

SPATIAL PREDICTION OF ARSENIC ON GROUNDWATER PERFORATIONS OF SANTA ROSA BASIN, CATAMARCA, ARGENTINA

Morvillo, Mónica ⁽¹⁾; Battistella, Romina ⁽²⁾; Ortega, Irene ⁽²⁾

(1) Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales-Universidad Nacional de San
Juan. Argentina

(2) Instituto Nacional del Agua-Centro Regional de Aguas Subterráneas- San Juan.
Argentina

PREDICCIÓN ESPACIAL DE ARSENICO EN PERFORACIONES DE AGUA SUBTERRANEA EN LA CUENCA DE SANTA ROSA, CATAMARCA, ARGENTINA

RESUMEN

El trabajo presenta un mapa predictivo de valores del arsénico en aguas subterráneas del departamento de Santa Rosa, provincia de Catamarca, Argentina, a fin de proporcionar una herramienta de planificación y reducción del riesgo sanitario en la población local. La predicción se apoya en un muestreo del año 2014, en 72 pozos de profundidades menores a 250 metros. Para la interpolación espacial se aplicó kriging, una técnica geoestadística que permite representar aspectos distintivos de la variabilidad espacial, como la tendencia del proceso del arsénico en la región y la autocorrelación en diversas escalas de espaciamiento y direcciones que advierten anisotropía.

1 INTRODUCCIÓN

Existe una gran cantidad de artículos científicos que abordan la problemática del arsénico (As) en aguas subterráneas con el propósito de advertir y transferir los resultados de las investigaciones a los organismos estatales de gestión hídrica, para impulsar soluciones con acciones y políticas de desarrollo concretas.

En estos se encuentra información del origen y movilidad ambiental del arsénico, de regiones con altas concentraciones, de la toxicidad y los riesgos para la salud y de algunas soluciones para contrarrestar el problema.

La presencia del arsénico en las aguas subterráneas suele tener origen natural. También las aguas geotermales (Galindo *et al.*, 2005) y los efectos antrópicos como la actividad minera (Smedley, 1996), los desechos industriales, la quema de carbón y la preservación de madera con compuestos arsenicales (Smedley & Kinniburgh, 2002), constituyen vías posibles de contaminación.

Entre las regiones más afectadas, con acuíferos naturalmente enriquecidos, se menciona a China (Sun *et al.*, 1998), Taiwán (Tseng, 1968), India (Roychowdhury *et al.*, 2003), Bangladesh (Smith *et al.*, 2000), Rumania (Gurzau & Gurzau, 2001), USA (BEST, 2001), México (Del Razo *et al.*, 1990), Chile y Argentina (Bhattacharya *et al.*, 2006; Farías *et al.*, 2003; Pérez Carrera y Fernández Cirelli, 2004; Smedley *et al.*, 2005; Blanes y Giménez, 2006; Bunduschuh *et al.*, 2004; Bejarano & Nordberg, 2003; Smedley *et al.*, 2002; Schulz *et al.*, 2005; Vilches *et al.*, 2005; Nicolli *et al.*, 2005a; Nicolli *et al.*, 2005b; Cabrera *et al.*, 2005; Giménez *et al.*, 2006).

Algunos de ellos contienen valores de As que superan ampliamente el límite de 10 $\mu\text{g l}^{-1}$ (o ppb) indicados por la Organización Mundial de la Salud (W.H.O, 2004) para el consumo.



Figura 1. Mapa del arsénico en agua. (Smedley & Kinniburgh, 2002)

Sudamérica posee una de las mayores extensiones del mundo afectadas con esta problemática, según se destaca en el mapa de la figura 1. La mayoría de los estudios lo relacionan con el volcanismo cuaternario y la actividad hidrotermal asociada de la Zona Volcánica Central de la Cordillera de los Andes, entre los 14° y 28° latitud Sur, generada por más de cincuenta volcanes, algunos de ellos aún en actividad (Fernández-T. et al., 2005).

A partir de ello, se argumenta que los sedimentos del loess fueron transportados por el viento y depositados en la llanura pampeana, conteniendo vidrio volcánico con una alta concentración de As, flúor (F), nitratos (NO_3^-), boro (B), molibdeno (Mo), selenio (Se) y uranio (U) (Smedley et al., 2002; Bundschuh et al., 2004). La liberación del As hacia los cuerpos de agua, en este caso, ocurre a pH altos y en condiciones de semi-aridez. La meteorización de las rocas junto con las altas tasas de evaporación, facilitan la desorción del elemento de los minerales e impiden la adsorción del As a óxidos de Fe y Mn (Smedley et al, 2002).

Algunos científicos sostienen la tesis que el incremento de la actividad volcánica e hidrotermalismo asociado en esta zona podría haberse potenciado por la retirada del hielo después del último máximo glacial, por mecanismos como los propuestos

para el volcanismo reciente de Islandia (Maclennan et al., 2002). El mecanismo disparador sería así de tipo climático. La deglaciación indujo el ascenso de magmas y fluidos hidrotermales que conllevaron volcanismo y afloramiento de aguas termales con elevada salinidad y altas concentraciones de As y B, entre otros elementos. Estas aguas drenaron hacia ambas vertientes de la cordillera andina. En el caso de la vertiente atlántica estas aguas se encontraron antes de llegar a la costa con la Llanura Chaco- Pampeana que ha estado afectada por fluctuaciones climáticas alternando épocas áridas-semiáridas con húmedas. Estas fluctuaciones influyeron en la distribución de las aguas superficiales y en los niveles freáticos (Stevaux, 2000; Heine, 2000; Kull et al., 2003). Al tratarse de una penillanura, los períodos húmedos frecuentemente acababan en el desarrollo de ambientes de tipo humedal (Iriondo, 2004). Las bajas pendientes hicieron también que el As no fuese lavado energicamente y transportado a la costa atlántica, sino que permaneciese en los acuíferos chaco-pampeanos.

