

## Variabilidad espacial de la calidad de las aguas subterráneas en el municipio La Cañada de Urdaneta, Estado Zulia

Spatial variability of the quality of groundwater in the municipality of La Cañada de Urdaneta in Zulia State

María Teresa Moreno<sup>1\*</sup>, Edwin Caldera Romero<sup>1</sup>, Eliécer Salcedo Afanador<sup>1</sup>, Nixon Molina<sup>2</sup>, Martha Medina<sup>1</sup> y Gustavo Peña<sup>†1</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía, Departamento de Ingeniería, Suelos y Agua. Correo electrónico: mtma1968@hotmail.com, calderaedwinj@gmail.com, esalcedo@fa.luz.edu.ve, marthabma@gmail.com. <sup>2</sup>Universidad del Zulia, Facultad de Arquitectura y Diseño, Maracaibo-Venezuela. Correo electrónico: nimolina@gmail.com.

### Resumen

Se determinó la variabilidad espacial de la calidad de las aguas subterráneas disponibles para la agricultura en el municipio La Cañada de Urdaneta del estado Zulia, para ello se realizó un análisis geoespacial del pH, conductividad eléctrica, índice de saturación, alcalinidad, dureza total, RAS, sólidos disueltos totales, cationes y aniones. Se tomaron 62 observaciones georeferenciadas para calcular los semivariogramas y escoger el modelo matemático con el mejor ajuste y obtener los mapas de distribución espacial utilizando el método de interpolación por krigging puntual. Los resultados indicaron que la mayoría de los acuíferos presentan altos valores de RAS, indicando severas limitaciones para su uso en la agricultura debido a por la presencia de sales sódicas, requiriendo la aplicación de enmiendas y un manejo adecuado para evitar efectos negativos sobre los cultivos y la potencial salinización de los suelos.

**Palabras clave:** distribución espacial, acuíferos, geoestadística, semivariograma.

### Abstract

The spatial variability of the quality of the groundwater available for agriculture, in the municipality of La Cañada de Urdaneta in the state of Zulia, was determined through a geospatial analysis of pH, electrical conductivity,

Recibido el 06-02-2017 • Aceptado el 08-06-2020

\*Autor de correspondencia. Correo electrónico: mtma1968@hotmail.com

saturation index, alkalinity, RAS, total dissolved solids, water's hardness, cations and anions. Using 62 georeferenced observations, semivariograms were calculated, choosing the best-fitting mathematical model to make a spatial distribution map using interpolation by punctual kriging. The high values of RAS observed, indicate that most of these aquifers have severe limitations for their use in agriculture due to the presence of sodium salts, therefore, they require the application of amendments and adequate agronomic management, in order to avoid any negative effect on crops or potential soil salinization.

