

# Sistemas de Información Geográfica aplicados a la cuenca hidrogeológica media del Río Medina, Departamento Río Chico, Provincia de Tucumán

*Nicolás Humberto Ramos<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Instituto superior de Correlación Geológica (INSUGEO), Av. Pte. Perón S/N, Horco Molle, Tucumán, Argentina.

Mail de contacto: [nicolashramos@hotmail.com](mailto:nicolashramos@hotmail.com)

---

## RESUMEN

El presente trabajo fue realizado con el fin de aplicar los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el área de la Cuenca Hidrogeológica del Río Medina, Depto. Río Chico, al Sudoeste de la Provincia de Tucumán, en la vertiente Sur-oriental de las Sierras del Aconquija, de modo de recolectar, almacenar, procesar y analizar datos hidrogeológicos geo-referenciados, para realizar un aprovechamiento integro-racional del agua subterránea.

Los trabajos se iniciaron con el análisis de los antecedentes bibliográficos del área de trabajo y se continuó con la digitalización del mapa base topográfico.

Se realizó el análisis y procesamiento de datos de campos (coordenadas, cotas, niveles, caudales y calidad de agua) para la generación de la base de datos geográfica e hidrogeológica.

El SIG Arcview 3.3 resultó ser una herramienta favorable para hidrogeología y según los buenos resultados obtenidos, se alienta su uso en futuros trabajos científicos.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, Hidrogeología, toma de decisiones, mapas analíticos y sintéticos, mapas consultas.

---

## ABSTRACT

This study was carried out to apply Geographic Information Systems (GIS) in the area of the Medina River Hydrological Basin, Río Chico department, in southwestern Tucuman, located on the southeastern slope of the Aconquija mountain range in order to collect, store, process and analyze geo-referenced hydrogeological data for an integral-rational profitability of groundwater.

The work was begun with the analysis of bibliographic records in the work area and was continued with the digitalization of the topographic base map.

We performed a analysis and processing of updated field data (coordinates, heights, levels, flow rates and water quality) for the generation of a geographical and hydrogeological data base.

The Arcview 3.3 GIS proved to be a positive tool to be used in hydrogeology, and, due to the results obtained, it fosters its use in further scientific research.

Keywords: GIS, Hydrogeology, decision making, analytical and synthetic maps, consultation maps.

---

## Introducción

El presente trabajo fue realizado con el fin de aplicar los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el área de la Cuenca Hidrogeológica del Río Medina, Departamento Río Chico, Sudoeste de la Provincia de Tucumán, vertiente Sur-oriental de las Sierras del Aconquija, de manera de recolectar, almacenar, procesar y analizar datos hidrogeológicos geo-referenciados como así también hacer posible la producción de información derivada a la aplicación de un aprovechamiento integral y racional del agua subterránea a un sector densamente poblado del Sur de la provincia. Por lo tanto, en la actualidad se hace necesario

combinar las bases de datos alfanuméricas (información de los elementos hídricos e hidrogeológicos) y gráficas (mapas temáticos con la localización de esos elementos) contemplando la exploración y preservación de este recurso.

La Cuenca hidrogeológica del Río Medina, con una superficie aproximada de 650 Km<sup>2</sup>, se ubica dentro de la cuenca hidrográfica del río Medina, con 2100 Km<sup>2</sup>, en el sector sudoeste de la provincia de Tucumán, en la vertiente sur-oriental de las Sierras del Aconquija. Hacia su tramo medio se ubica nuestra zona de estudio, definida por la ubicación de pozos de perforación extremos, entre los 27°19' y 27°31' de Latitud Sur y los 65°30' y 65°46' de Longitud

Oeste, donde se reconocen las ciudades de Aguilares y Los Sarmientos, dos de los centros urbanos más importantes del Sur de la provincia, alrededor de la cual se desarrolla una importante actividad agro-industrial que se abastece esencialmente del recurso hídrico subterráneo (Figura 1).

En estos momentos, en la era de la Tecnología de la Información y de la Comunicación (TIC), un Sistema de Información Geográfica (SIG) es a menudo el primer paso en el desarrollo de sistemas de decisión espacial para realizar un aprovechamiento integral y racional del agua subterránea y al mismo tiempo un paso previo a la confección de estudios detallados, Modelo Hidrogeológico Conceptual y Matemático, que propongan su exploración y explotación sustentable.

