

Tercer Encuentro de Jóvenes Investigadores - San Juan, Octubre de 2014.

III Encuentro de Jóvenes Investigadores "*Jóvenes investigadores, por una ciencia con compromiso social*"

**HERRAMIENTAS DE INTERPOLACIÓN COMO BASE DE CONSULTAS
HIDROGEOLOGICAS EN LA CUENCA MEDIA DEL RIO MEDINA,
DEPARTAMENTO RÍO CHICO, PROVINCIA DE TUCUMÁN**

Estudios de la Tierra y el Espacio, Cambio Climáticos y Naturales. Catástrofes

Naturales

Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO)

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se propone la aplicación de herramientas de interpolación en la Cuenca Hidrogeológica Media del río Medina, Departamento Río Chico, Sudoeste de la Provincia de Tucumán, vertiente Sur-oriental de las Sierras del Aconquija, mediante Sistemas de Información Geográficas (SIG), con el objeto de aplicar los principales lineamientos empíricos de los métodos de interpolación propuestos por Ramos (2014) y diseñar mapas de consultas hidrogeológicas que permitan dar respuestas al planteo de variadas hipótesis según el objetivo requerido.

Actualmente el mundo SIG puede ser utilizado como una novedosa herramienta de gestión en materia de recurso hídrico por lo que una rápida y correcta interpretación de datos mediante mapas temáticos es fundamental para dar un enfoque sustentable a la exploración y explotación de este recurso.

Nuestra zona de estudio corresponde al tamo medio de la Cuenca hidrogeológica del Río Medina (650 Km²), la cual se ubicada dentro de la cuenca hidrográfica del río Medina (2100 Km²) y se encuentra definida por pozos de perforación extremos, entre los 27°19' y 27°31' de Latitud Sur y los 65°30' y 65°46' de Longitud Oeste, en el sector sudoeste de la provincia de Tucumán, vertiente sur-oriental de las Sierras del Aconquija (**Figura 1**).

La existencia de importantes nucleamientos urbanos en el sur de la provincia, abastecidos esencialmente del recurso hídrico subterráneo, tales como Aguilares, Los Sarmientos, Santa Ana, entre otros, hace que se requieran y se manejen métodos de interpolación cada vez más eficientes y rápidos para el diseños de mapas temáticos dado la enorme cantidad de datos alfanuméricos (información de elementos hídricos e hidrogeológicos) que conforman las bases de datos y que esperan ser interpretados gráficamente.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Antecedentes

En primera medida se reconsideró el mapa base topográfico de Ramos (2014), producto de la digitalización cartográfica de una imagen satelital Landsat 5 geo- referenciada, a escala 1:100.000, (IGN, 2010) y de la interpolación de contornos topográficos 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), utilizando el programa ArcView SIG 3.3 (2002).

Digitalización cartográfica

A modo de completar y actualizar la base cartográfica de Concepción, 2766-IV (IGM, 1986), considerada por Ramos (2014), fue necesario consultar varias series de ediciones de hojas topográficas históricas, editadas por el Instituto Geográfico Militar Argentino (IGM) además de apoyar el procesamiento e interpretación de la citada imagen satelital y DEM con fotografías aéreas e imágenes satelitales online.

Entre las hojas topográficas consideradas se destacan las Hojas de escala 1:100.000, IGM (1935): Concepción: 27-66 B, Capillitas: 27-66 A, Villa Alberdi: 28-66 D, Andalgalá: 28-66 C e IGM (1950): Nevados del Aconquija: 2766-21 (IGM, 1949), Villa Quinteros: 2766-22 e Ingenio Santa Ana: 2766-28. A ello se adicionó la Hoja de escala 1:250.000, Belén: 2766-III (IGM, 1987), con la que se completó la denominación de los accidentes geográficos, localidades y toponimias de la zona.