**Keywords:** spatial distribution, aquifers, geostatistics, semivariogram.

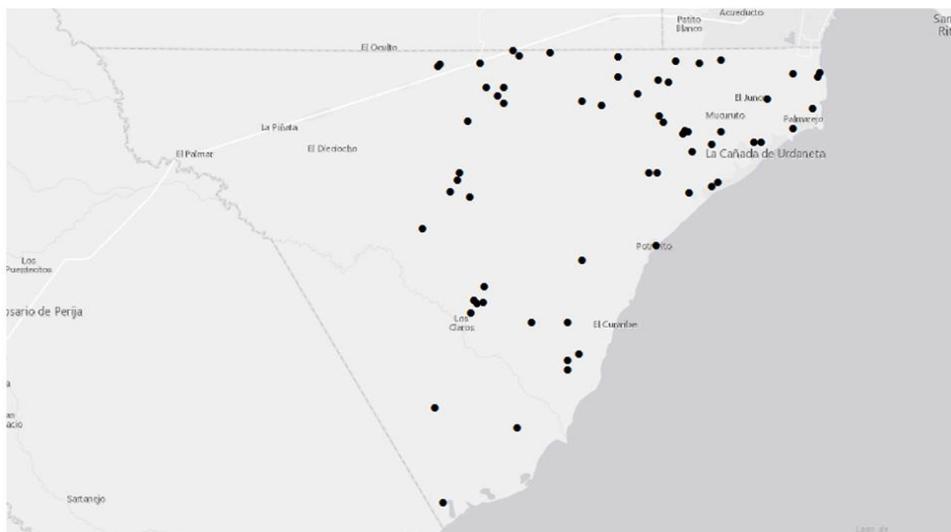
## Introducción

El municipio La Cañada de Urdaneta del estado Zulia, cuenta con 205.778,47 ha de tierras agrícolas, siendo la ganadería de doble propósito la más desarrollada en esta localidad (MPPAT, 2008); sin embargo, la zona presenta escasas precipitaciones, lo cual limita la disponibilidad de agua para la producción agrícola, teniendo que recurrir al riego suplementario. Uno de los problemas más frecuentes en esta región es el uso de aguas de baja calidad para el riego de pastizales, causando la degradación de los suelos por salinización, formación de costras superficiales y compactación (Salas y Troconis, 2006). Por tanto, es fundamental conocer las características de los acuíferos de la zona, para determinar su calidad, de tal manera de utilizarlos racionalmente en los sistemas de producción agrícola con alta dependencia del riego. En tal sentido, este trabajo tuvo como objetivo determinar la variabilidad espacial de las características químicas de las aguas subterráneas disponibles en el municipio La Cañada de Urdaneta del estado Zulia, con la finalidad de

delimitar los acuíferos de acuerdo a su calidad, a fin de facilitar su manejo racional en la actividad agrícola.

## Materiales y métodos

Se tomaron muestras de agua de 62 pozos del municipio La Cañada de Urdaneta, cuyas características climáticas corresponden a un bosque muy seco tropical, con temperatura promedio anual de 29 °C, precipitaciones menores a 700 mm al año y una humedad relativa de 68,8 %; la zona geográfica se encuentra enclavada en la cuenca del río Palmar (Larreal *et al.*, 2013). La ubicación de cada pozo fue georeferenciada en coordenadas UTM, huso horario 19 y datum Sirgas-Regven (figura 1). Las variables químicas analizadas fueron pH, conductividad eléctrica (CE), índice de saturación (IS), alcalinidad (ALC), dureza total (DT), relación de adsorción de sodio (RAS), sólidos disueltos totales (SDT), cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ) y aniones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$ ) según la metodología de la APHA, AWWA y WEF (Rice *et al.*, 1998). El análisis geoestadístico se realizó con



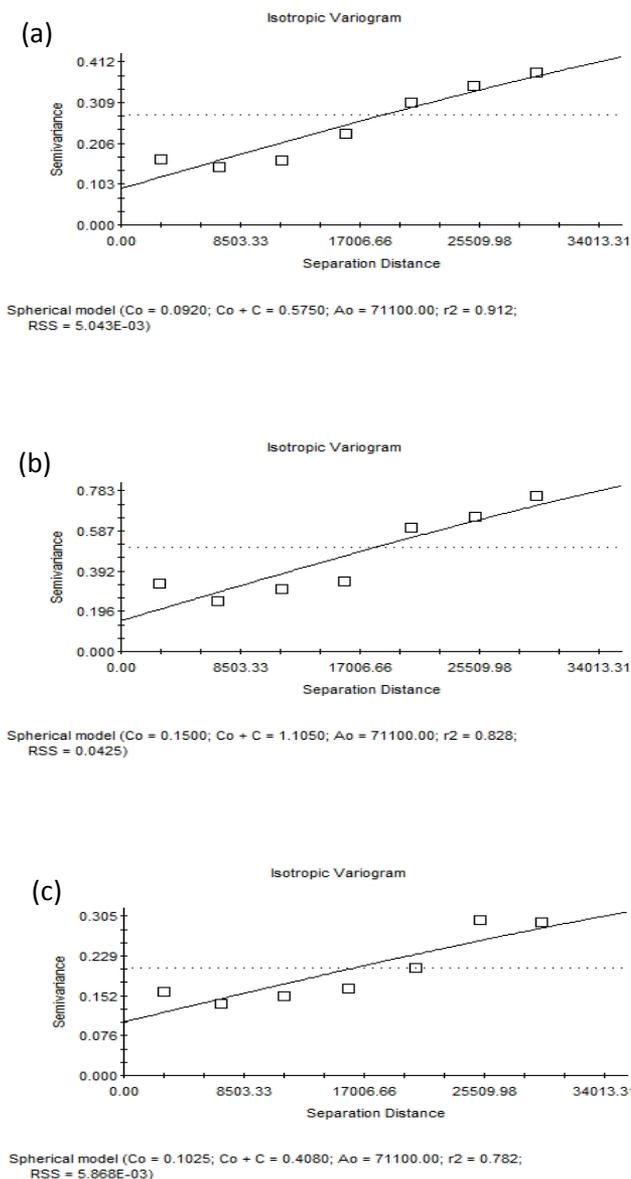
**Figura 1. Red de pozos localizados en el municipio La Cañada de Urdaneta, estado Zulia.**

