

Vol. 9 N° 1 • Enero - Junio 2019



## CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO EN LOS ACUÍFEROS DE LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO, VENEZUELA

Quality of irrigation water in the aquifers of the Lake maracaibo basin, venezuela

**Mauricio Montiel**

Facultad de Agronomía, Departamento de Ingeniería Suelos y Aguas  
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela  
mbmontiel@fa.luz.edu.ve

### RESUMEN

La agricultura del estado Zulia es fuertemente dependiente de las aguas subterráneas, especialmente en la zona norte por poseer bajas precipitaciones; sin embargo, la calidad del agua de riego ha sido afectada por diversos factores y aunado a la deficiente documentación actualizada ha generado un impacto negativo en la vegetación, suelos y equipos de riego. Con la finalidad de evaluar la calidad del agua de riego en los acuíferos de la cuenca del Lago de Maracaibo, se utilizó una data georeferenciada de 714 pozos, describiendo las características del pH, CE, IS, ALC, DT, RAS, TDS, concentración de aniones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ) y cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ) para su análisis geoestadístico. Se determinaron los semivariogramas isotrópicos y anisotrópicos de cada variable y se ajustó a un modelo matemático para describir su comportamiento espacial. Se realizó una interpolación por el método de krigage puntual para obtener mapas de distribución espacial y así conocer los acuíferos de baja calidad para su manejo racional en el riego agrícola. Los resultados muestran que los acuíferos localizados en la costa occidental y oriental del Lago de Maracaibo presentaron restricciones de uso para el riego agrícola, por altos niveles de sales solubles,  $\text{Na}^+$ , RAS y carbonatos, especialmente en las zonas de influencia costera del Lago de Maracaibo, siendo los municipios Mara, La Cañada de Urdaneta, Rosario de Perijá, Machiques de Perijá y Jesús Enrique Lossada los más afectados.

Las mayores concentraciones de nitratos se observaron en los acuíferos del municipio Machiques de Perijá, producto de la excesiva fertilización irracional en sistemas de ganadería con pastoreo intensivo.

**Palabras clave:** Agricultura de precisión, variabilidad espacial, geoestadística.

### ABSTRACT

The agriculture of the Zulia state is strongly dependent on groundwater, especially in the northern zone because it has low rainfall; However, the quality of irrigation water has been affected by various factors and, together with the poor updated documentation, it has generated a negative impact on vegetation, soil and irrigation equipment. In order to evaluate the quality of irrigation water in the aquifers of the Maracaibo Lake basin, a georeferenced data of 714 wells was used, describing the characteristics of pH, CE, IS, LAC, DT, RAS, TDS, concentration of anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ) and cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ) for their geostatistical analysis. The isotropic and anisotropic semivariograms of each variable were determined and adjusted to a mathematical model to describe their spatial behavior. An interpolation was carried out by the method of punctual krigage to obtain maps of spatial distribution and thus to know the aquifers of low quality for their rational management in agricultural irrigation. The results show that aquifers located on the western and eastern coast of Lake Maracaibo presented restrictions of use for agricultural irrigation, due to high levels of soluble salts,  $\text{Na}^+$ , RAS and carbonates, especially in areas of coastal influence of Lake Maracaibo, the municipalities Mara, La Cañada de Urdaneta,

Rosario de Perijá, Machiques de Perijá and Jesús Enrique Lossada being the most affected. The highest concentrations of nitrates were observed in the aquifers of the Machiques de Perijá municipality, product of excessive irrational fertilization in livestock systems with intensive grazing

**Keywords:** Precision agriculture, spatial variability, geostatistics.

## INTRODUCCIÓN

Los acuíferos cumplen un papel importante en el desarrollo de diversas actividades socioeconómicas de la población, tal como la agricultura; sin embargo, el aumento demográfico y la creciente demanda de alimentos conllevarán a un incremento en la dependencia del riego agrícola, especialmente en zonas con bajas precipitaciones. En Venezuela se evidencia la importancia de los acuíferos a través de las infraestructuras de riego en 1.055.245 ha, de las cuales 29,2% se localizan en la región centro occidental del país, que incluye al estado Zulia (FAO 2016).