Las fotografías aéreas editadas por la Fuerza Aérea Argentina desde 1977 a 1979 a escala 1:20.000 (FAA, 1977-1979) y la corrección de los puntos vacíos de la DEM

mediante el software PCI Geomatics v.8.2 (2011) sirvieron como primera base del procesamiento e interpretación digital. En tanto que las 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) permitieron incorporar nuevos elementos espaciales utilizando el programa Global Mapper

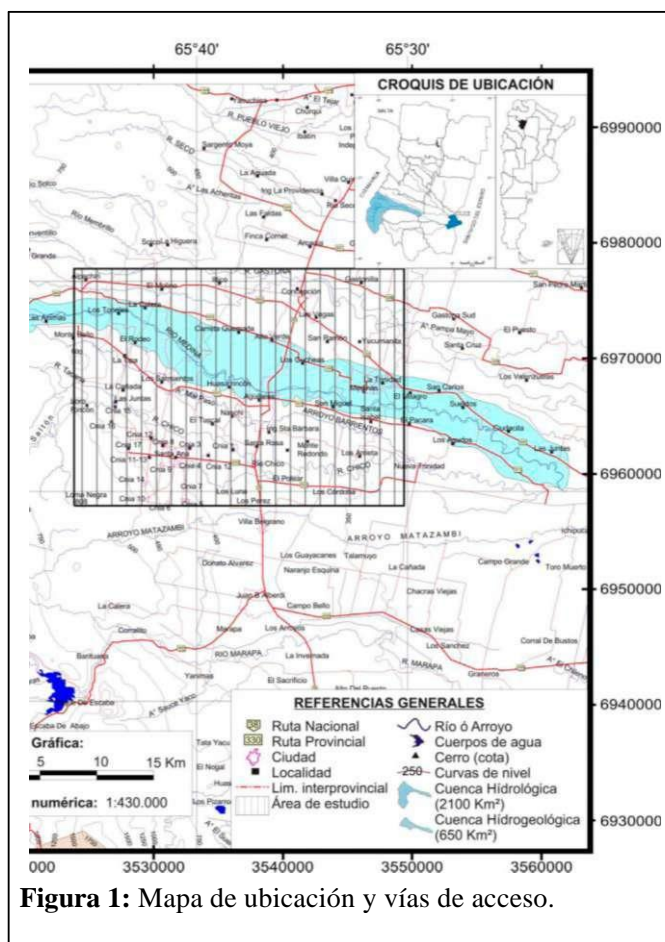


Figura 1: Mapa de ubicación y vías de acceso.

la distancia) y Spline (función polinómica suavizada).

Comportamiento analítico:

En el método IDW el valor del punto problema se estima asignando pesos a los datos del entorno en función inversa de la distancia que los separa del punto problema. Se establece, por lo tanto, que los puntos más cercanos tienen un peso mayor en el cálculo, siendo la relación no necesariamente lineal (Felisísimo, 2012).

La fórmula general de la interpolación en función inversa de la distancia es:

Dónde z_j es el valor estimado para el punto j ; n es el número de

$$\hat{z}_j = \sum_{i=1}^n k_{ij} \cdot z_i$$
 puntos usados en la interpolación; z_i es el valor en el punto i -ésimo y k_{ij} es el peso asociado al dato i en el cálculo del nodo j . Los pesos k varían entre 0 y 1 para cada dato y la suma total de ellos es la unidad. En la

Figura 3 los puntos más distantes son descartados (Felisísimo, op. cit.).

El Método Spline hace referencia a una amplia clase de funciones utilizadas en la interpolación de datos, o un suavizado de curvas mediante polinomios de bajo grado.

Para el ajuste de curvas, los splines se utilizan para aproximar formas complicadas.

Los splines son utilizados para trabajar tanto en una como en varias dimensiones y permiten interpolar una función $f(x)$ de la cual se dan un número N de pares $(x, f(x))$

por los que tendrá que pasar la función polinómica $P(x)$ (Colaboradores de Wikipedia, 2013). Arcview 3.3 utiliza la versión en una y dos dimensiones

polinomial, conocidas respectivamente como **Interpolación Segmentaria Lineal**

(función polinómica de primer grado de la forma $P(x) = ax + b$) e **Interpolación**

Segmentaria Cuadrática (función polinómica de segundo grado de la forma $P(x) =$

$ax^2 + bx + c$). En la **Figura 4** (Apaza, 2013) se muestra la curva que como spline

cuadrática, contiene determinados puntos de coordenadas

Figura 3: Localización de datos para la interpolación mediante un radio de búsqueda.