### Metodología de trabajo

Como primer paso, los antecedentes bibliográficos son nuestro punto de inicio de investigación para luego continuar con la digitalización del mapa base topográfico apoyado por fotografías aéreas e imágenes satelitales. El Análisis estadístico de datos de campo de organismos públicos y privados es nuestro paso siguiente para la generación de la base de datos geográfica/hidrogeológica que podrá tener su correspondiente visualización cartográfica se-

gún la confección de mapas temáticos del tipo analítico y sintético, con el fin de agilizar el manejo de estos datos.

### Antecedentes

El trabajo se inicia con la recopilación de antecedentes cartográficos y de materiales aero-fotográficos como satelitales, además de datos hidrogeológicos de la zona.

Como primera acción, se realizó en gabinete la fotointerpretación preliminar de fotografías aéreas a escala 1:20.000, confeccionadas por la Fuerza Aérea Argentina durante el lapso 1977 y 1979. A esto le siguió el procesamiento digital de una imagen satelital Landsat 5, corte geo-tif referenciada mediante sistema WGS84, a escala 1:100.000, adquirida a partir del Instituto Geográfico Nacional, ex Instituto Geográfico Militar (IGN, 2010), con la cual se procedió a su vectorización cartográfica general utilizando el software Global Mapper v.11.02 (2010).

Asimismo, a partir de los Modelos Digital de Elevación (DEM), SRTM3S28W066V1 y SRTM3S28W067V1 (Shuttle Radar Topography Mission), descargados de la página web del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2002) se procedió a la corrección de sus puntos vacíos y se configuró las curvas topográficas mediante el software PCI Geomatics v.8.2 (2011).

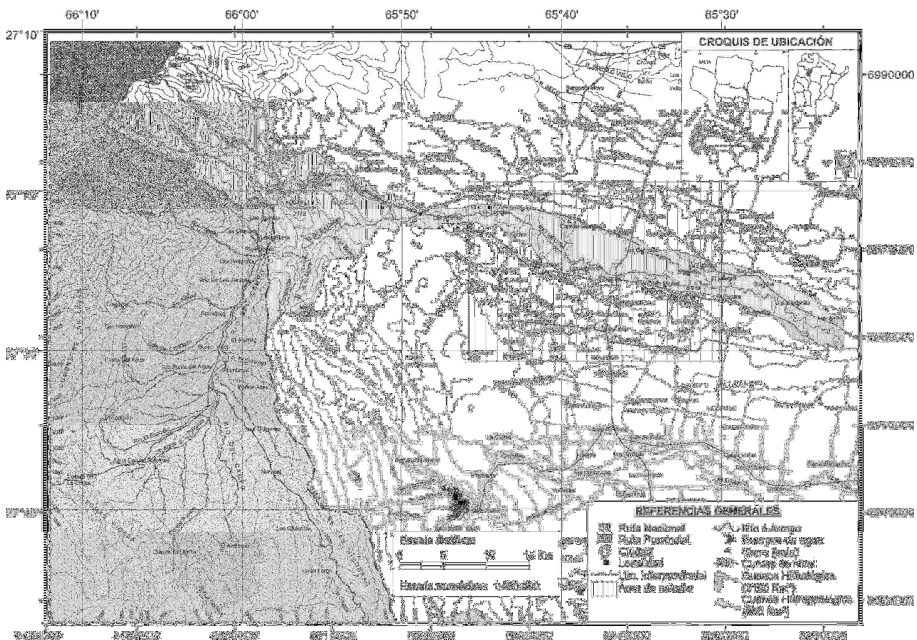


Figura 1: Mapa de ubicación y vías de acceso.

Fue menester apoyar el procesamiento e interpretación de la citada imagen satelital y DEM con imágenes satelitales consultadas online mediante el software Google Earth v.6.2.2.6613 (2012): SPOT 3 (1986) a escalas de alta definición, SPOT 5 (2012) 1:2.500 y Cia. Cobertura DigitalGlobe, CDG (2002, 05, 06, 07, 08 y 09).