Más allá de la génesis del fenómeno es de gran interés toda la información referida a la calidad y contenido de arsénico en aguas subterráneas por el hecho que el arsénico es un elemento tóxico, cuya ingesta diaria y continua de dosis elevadas en el agua de bebida producen como efecto principal en los seres humanos el arsenicismo crónico. En Argentina esta enfermedad es conocida con el nombre de HACRE (Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico) provocando una amplia gama de inconvenientes a la salud, que van desde lesiones en la piel hasta cáncer. La ruta del arsénico en Argentina comienza en el Norte, en Salta y Jujuy, y baja por Tucumán, La Rioja, Catamarca, San Juan, Chaco y Santiago del Estero; cruza San Luis, Mendoza, Córdoba, Santa Fe, La Pampa, Río Negro, Neuquén y gran parte de la provincia de Buenos Aires, llegando finalmente a la costa atlántica. Así, afecta a 16 provincias con aproximadamente cuatro millones de personas expuestas, esto es el 10% de la población total, según estimaciones del año 2013.

La cocción con agua contaminada aumenta la concentración tóxica en los alimentos (Roychowdhury et al., 2003; Samanta et al., 2004; Murkherjee & Bhattacharya, 2001; Juhasz et al., 2006; Devesa et al., 2001a; Devesa et al., 2001 b). Especies vegetales regadas con aguas arsenicales o emplazadas en zonas con presencia del elemento pueden acumularlo (Muñoz et al., 2002; García et al., 1994; Smith et al., 2006; Rahman et al., 2007; Das et al., 2004). Asimismo, la biotransferencia hacia productos animales como leche (Pérez C. et al, 2005) y mariscos (Borak et al,

2007), incrementan las vías de exposición y atentan contra los requisitos de inocuidad sanitaria que se deben cumplir.

La mayor gravedad de la presencia del arsénico en el agua, es que aún se encuentre en concentraciones altas, no es detectable a la vista ni al olfato, por lo que la comunicación de los resultados de las investigaciones en la temática, combinada con políticas paliativas y de prevención social se vuelven únicas herramientas para proteger a la población de este peligro.

Entre las soluciones operativas que se proponen como viables a corto plazo está el abastecimiento de fuentes alternativas sin arsénico o, cuando no sea posible, el tratamiento mediante plantas potabilizadoras convencionales optimizadas, tecnologías desmineralizadoras, bioremoción y utilización de métodos muy simples en el punto de uso.

El objetivo de este trabajo es aportar información referida a los niveles de arsénico en aguas subterráneas de la zona de Santa Rosa, provincia de Catamarca-Argentina, de su relación con otros elementos y definir mediante un mapa predictivo las áreas geográficas en las cuales la presencia de arsénico constituya un riesgo potencial para la población, dando pautas a las autoridades provinciales y nacionales para la toma de decisiones.

2 UBICACIÓN Y ANTECEDENTES

El área de estudio corresponde a la cuenca Santa Rosa, comprendida entre los 27° 51' y 28° 16' de Latitud Sur y los 65° 06' y 65° 33' de Longitud Oeste, provincia de Catamarca-Argentina (Figura 2).

Los datos fueron proporcionados por el Instituto Nacional del Agua-Centro Regional de Aguas Subterráneas San Juan, a partir de un "Estudio Hidrogeológico de las Cuencas de Santa Rosa y Cuenca de Aconquija", previo acuerdo con el Gobierno de la provincia para determinar la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo y zonas potencialmente aptas (Torres *et al*, 2014).

En ese marco, durante el año 2014, se tomaron 72 muestras de agua subterránea correspondientes a 66 perforaciones con profundidad promedio de 180 m y 6 pozos excavados, que explotan horizontes permeables comprendidos entre 10 y 323 metros de profundidad.