Figura 4: Interpolación de coordenadas (x,y) mediante función polinómica

Comportamiento empírico:

De acuerdo a la experiencia y observación de Ramos (2014) con la aplicación del

Método de interpolación IDW (Tabla 1) y Spline (Tabla 2) en la Variable

Tabla 1. Método IDW. Nro. de poli-línea para diferentes condiciones de N (Vecinos) y P (Fuerza).

Método IDW (contorno de 25 m)		N° Nearest Neighbors (N)			
		6	12	18	24
Power (P)	1	21	23	24	25
	2	18	23	19	18
	6	18	19	19	19
	12	19	19	19	19

Isopiezas, el comportamiento empírico puede resumirse en la obtención de gráficos de menor complejidad con el incremento del número de Vecinos cercanos (para IDW), Peso y Puntos (para Spline).

La **Tabla 1** resalta que para 12 vecinos cercanos, una fuerza de 2 y con contornos de 25 m de separación, se obtienen 23 poli-líneas de contornos con sus correspondientes códigos id de identificación en Arcview 3.3.

Tabla 2. Método Spline con contornos de 25 m. Curvas para pesos y puntos.

Método Spline (contorno de 25 m)	Tipo Regulariz	Weight				Tipo Tensión	Weight			
		0.1	1	4	10		0.1	1	4	10
N° Points	1	25	36	42	40	1	14	13	11	11
	6	25	32	29	24	6	14	12	12	10
	12	29	30	25	24	12	14	13	13	12
	18	28	27	22	20	18	13	13	12	11
	24	28	27	22	20	24	13	12	12	11

La **Tabla 2** permite la expresión analítica de curvas para pesos y puntos respectivos y en ella se resalta que para $P = 12$ y $W = 0.1$, con contornos de 25 m de separación y cálculo del tipo Regularizado, se obtienen 29 poli-líneas de contornos con sus respectivos códigos id de identificación en Arcview 3.3.

Las observaciones gráficas de las isopiezas en Ramos (2014) permitieron entender el comportamiento de las curvas frente a la modificación de las variables, mediante los métodos de contorno IDW y Spline aplicados. Así, queda expuesta otra forma de expresar los resultados de dichas observaciones:

Método IDW (16 gráficos observados) - Curvas para Fuerza (P) iguales: en

general, manteniendo P, con el incremento de N, aumenta la cantidad de curvas y disminuye la separación y aberturas de las curvas. Gráfico de mayor complejidad. La inversa ocurre para $P=2$ (**Fig. 5**) y manteniendo N, con el incremento de P (**Fig. 6**).

Figura 5: Curvas por magnitud de fuerza.

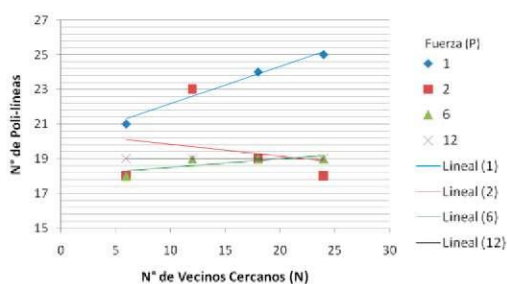
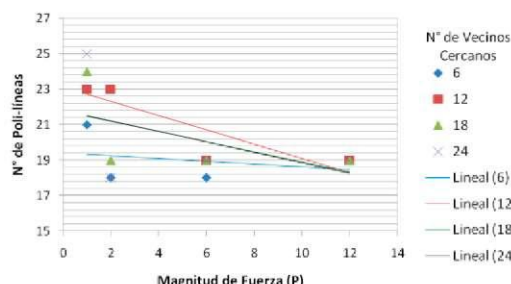


Figura 6: Poli-líneas para vecinos cercanos.