Adicionalmente, para la denominación formal e informal de los accidentes geográficos, localidades y toponimias, se consultaron 2 series de ediciones de hojas topográficas históricas, editadas por el Instituto Geográfico Militar Argentino (IGM). La primera serie se remonta a mediado de la década de 1930 y se encuentra integrada por 4 hojas de escala 1:100.000 (IGM, 1935): Concepción: 27-66 B, Capillitas: 27-66 A, Villa Alberdi: 28-66 D y Andalgalá: 28-66 C. Y la segunda serie editada a fines de la década de 1940, la constituyen 3 hojas de escala 1:100.000: la hoja Nevados del Aconquija: 2766-21 (IGM, 1949) y las hojas Villa Quinteros: 2766-22 e Ingenio Santa Ana: 2766-28 (IGM, 1950). Se le suma a las antes mencionadas cartografías una serie de edición más moderna, compilada y editada también por el IGM hacia la segunda mitad de la década de 1980, la cual se encuentra constituida por 2 hojas de escala 1:250.000: La hoja topográfica Concepción, 2766-IV (IGM, 1986) y Belén, 2766-III, (IGM,1987).

### **Digitalización de Mapa base topográfico**

A continuación se procede a la digitalización topográfica con el programa ArcView SIG 3.3 (2002) de modo de crear los ficheros shapes o temas correspondientes a cada capa de nuestro mapa base topográfico. La geometría para estos elementos es almacenada como una forma que comprende un conjunto de coordenadas de vectores (punto, línea o arco, polígono o área) a través de 3 ficheros que ArcView crea para un fichero shape: \*.shp almacena la geometría del elemento (información sobre la forma y la localización), \*.shx almacena el índice de la geometría del elemento (datos generados automáticamente con la extensión anterior) y \*.dbf almacena la información de los atributos de elementos (fichero o tabla de data base). Esto nos permite la representación de las capas topográficas, hidrografía, caminos, localidades y toponimias (Figura 1).

### **Análisis y procesamiento de datos estadísticos**

La información de uso del suelo (IGN, 2012) y los datos hidrogeológicos de pozos, perforados entre los periodos 1914 y 2007, obtenidos de

los archivos del Departamento de Perforaciones de la Dirección Provincial del Agua (DPA, 2007) y de empresas privadas (SAT, 2007), coordenadas (x-y en grado, min, seg), cotas (Z en msnm), profundidades (en mbbp), niveles estáticos (NE en -m), caudales (Q en m<sup>3</sup>/h), fueron actualizados con mediciones de campo y sumados a los datos históricos de calidad físico-química del agua (para bebida, riego y/o industria), se analizaron y procesaron en una planilla Excel (\*.xls) y luego fueron exportados en formato \*.dbf o \*.txt para ser relacionados con la tabla de los atributos de los pozos incorporados en el sistema.

### **Generación de Base de datos Geográfica-Hidrogeológica**

De esta manera creamos una base de datos con información Geográfica e Hidrogeológica para cada capa con sus datos espaciales y atributos, los cuales están ligados entre sí a través de un identificador común (id) que permiten relacionar tales capas. Esto nos permitió confeccionar un análisis geográfico e hidrogeológico a través de la adecuada relación de capas y un conveniente manejo de los datos mediante consultas que apoyan la toma de decisiones. La base de datos del sistema, se encuentra constituida por un universo de 82 pozos espacialmente ubicados. Los pozos números 1 (Alpachiri), 8 (La Trinidad) y 53 (Colonia 6 de Santa Ana) constituyen las ubicaciones más extremas y configuran la mencionada área de trabajo.

### **Visualización Cartográfica**

Las variables analizadas y procesadas anteriormente permitieron la confección de mapas temáticos de dos tipos, a saber:

#### **Mapas Analíticos**

Representan la distribución de una o más variables cuanti-cualitativa directamente observadas (mediante trabajo de campo, sensores remotos o foto-interpretación) y que suelen requerir de un previo procesamiento. En nuestro caso, ingresando en Arcview 3.3 los datos hidrogeológicos cuantitativos aportados por la DPA y empresas privadas, (niveles estáticos, caudales, actualizados "in situ") y datos históricos de calidad de agua, se obtuvieron diferentes mapas analíticos.

El mapa de Isopleas y de líneas de flujos tuvo lugar a partir de la selección de pozos de 100 a 200 mbbp, perforados entre 1990 y el 2007. Las variables Isopiezas (Niveles Estáticos del agua en el pozo) se confeccionaron mediante la opción para crear contornos, método spline (función polinómica suavizada), con contornos

de 25 m de separación, tipo tensión y con un peso de 4 y 18 puntos involucrados. En consecuencia el sistema permite graficar transversalmente a las isopiezas las líneas de flujos (dirección, sentido y velocidad del movimiento del agua). Se ilustra así el principio básico de todo modelo hidrogeológico cuanti/cualitativo, con el que se demuestra el dinamismo del agua subterránea y se identifica la zona de recarga, conducción y descarga.