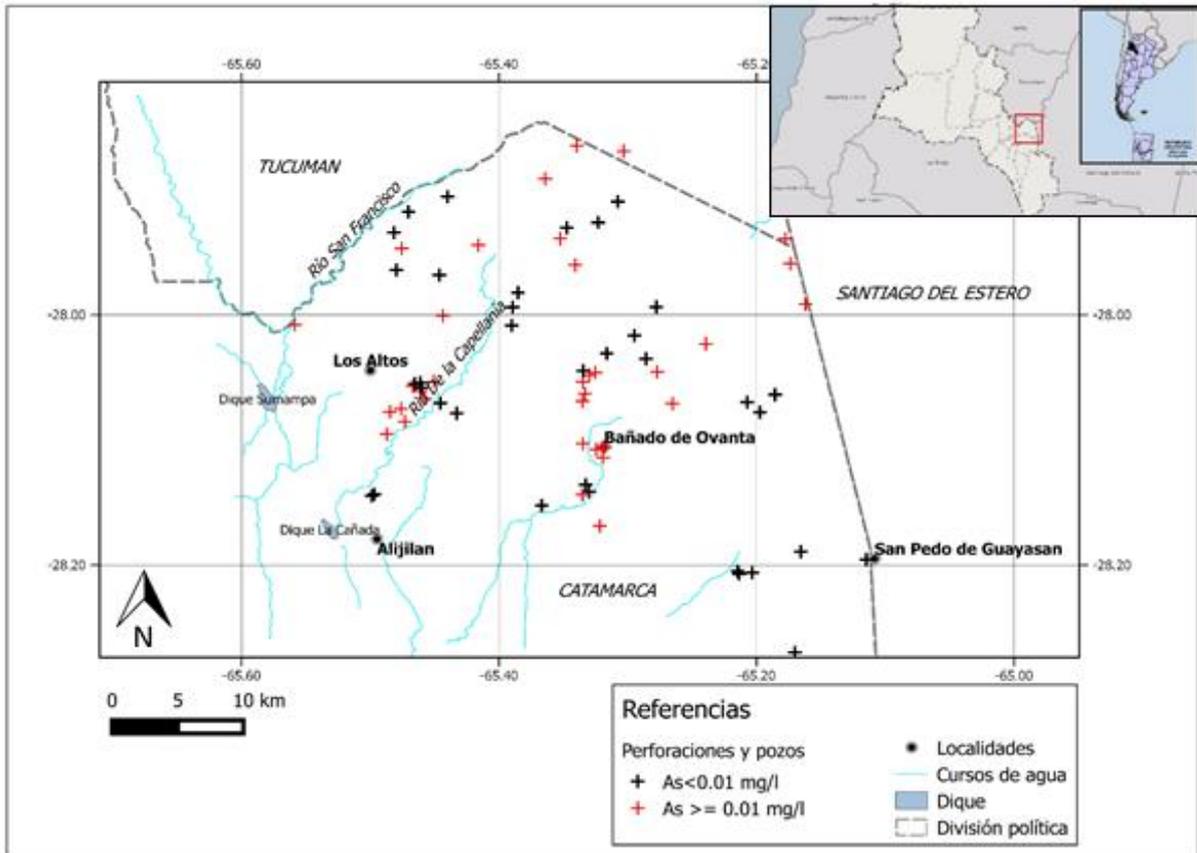


Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio y muestreo. Las perforaciones y pozos están clasificados según sus valores: mayores a 0.01 mg/l (+ rojo) y menores a ese valor (+ negro).

En el mapa de la figura 2, se han ubicado a todas las perforaciones y pozos del muestreo, destacándose en color rojo aquellos cuyas concentraciones de arsénico alcanzan y superan el límite de 0.01 mg/l. Un dato relevante es que la mayoría de las perforaciones relevadas estaban en uso, y casi el 60% destinadas a riego complementario de explotaciones agrícolas, siendo la soja, el maíz y el trigo los cultivos predominantes, según informes del INTA 2001 -2014.

Para la extracción de muestras se aplicó la técnica "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA, AWWA, WEF, 1998).

3 RESULTADOS

ANALISIS DE LOS DATOS HIDROQUIMICOS

De la base de datos hidroquímica se seleccionaron, además de las coordenadas X, Y y el elemento As objeto de estudio, un conjunto de variables con mediciones completas -concentraciones detectadas- a fin de analizar la composición del agua subterránea y asociaciones del arsénico con otros elementos, estas son: pH, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄⁻, Cl⁻, SiO₂, F⁻, B, NO₃⁻.

Se presenta en la tabla 1, un resumen de las estadísticas del pH y del resto de las variables en mg/l.

Tabla 1:

Resumen de las estadísticas de pH, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄⁻, Cl⁻, SiO₂, F⁻, B, NO₃⁻ y As, en las 72 muestras de agua subterránea en la región de estudio.

	pH	Ca..	Mg..	Na.	K.	HCO3.	SO4.	Cl.	SIO2	F.	B	NO3.	As...
Min.	6	12	1	48	2	23	16	6,6	2,1	0,3	0,08	0	0,002
1st Qu.	7	21	3,9	103,8	2,975	248	69,5	12,75	25,75	0,5	0,277	2,925	0,007
Median	7,15	31,5	6,3	180	3,4	281	164,5	38,5	31	0,6	0,475	7,05	0,009
Mean	7,11	48,06	13,43	240,4	3,862	292,2	357,3	62,66	34,15	0,796	0,687	10,28	0,024
3rd Qu.	7,3	50,25	13,25	251,2	4,125	318,2	323,8	70	39	1	0,712	11	0,016
Max.	7,6	277	133	1530	12	621	3290	706	72	5,5	4,9	75	0,406

Según el resumen, aproximadamente el 50% de las perforaciones y pozos que se evaluaron, contenían valores de arsénico que supera el umbral de 0,01 mg/l señalado por la OMS para el consumo humano.

Por otra parte, el análisis de la composición y relaciones entre variables se lleva a cabo con una técnica del análisis multivariado, conocida como Análisis de Componentes Principales. La eficiencia de tal aplicación, depende del supuesto de relación lineal entre las variables, lo cual requiere considerar transformaciones de las variables a escalas simétricas.

En este caso, se determinaron transformaciones de la forma $\ln(X+C)$ para los elementos químicos y $\ln(C-X)$ para el pH, que corrigieron las asimetrías individuales y optimizaron la correlación lineal requerida.

La figura 3 es una matriz gráfica que contiene en la diagonal a los histogramas de las variables transformadas, y en los demás espacios a los diagramas de dispersión de las variables según dos ordenamientos, (V_2, V_1) ubicados en el sector triangular superior y (V_1, V_2) ubicados en los sectores triangular inferior.

El procesamiento multivariado se realizó con el software libre R versión 3.3.1 (2016), dando por resultado tres componentes principales.

La componente más importante integrada por los elementos Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , SO_4^- , Cl^- , B, los que presentan relaciones directas; en segundo lugar, la composición formada por HCO_3^- , F^- , As con asociaciones directas y el pH en sentido inverso, y por último, con mínima influencia el SiO_2 y NO_3^- . (Battistella *et al*, 2016)

Estos resultados son acordes a los argumentos que explican la presencia del As en la región.

