distintas unidades o ambientes hidrogeológicos definidos para esas provincias con las unidades reconocidas en este trabajo, generando un esquema abarcativo de la región. Se completó la información del comportamiento hidráulico con 55 registros de pozos seleccionados de una base de datos de 200 perfiles. Finalmente, a partir del censo hidrogeológico se obtuvieron los niveles piezométricos y composición química del agua subterránea. Se definieron 17 Unidades Hidrogeológicas (UH): UH Aflorantes (UH I –XII) y UH No Aflorantes (XIII - XVII). Las mismas están conformadas por complejos acuíferos de edad terciaria y cuaternaria. Los primeros son niveles confinados y semiconfinados de edad paleógena y neógena y los acuíferos cuaternarios se encuentran relacionados principalmente con abanicos aluviales de extensión regional. Estos acuíferos presentan niveles libres, semiconfinados y confinados con espesores que pueden alcanzar los 150 metros hacia el oeste del área.

Palabras claves: Recursos Hídricos, Hidrogeología, Hidroquímica, norte argentino.

Abstract

A prospective analysis of the groundwater hydrology was performed in order to identify the hydrodynamics and hydrochemistry of the underground water in that region. The study area corresponds to the North of Argentina including the whole of the Province of Formosa, most of Chaco, the East of Salta, the North and Center of Santiago del Estero and the East of Tucuman. The present work evolved from the elaboration of a study of the transboundary aquifer system Yrenda-Toba-Tarijeño (SAYTT.) required by the "Subsecretaría de Recursos Hídricos" to the Environmental and Applied Geology Division in the Geological and Mining Survey of Argentina (SEGEMAR) (scale 1: 1.500.000). The geological, lithological and geomorphological maps together with the bibliography of hydrogeological studies mainly of the provinces of Formosa, Santiago del Estero and Tucuman were considered in order to produce the Hydrogeological Map. The diverse hydrogeological units or environments defined for those provinces were integrated with the hydrogeological units accredited by this work thus generating a comprehensive pattern of the region as a whole. The information of the hydraulic behavior was completed with 55 records of wells selected from a 200 profile database. Finally the piezometer levels and the chemical composition of the groundwater were obtained from the hydrogeological census. The 17 Hydrogeological Units (HU) defined were UH outcrop HU I –XII) and UH Non outcrop (XIII - XVII). It presents a system conformed by complex aquifers of the Tertiary and Quaternary ages. The first are constituted by confined and semiconfined levels of the Paleogenic and Neogenic era. The Quaternary aquifers are mostly related to alluvial fans of regional extension. These aquifers show free

confined and semiconfined levels that can range 150 m of thickness to the western part of the area.

Keywords: Hydric Resources, Hidrology, Hydrochemistry, North of Argentina.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El mapa hidrogeológico (1:150.000) que se presenta en este trabajo fue realizado por la Dirección de Geología Ambiental y Aplicada (DGAA) del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) con el objetivo de obtener un mapa que permita reconocer unidades hidrogeológicas definidas a partir de las unidades geomorfológicas, la geología del subsuelo, las diferentes litologías; unidades o ambientes hidrogeológicos antecedentes y estudios isotópicos; como así también áreas de recarga y descarga, hidrodinámica e hidroquímica.

Los conocimientos actuales del subsuelo del norte argentino que permiten limitar divisorias subterráneas de cada sistema acuífero son insuficientes, ya que no existe una integración de perfiles sísmicos y en algunos sectores escasean perforaciones, principalmente en el sector centro - este de la provincia de Chaco.

UBICACIÓN Y MARCO HIDROGEOLÓGICO

El área de estudio corresponde a la región chaqueña en la República Argentina; incluye la totalidad de la provincia de Formosa; la mayor parte de la provincia del Chaco, el sector oriental de la provincia de Salta al Este de las sierras Subandinas; el norte y centro de la provincia de Santiago del Estero y el oriente de la provincia de Tucumán (Figura N°1).



Figura N°1: Ubicación del ámbito de estudio.