Los mapas de las Figuras 2 a 5 fueron elaborados utilizando la opción de interpolación, método IDW (inverse distance weighting, peso en función inversa a la distancia) y responden directamente a las variables que le dan su nombre.

También se generó un mapa de años de construcción de pozos y del tipo de acuíferos captados (surgente o semi-surgente). Ello se complementó con el uso de suelos, editado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2012), y con las áreas de influencias del Río Medina y de las rutas principales que surcan el área de estudio, las cuales se elaboraron mediante la opción "buffers" de nuestro SIG y constituyen un importante motor de cruce entre variables.

### Mapas Sintéticos

Surgen de integrar gran parte de la información anterior a modelos y experiencias subjetivas, pues resultan de generalizaciones basadas en

datos empíricos dependiente de la elección de las variables y de los modelos conceptuales a los que se adhiere el investigador. En esta primera etapa del proyecto, con la base SIG cartográfica, topográfica, hidrográfica, uso del suelo e isopiezas, se elaboró un mapa preliminar de síntesis hidrogeológica basado en Ramos, 2007 (Figura 6).

### Manejo de los datos

En este punto, el SIG se transforma en una importante herramienta para el apoyo de las decisiones. Es así que agrupando las áreas de influencias de los diferentes atributos (profundidades, caudales de pozos, tipo de acuífero captado, estado de la perforación, análisis y uso del agua, ríos, rutas, etc.) y éstas a la vez unidas a otros temas (usos de suelos, Isopletras, Flujos, hidrogeológico, etc.) pueden realizarse determinadas consultas vinculadas a esos atributos y temas. Se constituyó así otro mapa sintético al que optamos por llamarlo "Mapa de Consulta integral", el cual resume y agrupa determinadas condiciones según el abastecimiento u objetivo requerido.

### Resultados obtenidos

Se establece entonces que el SIG a través de nuestro *Mapa Consulta integral*, puede responder preguntas simples que pueden a-complejarse cuanto más variables involucremos:

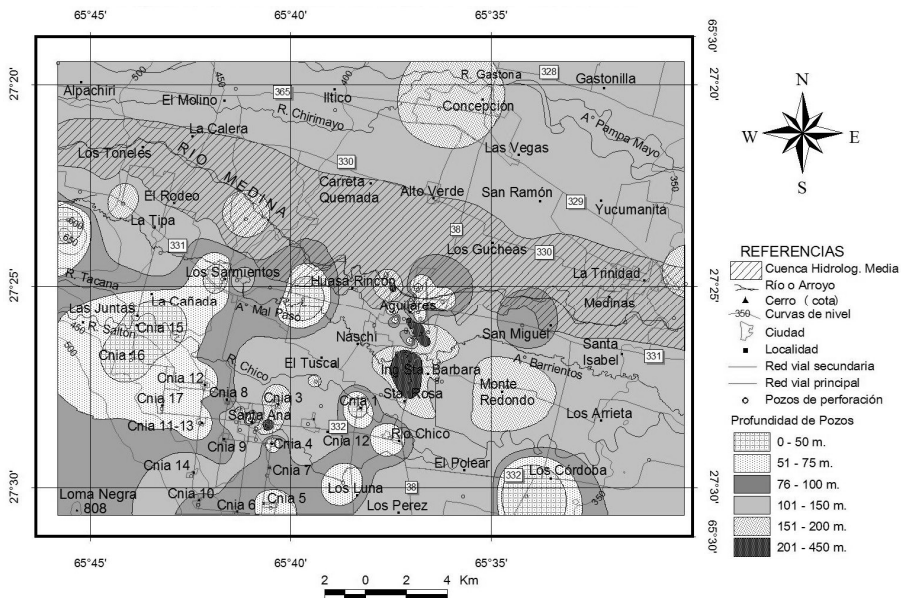


Figura 2: Mapa de profundidades de pozos.