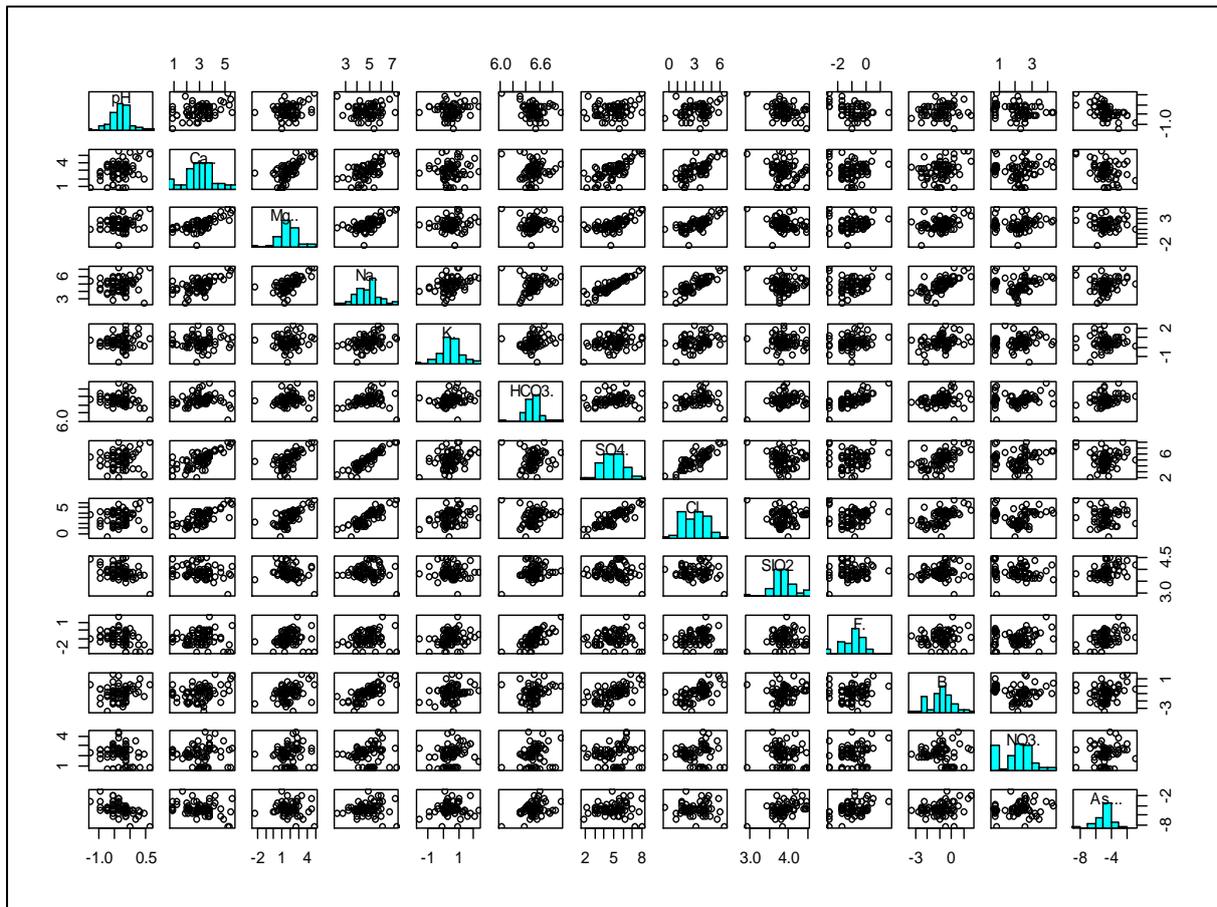


Figura 3. Matriz de gráficos de dispersión entre todos los pares de variables, con diagonal de histogramas de cada elemento: pH, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄⁼, Cl⁻, SiO₂, F⁻, B, NO₃⁻, todos en escala logarítmica.

PREDICCIÓN Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ARSENICO

Resulta dificultoso la explicación de las variaciones de las concentraciones en el agua subterránea, tanto del arsénico como de otros elementos de la naturaleza, como consecuencia de la dinámica del ciclo hidrológico y de las acciones antrópicas, pues existe gran anarquía de patrones en los acuíferos.

Sin embargo, estos fenómenos y acciones humanas se producen, manifiestan e interactúan en el espacio y el tiempo, dos entidades que controlan la presencia y distribución de estos elementos, por efecto de factores climáticos, geológicos (estructurales y litológicos) y geomorfológicos (Schulz et al., 2002).

Así la distribución del arsénico en aguas subterráneas puede considerarse un proceso estocástico con autocorrelación espacial, cuyo conjunto de valores

georreferenciados $\{v(s_1), \dots, v(s_n)\}$ se denomina variable regionalizada y se describe con un modelo estructural aditivo de dos componentes, esto es:

$$V(s) = \mu(s) + \delta(s)$$

Siendo $\mu(s)$ la tendencia espacial de la variable al interior de la región de estudio, componente determinística que se asume constante o con polinomios de primer o de segundo grado en las coordenadas de los sitios y $\delta(s)$ la componente estocástica en torno a la tendencia, parametrizada con la función la función semivariograma $\gamma(h)$. Dicha función es el sello distintivo de la geoestadística y mide en términos generales la variabilidad de los incrementos de la variable $\delta(s)$ en función de la separación h entre los sitios $\gamma(h) = \frac{1}{2}\text{Var}[\delta(s+h) - \delta(s)]$, incluyendo diversas escalas de espaciamiento y direcciones para advertir anisotropías de los fenómenos.

Tal conceptualización aborda la interpolación espacial para mapas de curvas de nivel, con un criterio conocido como kriging, el cual define el valor de la variable en un nuevo sitio $V_k(s) = \lambda_1 v(s_1) + \dots + \lambda_n v(s_n)$ mediante una combinación de las mediciones que minimiza el error cuadrático de la predicción, condicionado al modelo estructural preestablecido Cressie (1991).

Kriging es la técnica más utilizada para generar los mapas de isovalores, pues produce curvas suavizadas sin efectos irreales o no naturales, como ocurre con otros métodos de interpolación determinísticos (vecino más cercano, triangularización con interpolación lineal, inverso ponderado por la distancia, etc.). Sin embargo, su aplicación suele emplear softwares que procesan con modelos estructurales por defecto, perdiendo la oportunidad de ajustar y representar los aspectos espaciales particulares de la variable devenidos de su propio análisis estructural.