Comprende las regiones Regiones Hidrogeológicas (RH):

1) Piedemonte y Llanura Chaco-Salteña: El clima es Semiárido y las máximas precipitaciones (P) se registran en los meses de primavera – verano y la P media anual (Pma) de 400 a 700 mm. La evapotranspiración real (ETR) es elevada (800-600 mm) y la Temperatura media anual (T^oma) oscila entre 18° y 20°. El déficit supera en más del 50 % el valor de a los excesos en la mayoría de las estaciones analizadas en este estudio (Estación Orán, Las Lajitas, Gral. Mosconi y Tartagal).

2) Llanura Chaco-Pampeana árida: abarca las provincias de Formosa, Chaco y Santiago del estero. El clima es Semiárido en el sector NO de la provincia de Formosa y Seco-Subúmido para el sector central de Formosa y Chaco. Las máximas P se registran principalmente en primavera- verano. La Pma oscila entre 500 y 800 mm. La ETR es elevada (700 -1.000 mm) y la T^oma es 21° y 22 °C. En todas las estaciones analizadas

(Quimilí, Añatuya, Sachayoj, Frías, Saenz Peña, Monte Quemado, Campo Gallo, Las Lomitas, Las Breñas, entre otras) el déficit supera en más de un 100% a los excesos.

3) Llanura Chaco-Pampeana húmeda: incluye el Este de las provincias de Formosa y Chaco. El clima es Subhúmedo y húmedo. Las máximas P se registran en los meses de estío. La P_{ma} es de 1.400 mm. La ETR es elevada (1000 -1.200 mm) y la T^oma es 22 °C. En todas las estaciones analizadas (Clorinda, Resistencia y Formosa) el exceso supera en más de un 100% a los déficits y

4) Pie de monte y llanura Tucumano-Santiagueña: el clima es Seco-Subhúmedo a Subhúmedo. Las máximas P se registran en las estaciones de primavera y verano. La P_{ma} oscila entre 800 a 1.500 mm. La ETR varía entre 600 a 900 mm y la T^oma es entre 18.5 a 20.5 °C. En la mayoría de las estaciones analizadas (Río Hondo, Famailá, Pozo Hondo y San Miguel del Tucumán) el déficit supera en 94% a los Excesos. (Auge, 2004).

METODOLOGIA

Para la elaboración del mapa hidrogeológico se utilizaron mapas climáticos y balances hídricos, mapa geológico – litológico; mapa geomorfológico y antecedentes bibliográficos. A partir de estudios hidrogeológicos realizados principalmente en las provincias de Formosa, Santiago del Estero y Tucumán, se integraron las unidades o ambientes hidrogeológicos definidos por diferentes autores con las unidades hidrogeológicas reconocidas en este trabajo. Se completó la información del comportamiento hidráulico de cada unidad acuífera con los inventarios de pozos otorgados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos (SSRH) y los registros de perforaciones pertenecientes a la biblioteca del SEGEMAR, en donde se obtuvieron, en algunos casos parámetros hidráulicos como la Transmisividad, Conductividad eléctrica, Coeficiente de Almacenamiento y caudales. Finalmente y a partir del censo de pozos realizado en las tres campañas se obtuvieron los niveles piezométricos y composición química e isotópica del agua subterránea para las unidades acuíferas terciarias y cuaternarias. Los análisis químicos se efectuaron en el laboratorio químico de la Universidad Nacional de Tucumán y en el laboratorio químico del INTEMIN (perteneciente al SEGEMAR). Los análisis de isótopos se realizaron en el laboratorio de isótopos estables de la Universidad Nacional del Mar del Plata por espectrometría láser OICOS con instrumento Los Gatos Research inc. DLT-100 Precisión analítica: $\pm 2\text{‰}$ en $\delta^2\text{H}$, y $\pm 0.3\text{‰}$ en $\delta^{18}\text{O}$. Por motivos de espacio, no se presentan aquí los resultados isotópicos.