Método de interpolación Spline (40 gráficos observados) - Curvas para Pesos (W) iguales:

en general, manteniendo W, con el incremento de P, disminuye la cantidad de curvas y por lo tanto aumenta la separación y cierre de las curvas. Grafico de menor complejidad. La inversa ocurre solo para W=0.1 regularizado y para W=4 y W=10 con tensión (Figura 7 y 8). Análogo comportamiento tienen las curvas manteniendo P e incremento de W (Figura 9 y 10).

Fig. 7: Curvas regularizadas para Pesos.

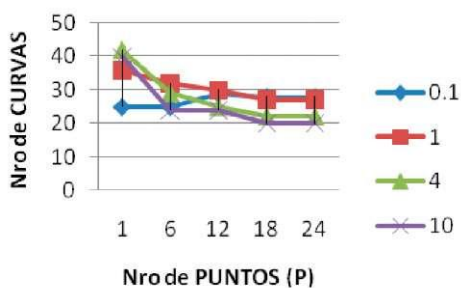


Fig. 8: Curvas para Pesos con tensión.

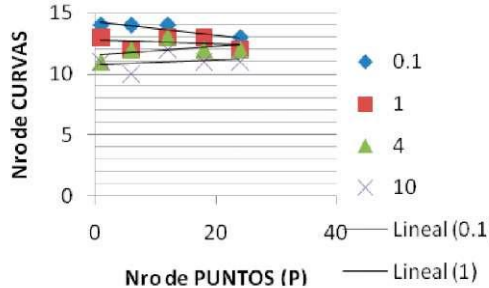


Fig. 9: Curvas para Puntos regularizados.

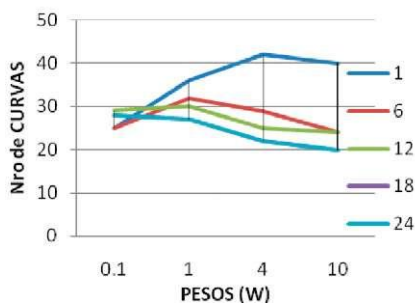
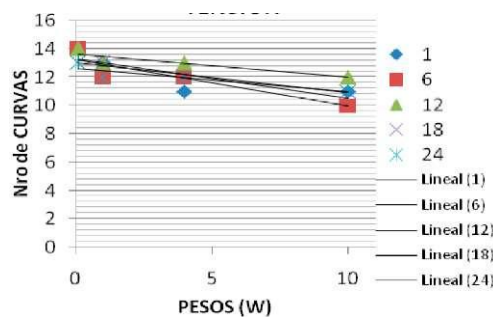


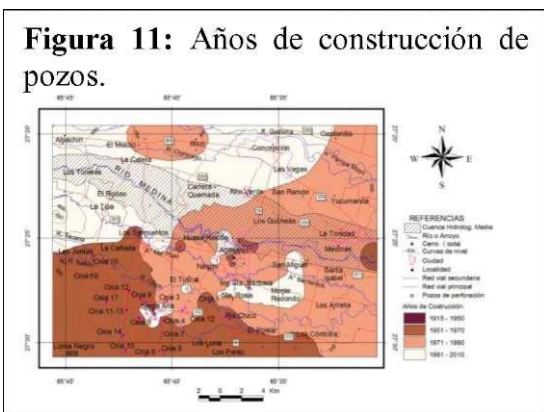
Fig. 10: Curvas para Puntos con tensión.



RESULTADOS:

Así como se optó por el método Spline (tipo tensión) para el diseño de isopiezas y el de IDW para los mapas de profundidades, caudales de bombeo, estado de las perforaciones, calidad y uso del agua (en Ramos, 2014); el método IDW se consideró más eficiente para el diseño de otros mapas temáticos en este trabajo.

Entre los mapas temáticos, tipos analíticos, se exponen los mapas de Años de construcción de pozos (Figura 11), caudales específicos (Fig. 12), tipos de acuíferos captados (Fig. 13). La Tabla 3 resume los parámetros "fuerza" y "vecinos cercanos" asignados a estas figuras.



Estos mapas analíticos fueron

Figura 12: Mapa de caudales específicos.