Para el procesamiento de nuestro trabajo se emplea el paquete “geoR” del software R, de libre distribución, el cual requiere especificar las componentes -tendencia y semivariograma- que surgen a partir del análisis estructural previo, condicionando los resultados de las curvas de isovalores, al modelo específico de la región.

ANÁLISIS EXPLORATORIO ESTRUCTURAL

Este incluye el análisis descriptivo y estructural del arsénico.

De los gráficos de la figura 4, de izquierda a derecha, se desprenden tres conclusiones o connotaciones: 1) El histograma del As muestra una distribución asimétrica positiva fuerte, lo que sugiere trabajar con la escala logarítmica del arsénico ($\ln As=Z$) para analizar tendencia espacial y obtener las curvas de isovalores (predicción log-normal o por vía indirecta); 2) La representación de las perforaciones con círculos, de cinco tamaños y colores, indican magnitudes del arsénico. La línea de puntos sobre el área rectangular que contiene a los sitios de muestreo, define un dominio válido para la interpolación y gráfica de las curvas de nivel. Por fuera del dominio las predicciones podrían generar valores extrapolados del rango de observaciones, es decir no válidos. 3) El diagrama de dispersión del arsénico (en escala logarítmica) respecto a las coordenadas X e Y, muestra algunas zonas del dominio geográfico con valores más elevados, pero se encuentran dispersos en toda el área sin llegar a mostrar una forma de tendencia global válida, lo cual implica considerar para el modelo estructural $\mu(s)$ constante.

La figura 5 presenta los semivariogramas experimentales, direccionales y global, obtenidos para el arsénico en escala logarítmica. El ajuste se define mediante un proceso de validación cruzada que alcanza el 94.4% de la cobertura probabilística teórica o ideal (95%) de las predicciones. El semivariograma ajustado es un modelo esférico con escalas 0.85 para la *micro variabilidad (efecto pepita)* y 0.80, *variabilidad parcial (C)*, *alcance* de 6000 m y anisotropía parametrizada con dirección principal en los 5° (0°=N-S) y relación de alcances 1.6.

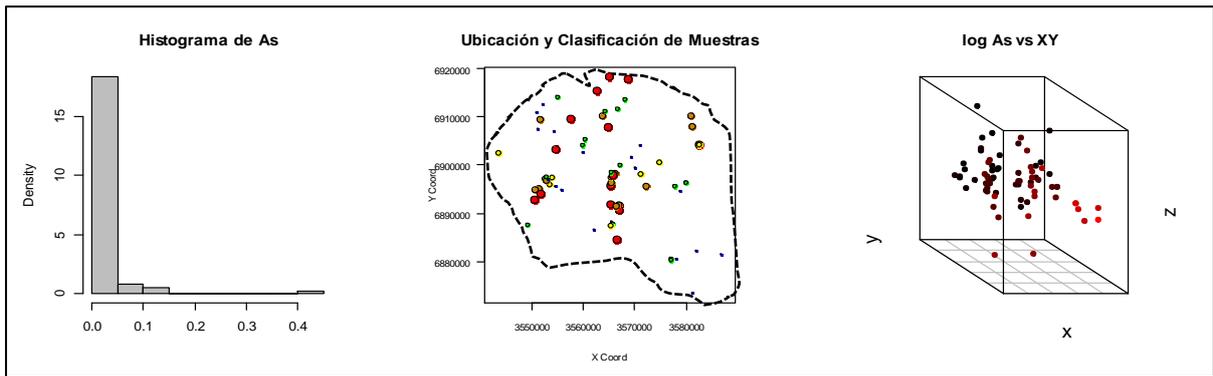


Figura 4: De izquierda a derecha: a) Histograma del arsénico; b) Ubicación de las muestras de agua subterránea clasificadas en cinco categorías según sus concentraciones de arsénico; c) Diagrama de dispersión de las concentraciones de arsénico (escala logarítmica) en función de las coordenadas.

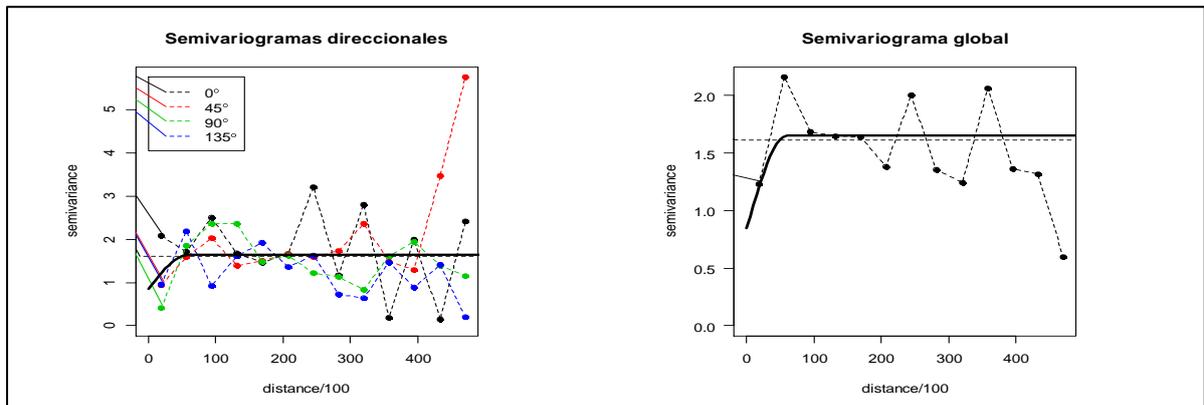


Figura 5: Las líneas de puntos de los gráficos corresponden a los semivariogramas experimentales direccionales (0° , 45° , 90° y 135°) y global, respectivamente. La línea continua corresponde al semivariograma teórico esférico asumido para el modelo estructural.