RESULTADOS

Tomando como base la columna estratigráfica desarrollada en el presente estudio se han identificado 17 unidades hidrogeológicas (UH), las cuales se dividieron en UH Aflorantes y no Aflorantes (Figura N°5). La orientación del flujo subterráneo (aq. cuaternarios) coincide con la pendiente topográfica regional (NO – SE) con potenciales hidráulicos máximos de 300 m en el sector occidental cercanos a las Sierra, donde se sitúan las principales zonas de recarga y potenciales mínimos de 50 m hacia el sector oriental cercano al Río Paraguay. La figura N° 2 muestra la tendencia general y regional de la red de flujo subterráneo a partir los registros de 44 perforaciones ubicadas en sedimentos de edad Cuaternaria para niveles freáticos. Así, se reconoce que los ríos Bermejo y Pilcomayo son de carácter influentes en varios tramos del curso y efluentes en otros. Cabe destacar que el modelo presentado es de carácter regional y que la dirección del flujo subterránea varía localmente.

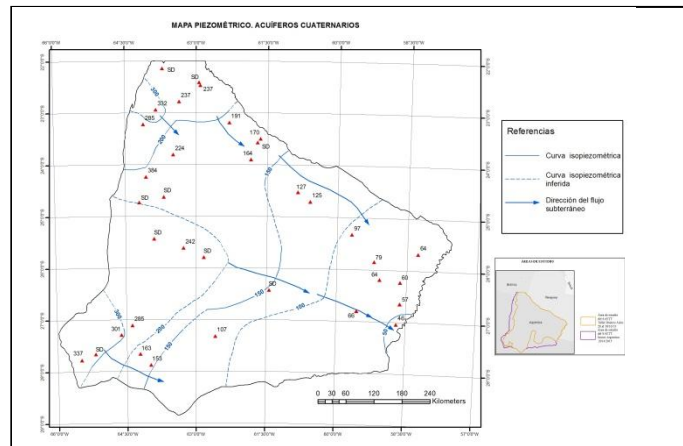


Figura N° 2: Red de flujo subterránea para pozos ubicados en sedimentos de edad Pleistocena-Holocena.

HIDROQUÍMICA

Características hidroquímicas de los acuíferos terciarios

Los aspectos hidroquímicos fueron estudiados a partir de muestras tomadas en 20 pozos profundos. Los mismo, poseen por lo general, filtros ubicados a más de 180 metros de profundidad; algunos presentan surgencia natural y temperaturas superiores a los 30° C. Son en su mayoría aguas mineralizadas con conductividad eléctrica superiores a los 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y sólidos disueltos totales superiores a 750 mg/L.

En la zona de recarga muestran predominio del anión Bicarbonato en el sector del pedemonte (oeste), que luego pasa a un predominio del anión Sulfato. Al entrar en la provincia de El Chaco la composición cambia y predomina el anión y se mantiene hasta la localidad de Presidente Roque Sáenz Peña (Formosa). Casi todas las muestras analizadas, con excepción de los puntos P32, P40 y P44 tienen un elevado contenido del ión Sodio (fig. 3 a).

Hacia el este de Santiago del Estero y en Chaco la salinidad se incrementa, originándose un área salina sódica caracterizada por dos facies bien marcadas: Facie sulfatada sódica y Facie clorurada sódica. El límite entre ambas se encuentra delimitada por la línea de isoconductividad eléctrica de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El arsénico se encuentra en altas concentraciones en las aguas subterráneas del 75% de los pozos muestreados, constituyendo un contaminante de origen natural. Los valores observados superan ampliamente el límite fijado por el Código Alimentario Argentino (10 $\mu\text{g}/\text{L}$) llegando a concentraciones elevadas que superan los 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Figura N° 3 b)