La agricultura de la cuenca del Lago de Maracaibo es fuertemente dependiente de estas fuentes, especialmente en la zona norte y costera por baja pluviosidad; no obstante, la calidad fisicoquímica de estas aguas ha sido afectada por factores litológicos, antrópicos y climáticos. De esta manera, el fortalecimiento del cambio climático, las bajas precipitaciones y la alta extracción de agua subterránea en las zonas costeras han producido la entrada de intrusiones salinas desde el Lago de Maracaibo, contribuyendo a la salinización de estos cuerpos. En consecuencia, el uso de aguas salinas para el riego de cultivos y pastizales ha generado problemas de acumulación de sales sódicas en los suelos de diferentes zonas agrícolas de la cuenca de Lago de Maracaibo, tal como ocurrió en el municipio Mara, limitando la sostenibilidad de los sistemas de producción (Rodríguez 2012, Moreno *et al.* 2015).

Por otro lado, el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados y las altas precipitaciones en zonas ganaderas de Perijá con sistemas de pastoreo intensivos, ha favorecido a la lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  hasta acumularse en los acuíferos (Velazco *et al.* 2009). Asimismo, el factor litológico ha intervenido en la calidad fisicoquímica de las aguas subterráneas, a través de los procesos hidrogeoquímicos con el material parental de los acuíferos, tal como ha ocurrido en los acuíferos del municipio Rosario de Perijá, por la presencia de aguas con altos niveles de

sodio (Vegas 2016). Asimismo, en los acuíferos del sur del Lago de Maracaibo, Montero *et al.* (2007) señalaron aguas con altos contenidos de sodio y calcio, debido a los procesos de intercambio catiónico producto de las acumulaciones sedimentarias de la génesis de estas fuentes.

Las limitantes de la calidad del agua de los acuíferos de la cuenca del Lago de Maracaibo, dificulta el desarrollo de las actividades agrícolas, puesto que actualmente no se ha documentado el estado vigente de la calidad del agua para riego; por lo tanto es necesario evaluar las características y su distribución para brindar una herramienta de apoyo a productores que no dispongan de un análisis de la calidad del agua para el riego. De esta manera, se cuenta con el análisis geoestadístico y los sistemas de información geográfica (SIG), que permiten obtener información precisa sobre la variabilidad espacial en la calidad de las fuentes de agua en una región. Los resultados de estas tecnologías han servido como apoyo para el uso eficiente de los acuíferos de baja calidad en diferentes zonas agrícolas del mundo, permitiendo su óptima conservación para garantizar la sostenibilidad de la producción agropecuaria. La importancia de las aguas subterráneas y la diversidad de sus características, justificaron el desarrollo de esta investigación, con el objetivo de evaluar la calidad del agua de riego en los acuíferos de la cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela. Para esto se analizó la distribución espacial de los parámetros físico-químicos de estos acuíferos y se construyeron mapas de distribución espacial, a fin de detectar zonas con aguas de baja calidad para recomendar prácticas de manejo racional en pro de la conservación de acuíferos, suelos y equipos de riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La red de acuíferos evaluados se localizan en los municipios de la costa occidental, oriental y zona sur de la cuenca del Lago de Maracaibo (Fig. 1), con características climáticas que van desde bosque muy seco tropical y bosque seco tropical en la zona norte, hasta bosque sub húmedo tropical y bosque húmedo tropical en el sur de la cuenca. La temperatura promedio anual oscila alrededor de 28 °C y el régimen pluviométrico es bimodal, con precipitaciones promedios que va aumentando desde 250  $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$  en la zona norte, hasta 3.500  $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$  en el sur del Lago de Maracaibo (INAMEH 2017).