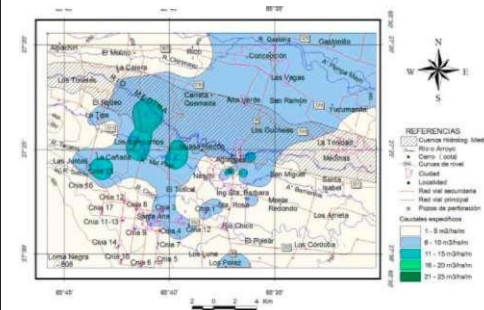


Figura 13: Tipo de acuíferos captados.

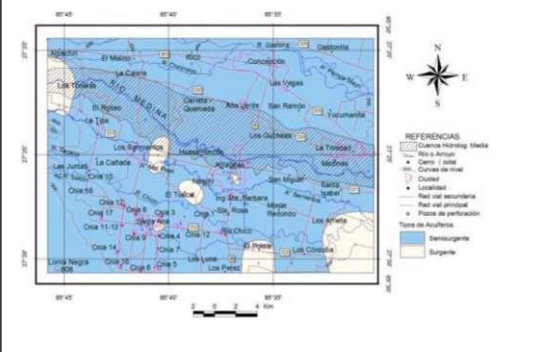
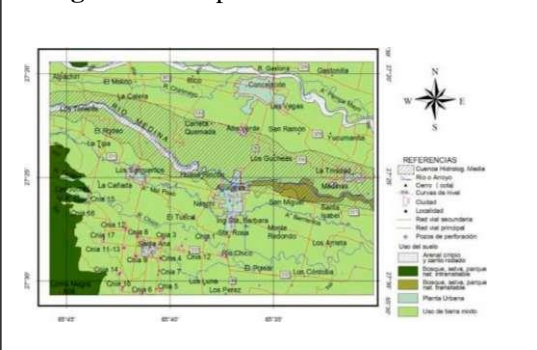


Tabla 3. Parámetros Fuerza y Vecinos cercanos por figura.

Figura	Fuerza	Vecinos cercanos
11	2	5
12	3	18
13	4	20

complementados con el uso de suelos (Fig. 14), 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 (Fig. 15 y 16), las cuales se elaboraron mediante la opción "buffers" de nuestro SIG y constituyen un importante motor de cruce entre variables.

Figura 14: Mapa de usos de suelo.



Los mapas temáticos, tipos sintéticos se confeccionaron en dos etapas. La primera fue realizada en el trabajo de Ramos (2014), donde se muestra un mapa preliminar de síntesis hidrogeológica, integrando la Geología y el comportamiento hidrogeológico de la zona con la base SIG cartográfica, topográfica, hidrográfica, uso del suelo e isopiezas y un mapa de consulta general, donde se agruparon las áreas de influencias

de las profundidades de pozos, caudales, estado de la perforación, análisis y uso del agua (Fig. 17). Como segunda etapa, en este trabajo se le adicionaron al mencionado mapa de consulta, los años de construcción de pozos, caudales específicos, tipos de acuíferos captados, ríos y rutas, pudiéndose realizar determinadas consultas vinculadas a esos atributos y temas (Figura 18 a 22).

Figura 15: Áreas de influencias del Río Medina.

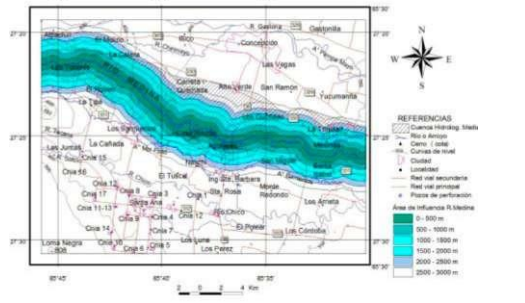


Figura 16: Áreas de influencia de rutas principales.

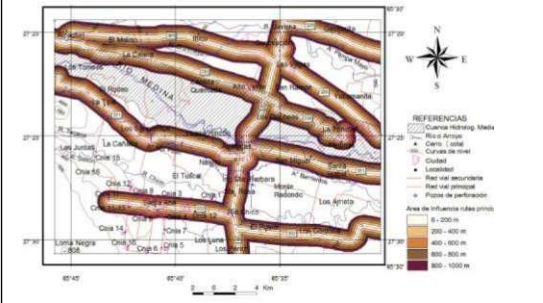


Figura 17: Mapa de consulta hidrogeológica de la cuenca media del río Medina.