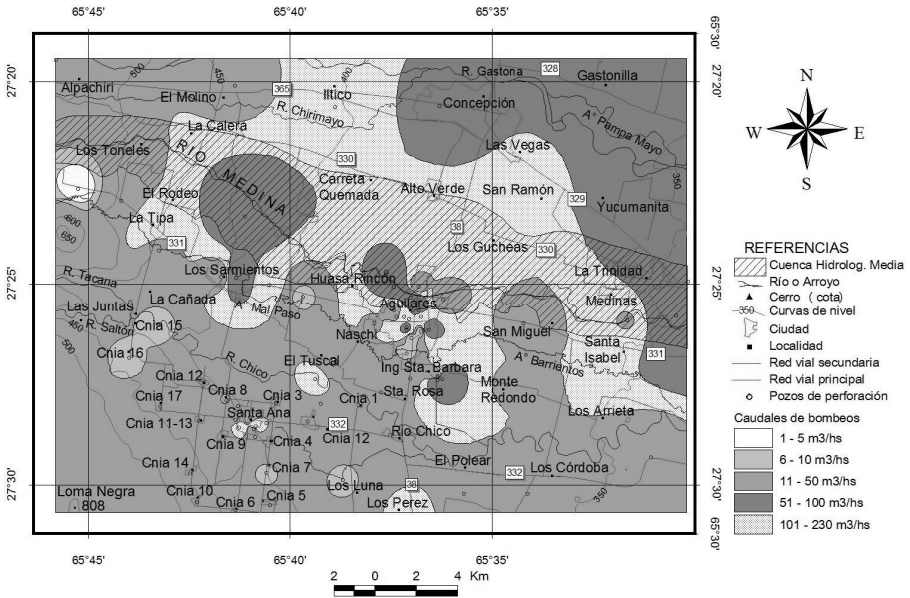


Figura 3: Mapa de caudales de bombeo.

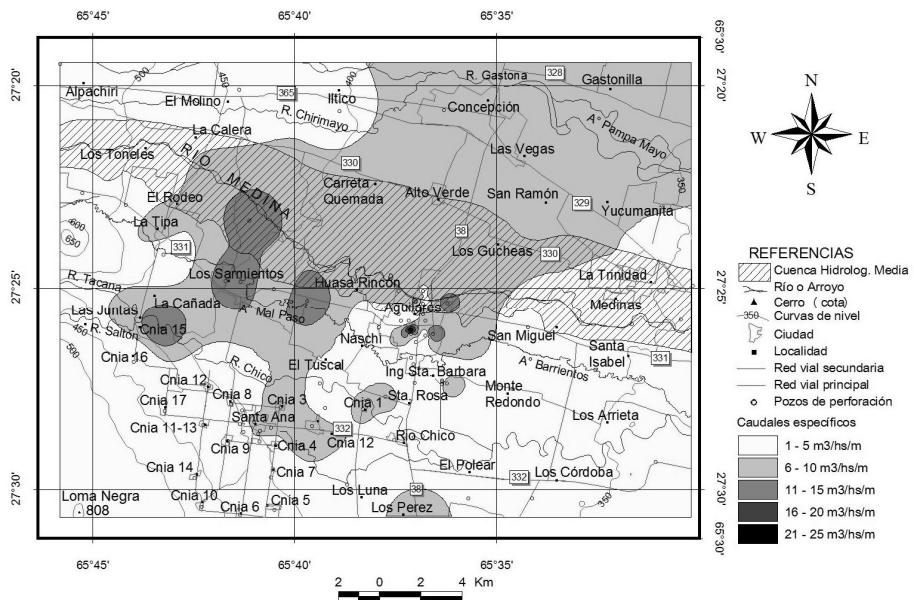


Figura 4: Mapa de caudales específicos.