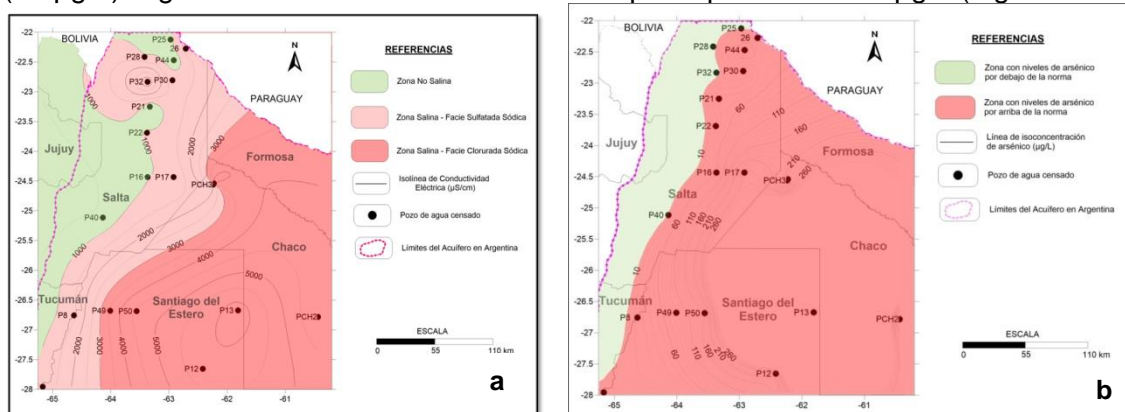


Figura N° 3: a. Distribución de los distintos grupos de agua según su composición química y conductividad eléctrica; b. Distribución espacial del contenido de arsénico en el área de estudio para el acuífero terciario.

Características Geoquímicas de los Acuíferos Cuaternarios

El tenor salino del agua subterránea aumenta en el sentido del flujo de los grandes ríos (R. Bermejo y R. Pilcomayo). La salinidad del agua es baja en los ambientes hidrogeológicos vinculados al piedemonte de las sierras del oeste, áreas fuertemente onduladas y fajas fluviales-abanicos proximales (conductividad eléctrica inferior a los 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Hacia los sectores distales de los abanicos, en los sectores de mayor evapotranspiración, crecen los valores de conductividad eléctrica registrándose valores superiores a 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La composición química de las aguas es bicarbonatada sódica y cálcica y sulfatada sódicas y cálcica.

Numerosos pozos presentan elevados contenidos de arsénico con concentraciones que superaron en muchos casos los 10 $\mu\text{g}/\text{L}$ y alcanzaron valores de hasta 227 $\mu\text{g}/\text{L}$. La distribución espacial del arsénico es variable y no se encuentra relacionada a un ambiente hidrogeológico en particular (Fig. N° 4).

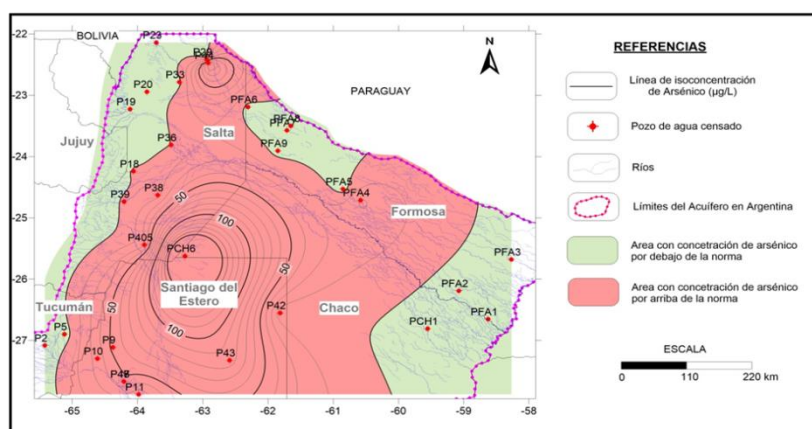


Figura N°4: Distribución espacial del contenido de arsénico en el área de estudio para el acuífero cuaternario.