el programa GS+ v. 5.0, para calcular los semivariogramas (isotrópicos y anisotrópicos), estimar los modelos de distribución espacial con el mejor ajuste ( $R^2$ ) y menor error residual (RSS). Los modelos seleccionados se validaron mediante la regresión lineal de los valores observados versus los estimados. Para obtener los mapas de distribución espacial, se estimaron los puntos para trazar las isoclinas de distribución de cada variable, mediante el método de interpolación utilizando kriging puntual. Los mapas de distribución espacial se realizaron utilizando ArcGIS v. 10.1.

## Resultados y discusión

Las variables  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{Fe}^{2+}$  presentaron un comportamiento

espacial aleatorio, por lo que no fue posible ajustar un modelo matemático que permitiera estimar de forma precisa su comportamiento espacial. El resto de las variables presentaron una fuerte dependencia espacial, describiendo un modelo matemático esférico y exponencial, respectivamente (figura 2). Estos resultados fueron similares a los observados por Kabir *et al.* (2003) y Nazari *et al.* (2002), en los acuíferos de las zonas semidesérticas de Bangladesh e Irán, respectivamente. Todas las variables regionalizadas mostraron un bajo efecto pepita ( $C_0 < 1,00$ ), indicando la ausencia de un comportamiento aleatorio a cortas distancias. La mayoría de las variables presentaron una fuerte estructura o dependencia espacial, que osciló en un



**Figura 2. Semivariogramas del contenido de la conductividad eléctrica (a), contenido de sodio (b) y RAS (c) de los acuíferos de las zonas agrícolas del municipio La Cañada de Urdaneta, estado Zulia.**

rango de 67,66 – 71,10 m de distancia, excepto para  $K^+$ ,  $BO_3^-$  y  $SO_4^-$  cuyos rangos apenas oscilaron entre 12,46 - 13,30 m; cabría considerar un muestreo de estos tres parámetros en una red con menor distanciamiento, a fin de obtener una mejor descripción de su comportamiento espacial. La mayoría de los parámetros químicos presentaron una variabilidad espacial omnidireccional o isotropía, a excepción del pH, ALC,  $K^+$ ,  $BO_3^-$  y  $F^-$ , los cuales mostraron anisotropía o diferentes patrones de variación espacial en varias direcciones.

Los acuíferos presentaron valores de pH entre 6,00 y 8,20, indicando que no tienen limitaciones para su uso en el riego de pastizales o cultivos; el pH tendió a disminuir a medida que los acuíferos se alejaban de las riberas del Lago de Maracaibo. Así mismo, estos acuíferos mostraron valores de SDT dentro de los rangos normales (< 2000,00 mg.L<sup>-1</sup>) y manejables para los sistemas de riego (García, 2012).