Por último, con el ingreso de los parámetros del modelo estructural en el programa para la interpolación de los valores del arsénico por el método de kriging, se obtienen las curvas de nivel representadas en la Figura 6.

4 CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se aporta información de niveles de arsénico en acuíferos de la cuenca de Santa Rosa, Catamarca- Argentina, como así también la asociación directa del arsénico con HCO_3^- , F^- e inversa con pH.

Se elabora un mapa de tendencia de niveles de arsénico para el área total, con el método de kriging, apoyado en el análisis y modelo estructural particular del arsénico en la región, según la conceptualización de un proceso espacial estocástico.

El mapa predictivo muestra para la región un valor promedio superior a 0.01 mg/l, que es la concentración mínima de arsénico permitida en agua para consumo humano por la OMS. Varias regiones presentan concentraciones que superan ampliamente a este valor. Una de ellas, se localiza al costado oeste del último tramo y desembocadura del río De La Capellania, otra se ubica en un área al noroeste de Bañados de Ovanta y otras dos, al sureste de Los Altos donde se encuentra un tambo de una productora de leche y al sur de San Pedro de Guayasan (provincia de Santiago del Estero) donde se ubica un hotel que ofrece servicio de aguas termales.

El estudio del recurso hídrico subterráneo en esta región, señala que existen perforaciones activas con altas concentraciones de arsénico en zonas donde pobladores rurales y en algunos casos urbanos desarrollan actividades de distinto tipo.

Resulta así imprescindible la transferencia de los resultados de las investigaciones a las autoridades para generar soluciones a la problemática, con el objeto de poner en conocimiento a los habitantes de la calidad del agua y de los trastornos a la salud que puede generar su consumo, ya sea de forma directa, riego o biotransferencia.

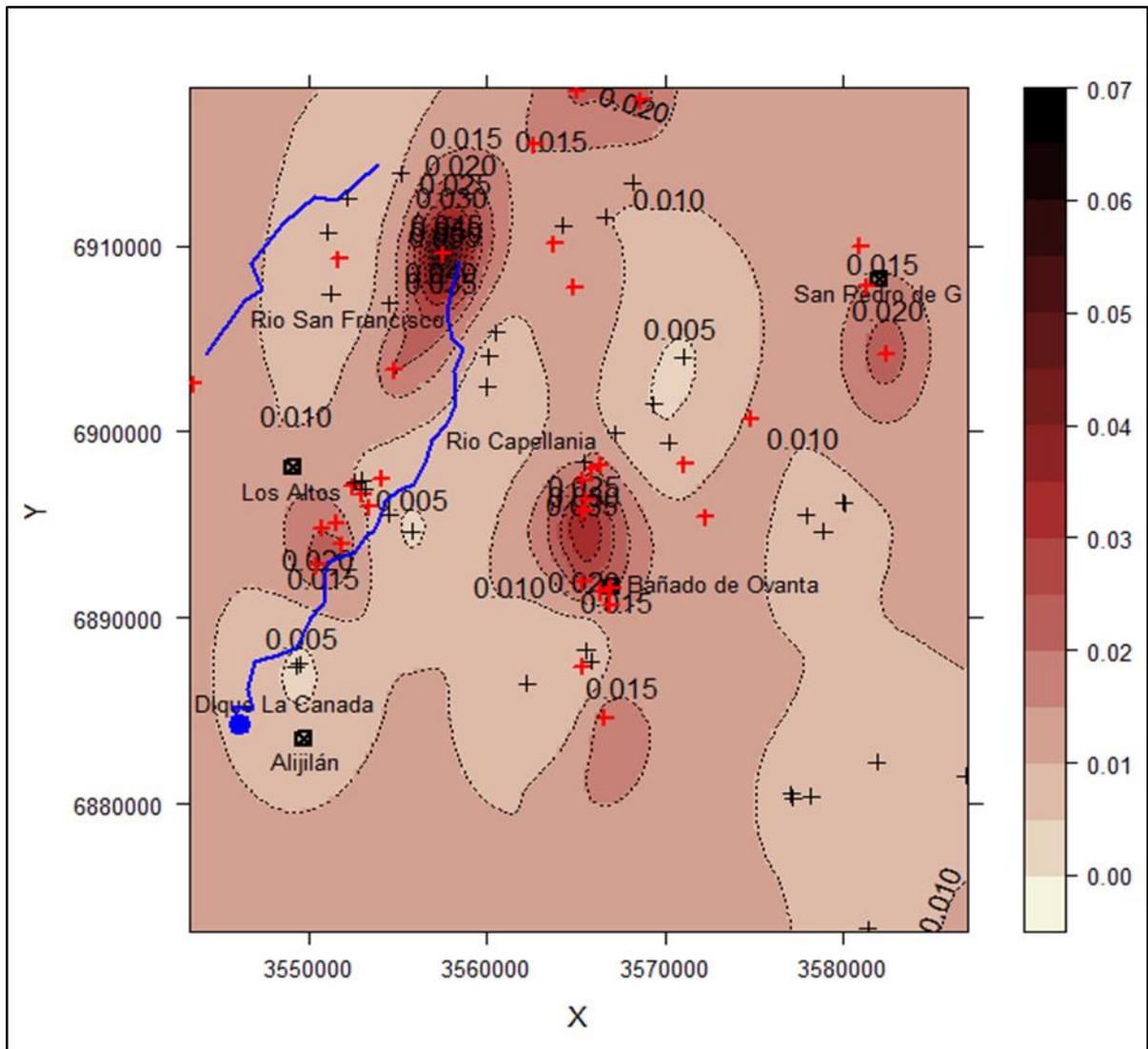


Figura 6: Mapa predictivo para el arsénico en la región de estudio. Los símbolos +, representan las ubicaciones de las perforaciones y pozos del muestreo, coloreados con rojo aquellos con concentraciones mayores o iguales al límite de 0.01 mg/l. permitido para el consumo humano.