CONCLUSIONES

- A partir del presente estudio se concluye que el "acuífero Toba" constituye un sistema complejo formado por complejos acuíferos de edad terciaria y cuaternaria. Los primeros son niveles confinados y semiconfinados, donde predominan sedimentos limo arenosos y arenas cuarzosas de edad paleógena y neógena. Los acuíferos cuaternarios se relacionan principalmente con abanicos aluviales de extensión regional como los de los ríos Pilcomayo, Bermejo, Salado y Dulce y presentan niveles libres, semiconfinados y confinados con espesores que pueden alcanzar los 150 metros en las cercanías de las sierras.
- Los acuíferos terciarios que se encuentran bajo explotación corresponden a depósitos del Mioceno superior-Plioceno, en el sector oeste del área de estudio (Subgrupo Jujuy, Formación India Muerta y Las Cañas), y a depósitos continentales del Oligoceno-Mioceno Medio, en el sector este, correspondientes a la Formación Chaco (Figura N°5).
- Los acuíferos cuaternarios constituyen en general depósitos de abanicos aluviales de edad pleistocena en donde los niveles productivos se encuentran ubicados entre los 70 y 150 metros de profundidad.
- El sentido del flujo lateral regional de los acuíferos cuaternarios es NO-SE. En el caso de los acuíferos terciarios, se trazó un perfil geoquímico a la altura del río Bermejo, reconociéndose un sentido general NO-SE. Se recomienda analizar nuevas perforaciones para una mejor caracterización del flujo subterráneo.
- La calidad de las aguas es muy variable dentro del área de estudio. Las aguas de los acuíferos terciarios presentan marcado gradiente de salinidad en sentido general

oeste-este. En los sectores pedemontanos del oeste presentan excelente calidad con valores de conductividad eléctrica inferiores a los 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hacia la zona de llanura se incrementa la salinidad, observándose una facies salina sulfatada sódica con una conductividad eléctrica entre 1.000 y 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hacia el oeste de Santiago del Estero y centro de Chaco, la conductividad aumenta a más de 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (facies salina clorurada sódica que impide su utilización).

- En los acuíferos cuaternarios la salinidad suele ser baja en los ambientes hidrogeológicos vinculados al piedemonte de las sierras del oeste, áreas fuertemente onduladas y fajas fluviales-abanicos proximales (conductividad eléctrica inferior a 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Hacia los sectores distales de los abanicos, en los sectores de mayor evapotranspiración, se incrementan la conductividad eléctrica a más de 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En general se tratan de aguas aptas para el riego considerándose las restricciones pertinentes.
- La problemática de mayor relevancia en la calidad de las aguas de los acuíferos del área de estudio es el elevado contenido de arsénico que presentan numerosos pozos analizados.