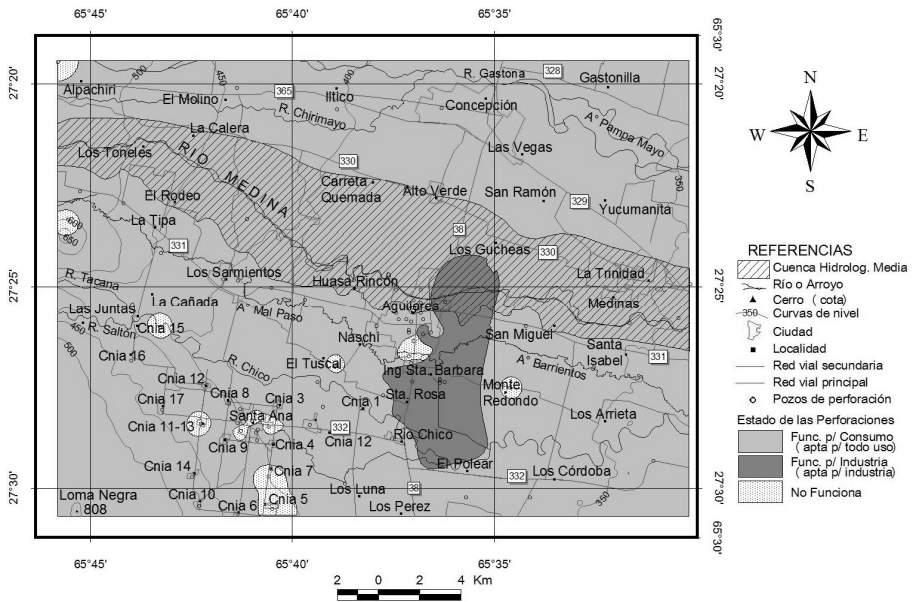


Figura 5: Mapa de estado de las perforaciones, calidad y uso del agua.

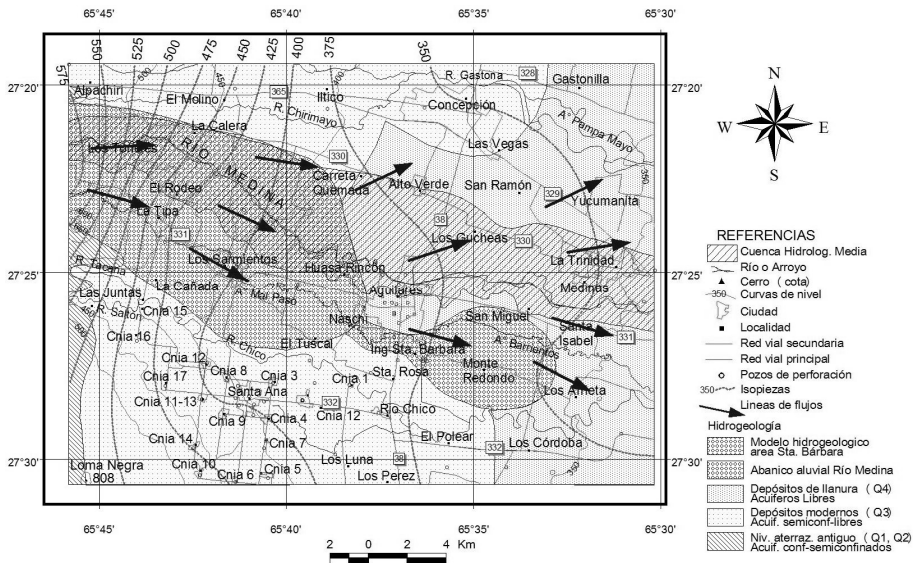


Figura 6: Mapa Hidrogeológico de la cuenca media del río Medina.

**¿Dónde se encuentra la zona de Recarga, Conducción y Descarga del agua subterránea?**

De acuerdo a los antecedentes hidrogeológicos descriptos por Ramos (2007) y observando nuestro mapa de isopleta y flujo, la recarga de la cuenca hidrogeológica del río Medina se produce través de las elevadas precipitaciones del piedemonte de las Sierras del Aconquija, en la zona de Monte Bello-Villa Lola, a partir de donde se encuentran sedimentos modernos de elevada porosidad y permeabilidad. La descarga del abanico se ubica entre la localidad de Los Sarmientos y Los Ríos, al Oeste de la ciudad de Aguilares (Fig. 6).

**¿Dónde se encuentran los pozos con profundidades de 50 a 150 metros bajo boca de pozo (mbbp.) y rendimientos medios de 5 a 15 m<sup>3</sup>/hs/m?**

Los pozos con profundidades de 50 a 150 mbbp. y caudales específicos muy buenos de 5 a 15 m<sup>3</sup>/hs/m se explotan dentro del área a la que Tineo et. al. (2002) y Ramos (2007) se refieren como abanico aluvial y acuíferos semi-confinados, en la zona de conducción y descarga, llegándose a presentar niveles de surgencia natural en esta última zona. Asimismo estas características se ven también representadas al noroeste del citado abanico y en formas aisladas en el área de Santa Ana.