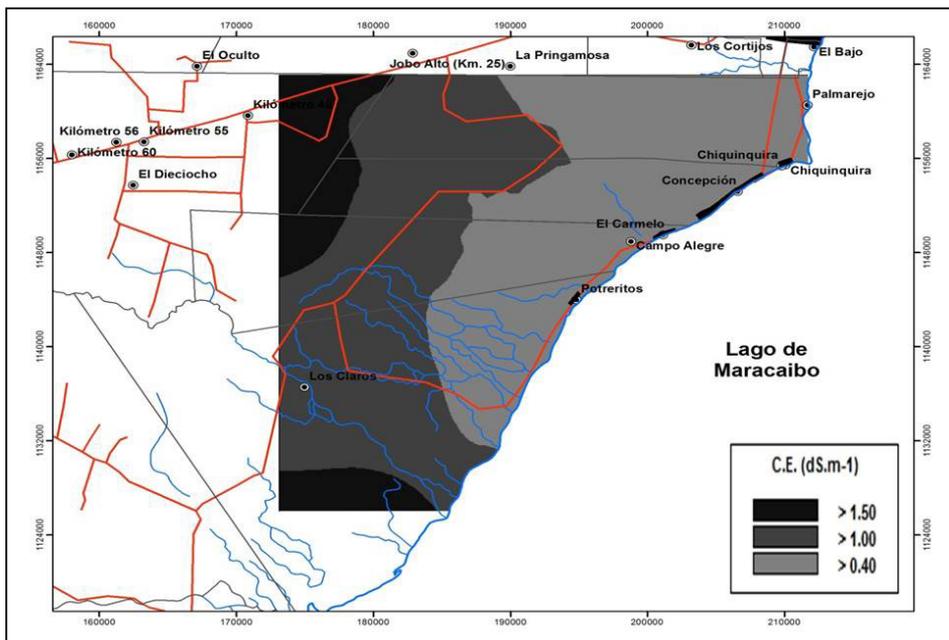
El 52 % de los acuíferos no presentaron restricciones de uso en la agricultura por su contenido de sales solubles, ya que la CE fue menor que 1,00 dS.m<sup>-1</sup>; sin embargo, el 20 % de las aguas muestreadas presentaron problemas moderados a severos de sales solubles con una CE entre 2,00 - 3,00 dS.m<sup>-1</sup> (García, 2012). El patrón de distribución espacial mostró que los problemas de sales solubles se acentuaron en los acuíferos localizados en el oeste del municipio, a medida que se alejaban de las riberas del Lago de Maracaibo (figura 3). El uso de estas aguas salobres representa un riesgo de degradación

de los suelos y la potencial merma en el rendimiento de los pastos y cultivos. Uno de los manejos recomendados sería la utilización de sistemas de riego por inundación o goteo, que permitan mantener las sales disueltas en la rizósfera; así mismo, aplicar periódicamente láminas de riego para el lavado de las sales del suelo y el seguimiento continuo para evaluar la acumulación de estas sales en el suelo en función del tiempo (Fernández *et al.*, 2011).

El 79 % de los acuíferos presentaron elevadas concentraciones de  $K^+$  (> 2,00 meq.L<sup>-1</sup>),  $Ca^{2+}$  (> 20,00 meq.L<sup>-1</sup>) y  $Mg^{2+}$  (5,00 meq.L<sup>-1</sup>); estos acuíferos también mostraron los valores más altos de CE. Los niveles de  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  de estos acuíferos provendrían del aporte de los sedimentos del río Palmar, los cuales son ricos en carbonatos de calcio y magnesio (Peters *et al.*, 1990). La presencia de altos valores de estos elementos incrementaría significativamente los niveles de ALC y DT.

Los acuíferos localizados en el suroeste del municipio presentaron altas concentraciones de  $HCO_3^-$  (> 10,00 meq.L<sup>-1</sup>) con valores de IS inferiores a 0, indicando un alto potencial de corrosión de la infraestructura de riego, debido al dióxido de carbono liberado por la disolución de carbonatos de calcio del agua y la posterior hidrólisis del  $HCO_3^-$  (García, 2012).

La mayoría de los acuíferos del municipio se ven severamente afectados por la presencia de altos contenidos de sales sódicas, especialmente aquellas formadas por



**Figura 3. Distribución espacial de la conductividad eléctrica de los acuíferos de las zonas agrícolas del municipio La Cañada de Urdaneta, estado Zulia.**