REFERENCIAS

- Auge, M., 2004.** Regiones Hidrogeológicas. República Argentina y provincia de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. Cátedra de Hidrogeología. Universidad de Buenos Aires.
<http://www.gi.fcen.uba.ar/investigacion/grupos/hidrogeologia/auge/Reg-Hidrogeo.pdf>.
- Davis, S. N. and De Wiest, R. D. 1967.** Hydrogeology. John Wiley and Sons, New York, pp. 463.
- García, R. F., 1998.** Hidrogeología del Chaco Boreal Salteño. Provincia de Salta. Escuela del Doctorado en Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Inédito.
- García, R. F., 1999.** El Agua Subterránea en Chaco Boreal Salteño. Hidrología Subterránea. II Congreso Argentino de Hidrogeología. IV Seminario Hispano Argentino sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea. Serie Correlación Geológica N° 13:425-434. Instituto Superior de Correlación Geológica – CONICET. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Universidad de Tucumán.
- Godoy Valdovinos, E. 1990.** Características Hidrogeológicas e Hidroquímicas de la Región Oeste del Chaco Paraguayo. Ministerio de Defensa Nacional. Comisión Nacional de Desarrollo Regional Integrado del Chaco, Departamento de Abastecimiento de Agua para el Chaco, Filadelfia, Paraguay.
- Jurío, R., Méndez, I. y Miró, R., 1975.** "Zonación Hidrotermal de Acuíferos del Terciario Superior en las provincias de Santiago del Estero y Tucumán. Argentina". II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica. Tomo IV. Pág. 495-522. Buenos Aires, Argentina.
- Martin, A., Castellano, J., Storniolo, A., R., Schejtman, W., & Bejarano, R., 1997 (a).** "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. Universidad Nacional del Sur (Dpto. de Geología), International Association of Hydrogeologist (Asociación Internacional de Hidrogeología Grupo Argentino). Bahía Blanca, Argentina.
- Martin, A., Castellano, J., Storniolo, A., Bejarano, R., Schejtman, W., 1998.** "Carta Hidrogeológica de la Provincia de Santiago del Estero". Informe Inédito. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
- Martin, A. P., 1999.** "Hidrogeología de la Provincia de Santiago del Estero". Ediciones del Rectorado de la Universidad Nacional de Tucumán. Págs. 100 a 110. Tucumán. Argentina.
- Martin, A. P., 2000.** "Hidrogeología de la Provincia de Santiago del Estero". Ediciones del Rectorado de la Universidad Nacional de Tucumán. Págs. 100 a 110. Tucumán. Argentina.
- Modesto, F.B., Cortez, J., Thir, J.M. y Storniolo, A., 2000.** Caracterización Hidrogeológica en base a Prospección Geoeléctrica – Zona Noroeste de Sgo. del Estero – República Argentina. IX Congreso Brasileiro de Aguas Subterráneas. Sao Pablo, Brasil.
- Peri, V.G., Barcelona, H., Pomposiello, M.C., Rossello, E.A., Favetto, A. 2014.** Shallow geophysical evaluation of the transition zone between the Guarani and Yrenda-Toba-Tarijeno aquifer systems (Argentine Gran Chaco): Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 31, num. 1, p. 76-92.

- Servicio Geológico Minero Argentino- DGAA, 2014.** Cartografía hidrogeológica del Acuífero Transfronterizo Yrenda Toba Tarijeño en Territorio argentino. Inédito.
- Servicio Provincial de Agua Potable y Saneamiento, provincia de Formosa, 2010.** “El Agua Subterránea en Formosa. Programa Esmeralda. 173 pág.
- Tineo, A., 2000.** Las cuencas sedimentarias de edad Cuaternaria en Tucumán. Tucumán, Argentina. IX Congreso Brasileiro de Aguas Subterráneas. Sao Paulo, Brasil.