**¿Dónde se encuentran los pozos con profundidades superiores a 150 mbbp. y rendimientos medios inferiores a 5 m<sup>3</sup>/hs/m?**

Según nuestra base de datos, los pozos con profundidades superiores a 150 mbbp. con caudales específicos inferiores a 5 m<sup>3</sup>/hs/m se explotan fuera del abanico aluvial del río Medina de Ramos op. cit., destacándose el sector sur de la ciudad de Aguilares y el área de Santa Bárbara y Monte Redondo, donde el rendimiento de estos pozos es más inferior que en el abanico aluvial., aunque algunos llegan a poseer niveles de surgencia natural por confinamiento y temperaturas del orden de los 30° C.

**¿Dónde se encuentran los pozos semi-surgentes perforados después de 1990, con profundidades mayores a 100 mbbp, caudales medios superiores a 10 m<sup>3</sup>/hs/m y a menos de 600 m. de una ruta principal?**

Nuestro SIG apunta directamente a la zona de conducción, al norte de la localidad de Los Sarmientos, donde aislados pozos responden a tales condiciones.

**¿Dónde sería más recomendable perforar un pozo a menos de 75 mbbp. para pequeños productores agrícolas, cuyo caudal ronde los 30 m<sup>3</sup>/hs y la calidad físico-química sea apta para riego?**

EL Sistema responde que estas condiciones se encuentran alrededor de la localidad de los Ríos, La Cañada, Colonia 1, 4, 12 y 17 de Santa Ana, Oeste de Los Sarmientos y asiladas área de llanura como en Río Chico y Los Córdoba, donde los campos de cultivos se encuentran dispersos en toda su geografía.

**¿Cuál es la calidad físico-química de las aguas alrededor de la ciudad de Aguilares?  
¿Cuál puede ser utilidad?**

La calidad físico-química de las aguas subterráneas alrededor de Aguilares es en general buena, tanto para bebida, riego como para la industria, especialmente en el acuífero semi-confinado (al Este) y en los acuíferos confinados (al Norte, Sur y Oeste). Salvo el acuífero libre, suele estar contaminado química y bacteriológicamente, especialmente cerca de los centros urbanos.

**Conclusiones**

Los SIG permiten planificar, aprovechar e incorporar información geo-referenciada básica en la Hidrogeología como en otras disciplinas, facilitando el manejo eficiente de la información gráfica. La velocidad, consistencia, precisión y calidad gráfica con la que operan son verdaderamente impresionantes.

El SIG Arcview 3.3 se comportó de forma satisfactoria en la escala regional de este trabajo. Los resultados obtenidos son muy auspiciosos teniendo en cuenta que es la primera vez que empleamos dicho sistema con datos reales de una cuenca del sur de la provincia de Tucumán.

En etapas posteriores se deberá evaluar su funcionalidad y compatibilidad con programas de modelamiento Hidrogeológico, que orientados al diseño gráfico tridimensional, nos permitirá incorporar otros atributos que varían en profundidad (litología, niveles porosos y permeables, Sondeos Eléctricos Verticales, tipos de acuíferos, entre otros) para cada tabla de pozo del SIG. Una cuarta dimensión, el tiempo, nos permitirá evaluar su comportamiento predictivo frente a otras variables como la reserva y la explotación más recomendada para el acuífero.