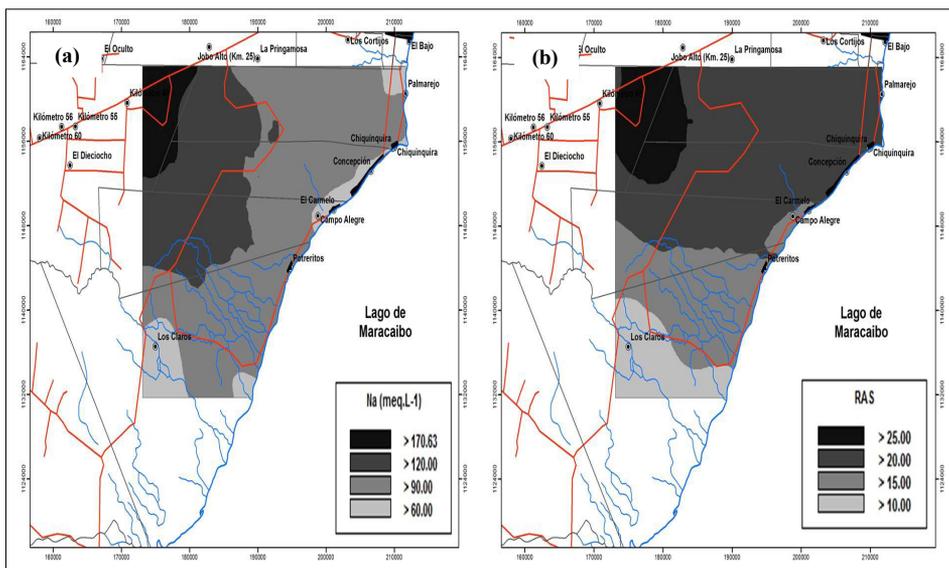
sulfatos y cloruros de sodio, superando 30,00 meq.L<sup>-1</sup> de Cl<sup>-</sup>, 20,00 meq.L<sup>-1</sup> de SO<sub>4</sub><sup>=</sup> y 40,00 meq.L<sup>-1</sup> de Na<sup>+</sup> (García, 2012). La alta presencia de sodio originó un aumento considerable de la RAS mostrando valores mayores a 10,00 en los acuíferos localizados en las parroquias El Carmelo, Concepción, Chiquinquirá y Andrés Bello (figura 4). Estos niveles en la RAS indican que estas aguas tienen severas restricciones de uso para el riego agrícola, requiriendo del uso de enmiendas a base de azufre, acompañadas de prácticas agronómicas para controlar la acumulación de sodio en el suelo y evitar sus efectos adversos sobre la

estructura del mismo (Fernández *et al.*, 2011).

Los elementos trazas o misceláneos mostraron concentraciones dentro de los rangos normales para su uso en el riego agrícola (García, 2012).

## Conclusiones

Los acuíferos localizados en el oeste del municipio La Cañada de Urdaneta mostraron alta concentración de sales solubles y una RAS muy elevada, presentando severas limitaciones de uso en el riego agrícola. Tanto CE como RAS aumentaron a medida que los acuíferos se alejaban de las riberas del Lago de Maracaibo.



**Figura 4. Distribución espacial del contenido de sodio (a) y la relación de absorción de sodio (b) de los acuíferos de las zonas agrícolas del municipio La Cañada de Urdaneta, estado Zulia.**

## Literatura citada

Fernández, A., Villafañe, R. y Hernández, R. 2011. Calidad del agua de riego y afectación de los suelos por sales en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Revista Agronomía Tropical*. 61(3-4): 253-265.

García O., A. 2012. Criterios modernos para la evaluación de la calidad del agua de riego. *Primera Parte. IAH*, 6:27-36.

Kabir, M. S. Paul, D. N. R. Sinh, S. Miah, M. A. M. Panaullah, G. M. y Loepfert, R. H. 2003. Arsenic in irrigation water: Spatial variability of as content and selected chemical parameters-comparison with BGS Data. Disponible en: [www.arsenic.tamu.edu](http://www.arsenic.tamu.edu). Fecha de consulta: mayo 2018.

Larreal, M.; V. Polo; L. Jiménez; L. Mármol y N. Noguera. 2013. Variabilidad de algunas propiedades físicas de la serie “Maracaibo”, sector semiárido de la altiplanicie de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 13(1): 93 - 103.

Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierra (MPPAT). 2008. VII Censo Agrícola Nacional. Disponible en: <http://www.censo.mat.gov.ve>. Consulta 08-07-2015

Nazari-Zade, F. Arshadiyan, F. y Vakily, K. 2006. Study of spatial variability of groundwater quality of balarood plain in Khuzestan province. *Memories of the first congress of optimized exploitation from water source of Karoon and Zayanderood Plain*. Shahre kord University. 1236-1240.

Peters, W. Noguera, N. Materano, G. Aguirre, J. Jiménez, L. Monsalve, E. Moran, J. y Soto, C. 1990. Estudio detallado de los suelos de la hacienda “Alto Viento” Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia. 70 p.

Rice, E. W., R.E. Baird, A.D. Eaton y L. S. Clesceri. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), 1496 p.

Salas, P. y A. Troconis. 2006. Determinación de la presencia de hidrocarburos en las aguas subterráneas de los municipios Maracaibo, Mara, La Cañada de Urdaneta y San Francisco del estado Zulia, mediante técnicas cromatografías. Trabajo Especial de Grado. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela. 143 p.