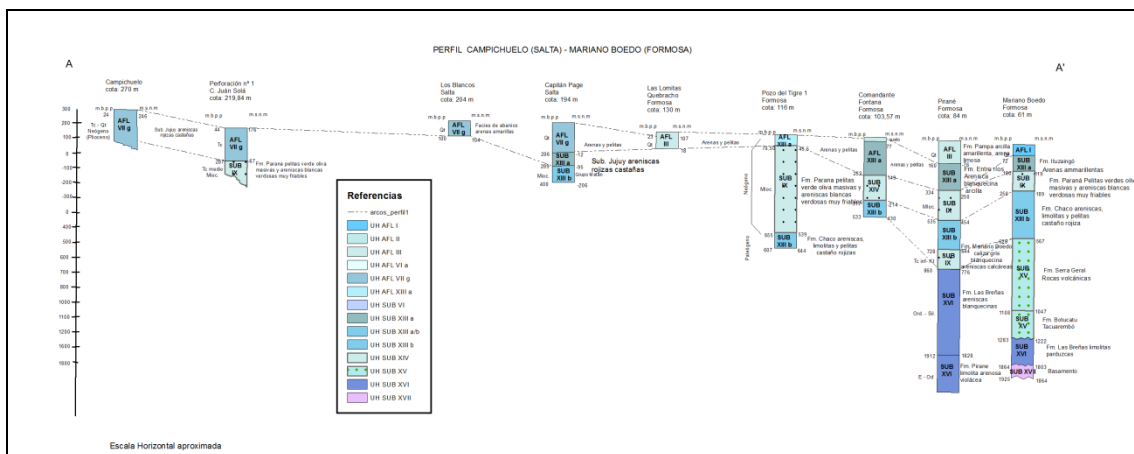
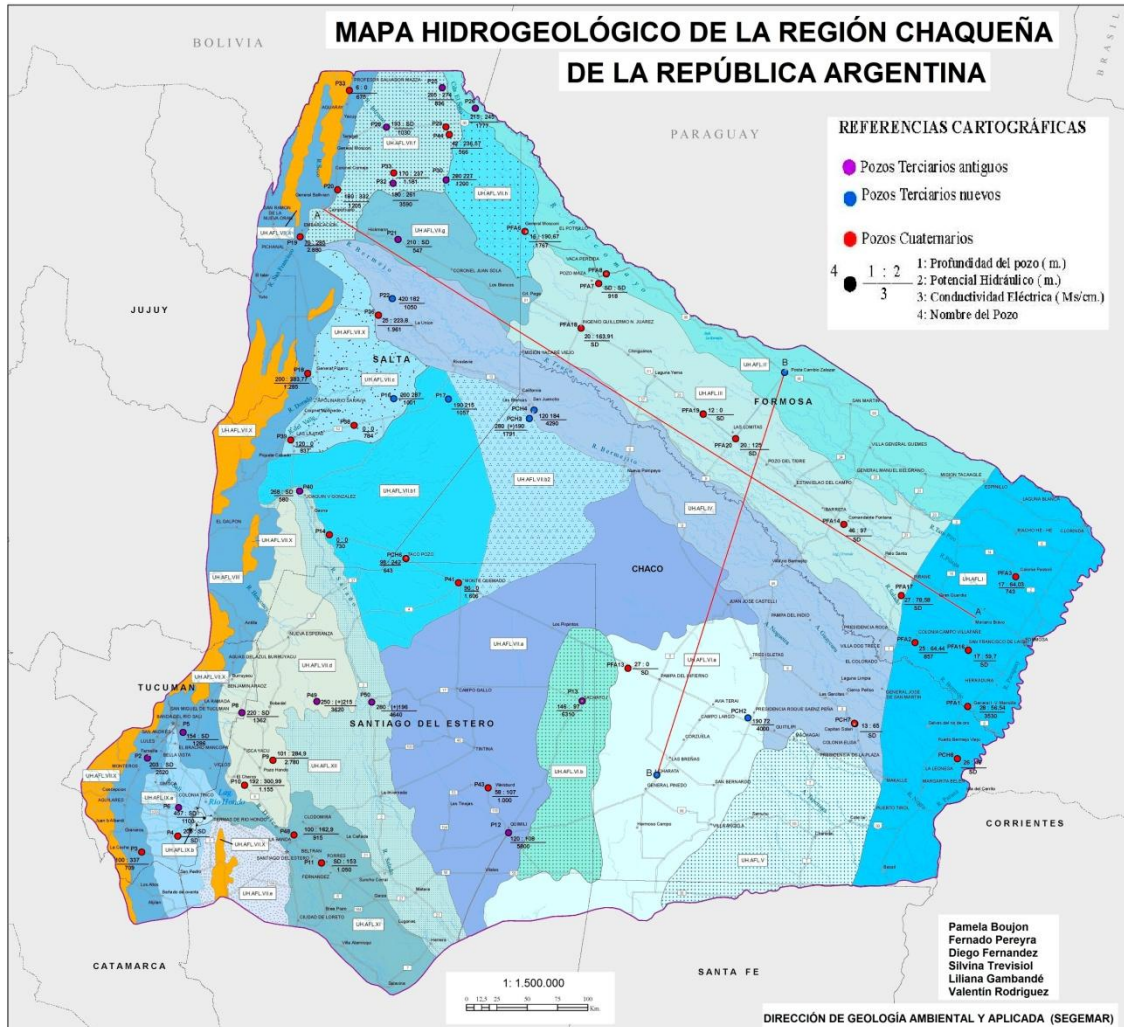


Figura N°5: Esquema del mapa Hidrogeológico y perfil hidroestratigráfico A – A’.