5 BIBLIOGRAFIA

APHA, AWWA & WEF.(1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Ed. 20, USA.

Battistella, R., Ortega, I., Morvillo, M. & P. Luna (2016) Caracterización hidroquímica de la Cuenca de Santa Rosa con métodos multivariados y predicción especial de contaminantes. En: *3° Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos 2016*. Ezeiza, Argentina. p. 54

Bhattacharya, P., Claesson M., Bundschuh, J., Sracek, O., Fagerberg J., Jacks G., Martin, R. , Storniolo,A. & Thir,J. (2006). Distribution and mobility of arsenic in the Rio Dulce Alluvial Aquifers in Santiago del Estero Province. Argentina. *Science of the Total Environment* 358: 97-120

Bejarano Sifuentes, G. & Nordberg, E. (2003). Mobilisation of Arsenic in the Río Dulce Alluvial Cone. Santiago del Estero Province, Argentina. Department of Land and Water Resources Engineering. Master Thesis. [Preprint] Available from: http://rymd.lwr.kth.se/Publikationer/PDF_Files/LWR_EX_03_6.PDF. [Consulta: 23/08/ 2016]

Board on Environmental Studies and Toxicology (2001). Arsenic in drinking water: 2001 update. National Academy Press, Washington D.C., 225 pp. <http://www.nap.edu/books/0309076293/html> [Consulta: 20/06/2016].

Cabrera, A. , Blarasin, M., Cabrera,,S., Matteoda,E., Gómez,M., Villalbal Hildmann, D. & Bettera,A. (2005). Arsénico y Flúor en el Acuífero Freático en el Sur de Córdoba: Línea de Base Hidroquímica y Problemática Ambiental Vinculada. En: *Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino*. Río Cuarto. pp. 41-52.

Blanes, P.& Giménez, M. (2006). Evaluación de los niveles de Hierro y Arsénico en Aguas Naturales Subterráneas de la Región Centro-Oeste de la Provincia del Chaco-Argentina. *Centro de Información Tecnológica Vol. 17 N^o 3*. 3-8.

Borak, J & Hosgood, H. (2007) Seafood arsenic: Implications for human risk assessment. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 47(2): 204-212.

Bundschuh, J., Farias,B., Martin, R., Storniolo, A. , Bhattacharya,P., Cortes,J., Bonorino, G.,& Albouy, R..(2004). Groundwater arsenic in the Chaco-Pampean Plain, Argentina: case study from Robles county, Santiago del Estero Province. *Applied Geochemistry* 19: 231-243.

Cressie, N.A.C., 1991. Statistics for spatial data, *John Wiley and Sons, Inc.*, New York, 900 pp.

Fernandez-Turiel, J.L., Galindo, G., Parada, M.A. , Gimeno, D., Garcia Valles, M. & Saavedra,.J. (2005). Estado actual del conocimiento sobre el arsénico en el agua de Argentina y Chile. *Arsénico en Aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino. Río Cuarto*. 1-22.

Giménez, M., Benitez, M., Oscila, R. & Garro, O . (2006). Evaluación de la contaminación con arsénico en aguas subterráneas de la región central de la Provincia del Chaco. En: www.ambiente.gov.ar Fecha de revisión: 10/12/15.

Das, H., Mitra, A., Sengupta, P., Hossain, A., Islam, F. & Rabbani,G.H. (2004). Arsenic concentration in rice, vegetable, and fish in Bangladesh: a preliminary study. *Environment International* 30(3): 383-387.

Del Razo, L., Arellano, M. & Cebrian,M. (1990). The oxidation status of arsenic in well-water from a Chronic Arsenicism Area of Northern Mexico. *Environmental Pollution* 64(2) 143-153.

Devesa, V., Macho, M., Jalón, M., Urieta, L., Muñoz, O., Súnier, M., López, F., Vélez, D. & Montoro, R. (2001a) .

Arsenic in Cooked Seafood: Study on the Effect of Cooking on Total and Inorganic Arsenic Contents. *J. Agric. Food. Chem.* 49. 4132-4140.

Devesa V., Martínez, A., Súnier, M., Vélez, D., Almela, C. & Montoro, R. (2001b) . Effect of Cooking Temperatures on Chemical Changes in Species of Organic Arsenic in Seafood. *J. Agri. Food. Chem.* 49: 2272-2276.

Farías, S., Casa, V., Vázquez, C., Ferpozzi, L., Pucci G. & Cohen, I. (2003) Natural contamination with Arsenic and Other trace elements in ground water of Argentina, Pampean Plain. *The Science of the Total Environment* 309: 187-199.

García, S., Hernández, S., García, V., Valdez, A., San Miguel, S. & Serrano, G. . (1994) Estudio del contenido de Arsénico en alimentos de consumo humano producido en la Comarca Lagunera. *Bioquímica* 19(4): 187-190.

Galindo, G.; Fernández-Turiel J. & Gimeno, D. (2005) El arsénico en las aguas termales del sur de la cuenca del Río Salí, Tucumán, Argentina. *En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea IV Congreso Hidrológico Argentino. Río Cuarto* 63-72.

Gurzau, E. & Gurzau, A. (2001) Arsenic in drinking water from groundwater in Transylvania, Romania. *In: W.R. Chapell; C.O. Abernathy; R.L. Calderón (eds.), Arsenic Exposure and Health Effects IV. Elsevier. Amsterdam* 181-184.

Heine K., (2000) Tropical South America during the Last Glacial Maximum: evidence from glacial, periglacial and fluvial records. *Quaternary International*, 72, 7-21.

Iriondo M., (2004) Large wetlands of South America: A Model For Quaternary Humid Environments. *Quaternary International*, 114, 3-9.