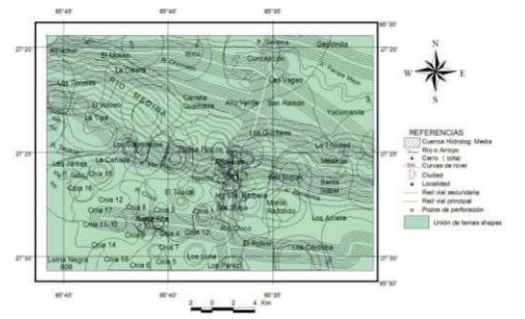


Figura 18: Mapa Consulta 1 - Pozos de 50 a 150 mbbp. de profundidad y caudales específicos de 5-15 m³/hs/m.

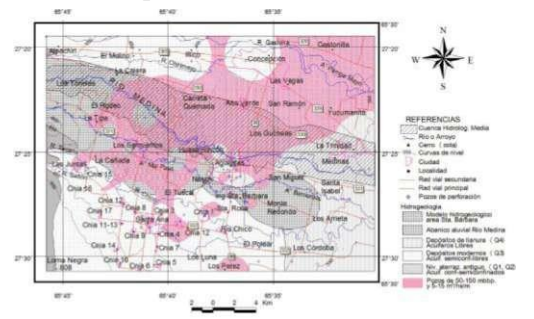


Figura 19: Mapa Consulta 2 - Pozos de profundidades mayores a 150 mbbp. y caudales específicos inferiores a 5 m³/hs/m.

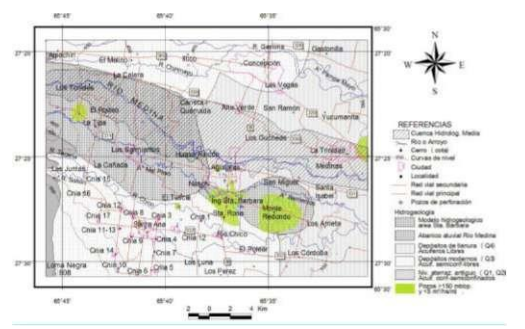
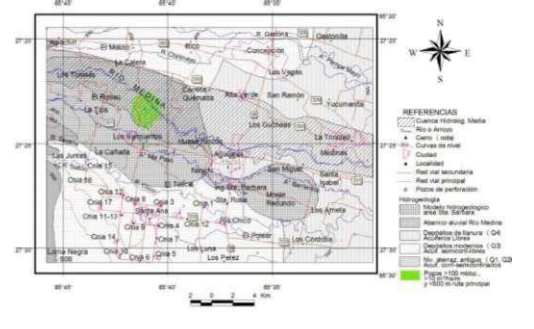


Figura 20: Mapa Consulta 3 - Pozos superiores a 100 mbbp. y mayores a 10 m³/hs/m, cercanos a rutas principales.



De acuerdo a la observación de estos mapas y a lo expuesto en Ramos (2014), el método IDW puede generar en el mapa círculos concéntricos, denominados "bullees" (ojos de toro), que gradúan los cambios bruscos en los valores, además de falsear la realidad, ya que asignan valores a puntos y áreas que no lo tienen. Pese a

Tercer Encuentro de Jóvenes Investigadores - San Juan, Octubre de 2014.

estos inconvenientes, el método IDW es válido en el análisis y representación de los parámetros hidrogeológicos posibilitando el cruce con otras variables cartográficas y temáticas, permitiendo realizar mapas de consultas integrales y específicos.

CONSIDERACIONES FINALES:

Los métodos de interpolación aplicados permiten obtener gráficos de menor complejidad con el incremento del número de Vecinos cercanos (para IDW), Peso y Puntos (para Spline), lo que disminuye la cantidad de curvas y aumenta su separación, ya que cuanto más influencia tiene el algoritmo en los puntos lejanos, mayor es la suavidad de la gráfica. Lo inverso ocurre con la variable Fuerza en el método IDW.