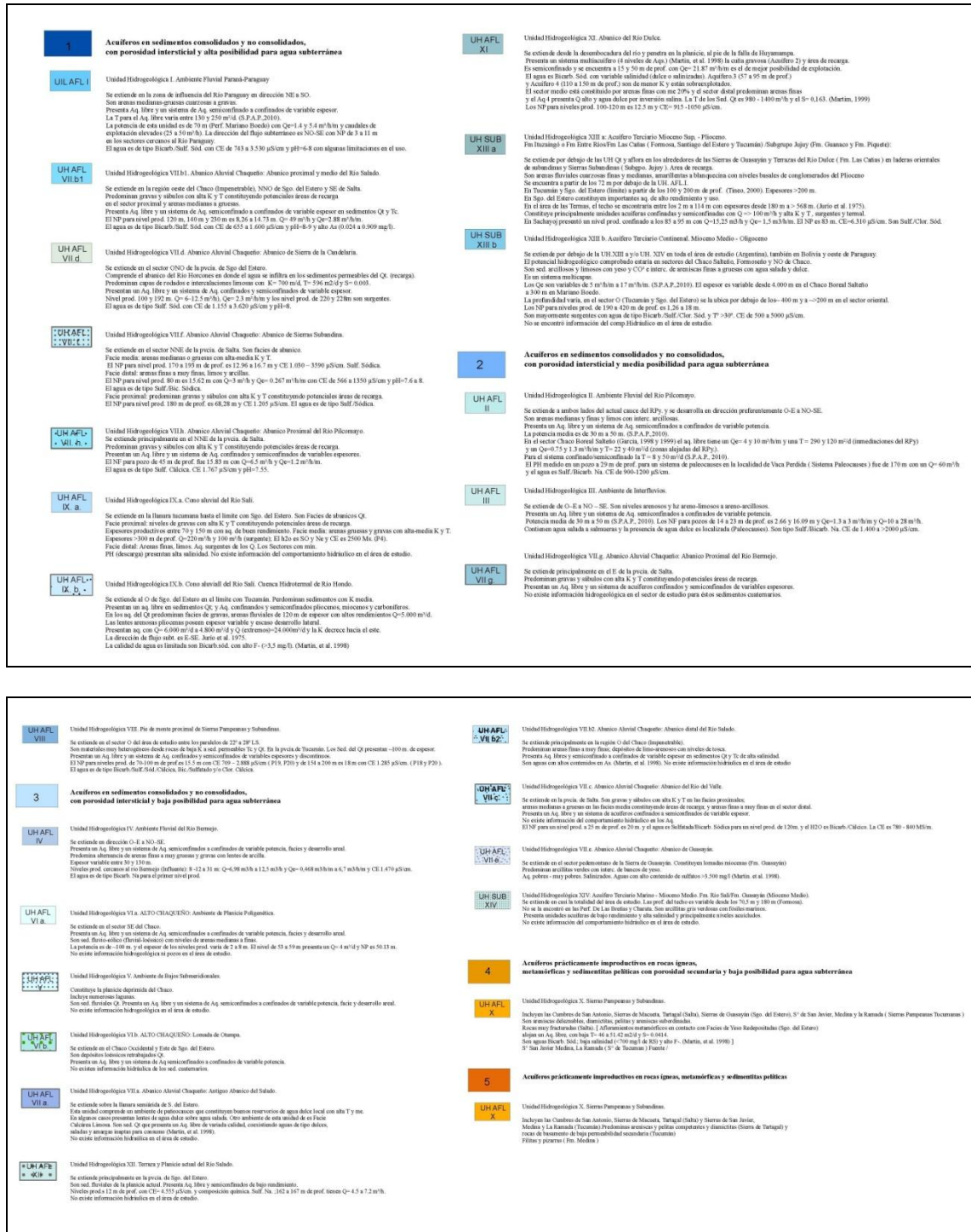


Figura N°6: Referencias del mapa hidrogeológico.