Juhasz, A.; Smith, E., Weber, J., Rees, M., Rofe, A., Kuchel, T., Sansom, L. & Naidu, R. (2006) In Vivo Assessment of As Bioavailability in Rice and its

Significance for Human Risk Assessment. *Environmental Health Perspectives*. 114 (12): 1826-1831.

Kull, C., Hanni, F., Grosjean, M. & Veit, H., (2003) Evidence of an LGM cooling in NW-Argentina (22 degrees S) derived from a glacier climate model. *Quaternary International*, 108, 3-11.

MacLennan, J., Jull, M., Mackenzie, D., Slater, L. & Gronvold, K., (2002) The link between volcanism and deglaciation in Iceland. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 3, 1-25.

Mukherjee, A. & Bhattacharya, P. (2001) Arsenic in groundwater in the Bengal Delta Plain: slow poisoning in Bangladesh. *Environmental Research* 9: 189-220.

Muñoz, O., Diaz, O., Leyton, I., Nuñez, N., Devesa, V., Súñer, M., Vélez, D. & Montoro, R. (2002) Vegetable collected in the cultivated Andean Area of Northern Chile: total and Inorganic Arsenic Contents in raw Vegetables. *Agricultural and Food Chemistry* 50(3): 642-647.

Nicolli, H.; Tineo, C., García, J & Falcón, C. (2005a). Distribución del arsénico y otros elementos asociados en aguas subterráneas de la región de Los Pereyra, Provincia de Tucumán. *En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino. Río Cuarto* 83-92.

Nicolli, H.; Tineo, T. J. García & Falcón, C. (2005b) Caracterización hidrogeoquímica y presencia de Arsénico en las aguas subterráneas de la Cuenca de Río Sakí. Provincia de Tucumán. Argentina *En: II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino. Río Cuarto* 93-102.

Pérez Carrera, A. & Fernández Cirelli, A. (2005) Arsenic concentration in water and bovine milk in Córdoba, Argentina. Preliminary results. *Journal of Dairy Research* 72: 122-124.

Pérez Carrera, A. & Fernández Cirelli, A. (2004) Niveles de Arsénico y Flúor en agua de bebida animal en establecimientos de producción lechera, Pcia. de Córdoba, Argentina. *InVet.* 6(1): 51-59.

Rahman, M A.; Hasegawa, H., Rahman, M., Mazid Miah, M. & Tasmin. A. (2007). Arsenic accumulation in rice (*Oryza sativa* L.): Human exposure through food chain. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 69(2): 3 17-324.

Roychowdhury, T.; Tok Unaga, H. & Ando, M. (2003). Survey of Arsenic and Other heavy metals in food composites and drinking water and estimation of dietary intake by the villagers from an arsenic-affected area of West Bengal, India. *The Science of the Total Environment* 308(1): 15-35.

Torres, C., García, E., Gianni, R., Salvioli, G., Urnicia, J., Luna, P. & Carelli, M. (2014). Estudio hidrogeológico de las cuencas de Santa Rosa y del Aconquija. Acuerdo específico N° 01/12. Convenio INA – Gobierno de Catamarca. *IT-329, INA-CRAS*, San Juan.

Schulz, C.; Castro, E., & Mariño, E. (2005) Presencia de Arsénico en las aguas subterráneas de La Pampa. *En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino. Río Cuarto* 53-62.

Schulz C., Castro E., Mariño E. & Dalmaso G., (2002) El agua potable en la provincia de La Pampa. Consecuencias por presencia de arsénico. *Work Shop sobre arsénico en Aguas Subterráneas. XXXII Congreso Internacional de Hidrología Subterránea y V Congreso Latinoamericano de Aguas Subterráneas. Asociación Internacional de Hidrogeólogos y Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo, Mar del Plata, 21-25 de Octubre de 2002.*

Smedley, P. 1996. Arsenic in rural groundwater in Ghana. *Journal of African Earth Science.* 22(4): 459-470.

Smedley, P. & Kinniburgh, D. (2002) A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry* 17: 517-568.

Smedley, P., Kinniburgh, D., Macdonald, D., Nicolli, H., Barros, A., Tullio, J., Pearce, J., & Alonso, M. (2005) Arsenic associations in sediments from the loess aquifer of La Pampa, Argentina. *Applied Geochemistry* 20: 989-1016.

Smith, N.; Lee, R., Heitkemper, D., Denicola Cafferky, K., Haque, A. & Henderson, A. (2006). Inorganic arsenic in cooked rice and vegetables from Bangladeshi households. *Science of the Total Environment* 370: 294-301.

Smith, A., Lingas, E. & Rahman, M. (2000) Contamination of drinking water by arsenic in Bangladesh, a public health emergency. *Bulletin of the World Health Organization* 78(9): 1093-1103.

Stevaux J.C., (2000) Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Parana River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil. *Quaternary International*, 72, 73-85.

Sun, G.; Dai, G., Li, F., Yamauchi, H., Yochida, T., Aikawa, H. & Kayama, F. (1998) The present situation of chronic arsenicism and researches in China. *In: III International Conference of Arsenic Exposure and Health Effect. San Diego, California. Book of Abstract.*

Tseng, W., Chu, H., How, S., Fong, J., Lin, C. & Yeh, S. (1968) Prevalence of skin cancer in an endemic area of chronic arsenicism in Taiwan. *J Nat Cancer Inst.* 40: 453-463.

Vilches, F.; Palomeque, L., Córdoba, S., Fuentes, S. & Navarro García, L. (2005). El Arsénico en la provincia de Catamarca, Argentina. *En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas*

actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino. Río Cuarto.
103-1 10.

W.H.O. (2004). Guidelines for drinking-water quality. Vol I. Recommendations. Third Edition. Geneva 51 5p.