## Referencias

- ArcView GIS 3.3. 2002. Geographic Information System (GIS) Software, version 3.3, India. Curso "Los SIG y su aplicación a la cartografía temática". Resol. Nº 887-126-08. 21-31 de Ago. 2012. Organizado por el Instituto de Estudios Geográficos "Guillermo Rohemeder" y dictado por la Dra. Claudia Margarita Hernández. Fac. Filosofía y Letras-UNT.
- D.P.A. 2007. Archivo de perforaciones del Departamento Río Chico. Departamento de Perforaciones, Dirección Provincial del Agua (inédito). Tucumán.
- F.A.A. 1977-1979. Fotografías aéreas, Vuelo Azúcar, esc. 1:20.000. Fuerza Aérea Argentina. Cuarta Brigada Aérea. Paraná.
- Global Mapper. 2010. Geographic Information System (GIS) Free Software, version 11.02, USA, [www.globalmapper.com](http://www.globalmapper.com).
- Google Earth. 2012. *Satellite Images and Digital Elevation Models (DEM) of the world: SPOT (1986) a escala 1:100.000, SPOT 5 (2012) 1:2.500 y Cia. Cobertura DigitalGlobe, CDG (2002, 05, 06, 07, 08 y 09). Free Software, version 6.2.2.6613, USA, [www.google.com.ar/intl/es/earth/index.html](http://www.google.com.ar/intl/es/earth/index.html).*
- I.G.M. 1935a. *Carta Topográfica, Concepción, Hoja 27-66 B, escala 1:100.000*, Instituto Geográfico Militar. Levantamiento y compilación 1934. Edición 1935. Bs. As.
- I.G.M. 1935b. *Carta Topográfica, Capillitas, Hoja 27-66 A, escala 1:100.000*, Instituto Geográfico Militar. Lev. y compilación 1934. Edición 1935. Buenos Aires.
- I.G.M. 1935c. *Carta Topográfica, Villa Alberdi, Hoja 28-66 D, escala 1:100.000*, Instituto Geográfico Militar. Lev. y compilación 1934. Edición 1935. Buenos Aires.
- I.G.M. 1935d. *Carta Topográfica, Andalgalá, Hoja 28-66 C, escala 1:100.000*, Instituto Geográfico Militar. Lev y compilación 1934. Edición 1935. Buenos Aires.
- I.G.M. 1949. *Carta Topográfica, Nevados del Aconquija, Hoja 2766-21, escala 1:100.000*, Instituto Geográfico Militar. Lev y compilación 1934. Edición 1949. Buenos Aires.
- I.G.M. 1950a. *Carta Topográfica, Villa Quinteros, Hoja 2766-22, escala 1:100.000*, Instituto Geográfico Militar. Lev. y compilación 1934. 1ra edición Abril de 1950. Buenos Aires.
- I.G.M. 1950b. *Carta Topográfica, Ingenio Santa Ana, Hoja 2766-28, escala 1:100.000*, Instituto Geográfico Militar. Levantada en 1934. 1ra edición Diciembre de 1950. Buenos Aires.
- I.G.M. 1986. *Carta Topográfica, Concepción, Hoja 2766-IV, escala 1:250.000*, Instituto Geográfico Militar. Compilación 1985 y edición 1986. Buenos Aires.
- I.G.M. 1987. *Carta Topográfica, Belén, Hoja 2766-III, escala 1:250.000*, Instituto Geográfico Militar. Compilación 1986 y edición 1987. Buenos Aires.
- I.G.N. 2010. *Imagen satelital Landsat 5 TM, corte digital geo-tif referenciada, latitud 27°03'00,18"-27°46'58.91" y longitud 65°13 00.11"-66°12' 02.60"*. 3 bandas del visible, escala 1:100.000, pix: 25x25 m, Instituto Geográfico Nacional. Edición 2010. Bs. As.
- I.G.N. 2012. *Coberturas SIG-250 del Suelo, Instituto Geográfico Nacional*. Sistema de Información Geográfica de la República Argentina, escala 1:250.000. Coberturas vectoriales en formato shapefile. Ed. 2012. Buenos Aires. [www.ign.gob.ar/sig250](http://www.ign.gob.ar/sig250).
- PCI Geomatics. 2012. *Geographic Information System (GIS) Software, trial version 8.2*, Canadá. [www.pcigeomatics.com](http://www.pcigeomatics.com).
- Ramos, N. 2007. Hidrogeología del Abanico Aluvial del Río Medina, Departamento Río Chico, Provincia de Tucumán. Seminario de grado, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Univ.Nac.Tucumán. (inédito), 238 p., Tucumán.
- S.A.T. 2007. Archivo de perforaciones del Departamento Río Chico. Departamentos Obras y Planeamiento, Sociedad Aguas del Tucumán. Ex "Dirección Provincial de Obra Sanitarias ("D.I.P.O.S") (inédito), Agencia Aguilares, Tucumán.
- Tineo, A.; Falcón, C.; García, J. W.; D'Urso, C. y Rodríguez, G. 2002. Alternativas para el abastecimiento urbano de agua: pozos diseminados o campo de pozos. Actas XXXII° International Association of Hydrogeologist Congreso (AIH) y VI° Congreso de la Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo/ALHSUD. Aguas Subterráneas y Desarrollo Humano. Mar del Plata, Bs. As.
- USGS. 2002. *Digital Elevation Models (DEM), Shuttle Radar Topography Mission: SRTM3S28W066V1 y SRTM3S28W067V1*. Elevation data in raster format, resolution: 3 arc-second (90 m), United States Geological Survey, <http://earthexplorer.usgs.gov>.