El método de interpolación areal, IDW, fue válido para la representación cartográfica de los años de construcción de pozos, de caudales específicos y tipos de acuíferos mientras que la opción "buffers" permitió generar las áreas de influencia s de ríos y rutas.

Si bien la distribución de los parámetros hidrológicos e hidrogeológicos no es continua en el espacio y no está sujeta a ninguna gradación, la aplicación del método IDW genera resultados cartográficos predictivos e irreales a gran escala.

La integración de mapas temáticos que representan la realidad mediante áreas de influencias, en formatos shapes, forman parte de los "*Mapas Consultas*" y constituyen el modo más simple de dar respuestas a requerimientos de gestión de una cuenca.

BIBLIOGRAFÍA:

Apaza, A. 2013. *Interpolación segmentaria o Splines* (en línea). Algebra lineal. Fecha de consulta: 13 de febrero del 2014. Disponible en <http://docencia.jezasoft.co/index.php/material-de-apoyo/226-algebra-lineal/>

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. N° 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.

F.A.A. 1977-1979. Fotografías aéreas, Vuelo Azúcar, esc. 1:20.000. Fuerza Aérea

Tercer Encuentro de Jóvenes Investigadores - San Juan, Octubre de 2014.

Argentina. Cuarta Brigada Aérea. Paraná.

Felisísimo, A. 2012. *Curso de introducción Modelos digitales del terreno. Capítulo 2-El modelo digital de elevaciones*. Descarga libre desde página personal, España, <http://www6.uniovi.es/~feli/>.

Global Mapper. 2010. Geographic Information System (GIS) Free Software, version 11.02, USA, 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.

I.G.M. 1935a. *Carta Topográfica, Concepción, Hoja 27-66 B, escala 1:100.000*, Instituto Geográfico Militar. Levantamiento y compilación (comp.) 1934. Edición (Ed.) 1935. Buenos Aires (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. Bs. As.

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. Bs. As.

I.G.M. 1935d. *Carta Topográfica, Andalgalá, Hoja 28-66 C, escala 1:100.000*, Instituto Geográfico Militar. Lev y compilación 1934. Edición 1935. Bs. As.

I.G.M. 1949. *Carta Topográfica, Nevados del Aconquija, Hoja 2766-21, escala 1:100.000*, Instituto Geográfico Militar. Lev y comp. 1934. Ed. 1949. Bs. As.

I.G.M. 1950a. *Carta Topográfica, Villa Quinteros, Hoja 2766-22, escala 1:100.000*, Instituto Geográfico Militar. Lev. y comp. 1934. 1ra ed. Abril de 1950. Bs. As.

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.

Tercer Encuentro de Jóvenes Investigadores - San Juan, Octubre de 2014.

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.

PCI Geomatics. 2012. *Geographic Information System (GIS) Software, trial version 8.2*, Canadá. www.pcigeomatics.com.

Ramos, N. 2013. Sistemas de Información Geográfica aplicados a la Cuenca Hidrogeológica Media del Río Medina, Departamento Río Chico, Provincia de Tucumán. VIII Congreso Argentino de Hidrogeología "Agua subterránea recurso estratégico". Tomo II: 333-340. Gonzales Nilda et. al. (edit). La Plata, 17 al 20 de Septiembre de 2013. Editorial de la Univ. Nac. de la Plata. ISSN 987-1985-04-5.

Ramos, N. 2014. *"Evaluación de la aplicación surface de Arcview 3.3 en la cuenca media del Río Medina, departamento Río Chico, provincia de Tucumán"*. En V Jornadas Tucumán SIG. Fac. de Arquitectura y Urbanismo-UNT, 24 y 25 de Abril de 2014. Organizados por la APSIG, San Miguel de Tucumán. Publicación en CD ISSN: 2250-6977 y en la web del evento: www.jornadastucumansig.com.ar.

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>.

Wikipedia, Colaboradores. 2013. *Spline* (en línea). Wikipedia, La enciclopedia libre, fecha de consulta: 15 de febrero del 2014. Disponible en <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Spline&oldid=64604000>.