ción esférica y exponencial en Z1 y Z4, mientras que en Z2 y Z3 se obtuvo una mayor precisión con un modelo esférico; siendo estos modelos los más utilizados para describir la variabilidad espacial de las propiedades físico-químicas del agua para riego en investigaciones precedentes por Moreno *et al.* (2015). Los semivariogramas obtenidos para la mayoría de las variables analizadas, mostraron un

alto coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que osciló entre 75-90% y un bajo efecto pepita ( $Co < 25\%$ ), indicando la ausencia de varianza aleatoria y la existencia de una fuerte dependencia espacial (Fig.2a). Es decir que son variables altamente predecibles al momento de realizar un análisis de calidad del agua en un sitio no muestreado, según el señalamiento de Cambaradella *et al.* (1994).

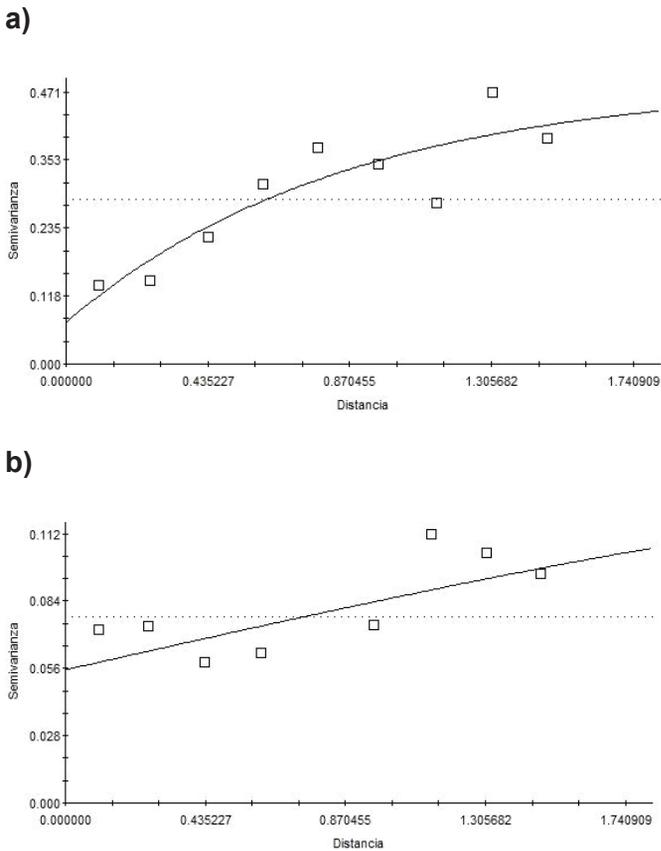
**Tabla 1. Estadística descriptiva de la calidad del agua para riego en los acuíferos de la cuenca del Lago de Maracaibo**

VARIABLE	ZONA	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	C. V. (%)
Cl <sup>-</sup>	Z1	65,5	2,00	930,00	206,76
	Z2	21,71	2,00	115,00	133,00
	Z3	4,8	1,00	12,00	29,16
F <sup>-</sup>	Z1	0,11	0,00	1,3	163,00
	Z4	0,30	0,00	1,00	90,00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Z1	125,45	1,00	404,11	84,00
	Z4	227,00	1,00	551,51	57,70
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Z1	1,53	0,00	26,5	339,00
	Z4	0,12	0,00	3,8	366,00
pH	Z1	6,46	5,7	8,00	7,69
	Z2	7,05	6,0	8,8	11,42
	Z3	6,85	6,6	7,4	10,43
CE	Z1	0,16	0,10	4,00	218,18
	Z2	0,65	0,21	2,5	148,68
	Z3	0,39	0,035	0,70	37,44
IS	Z1	-0,64	-5,00	1,90	166,57
	Z2	-0,97	-3,05	1,00	62,70
	Z3	-0,85	-3,90	0,40	72,83
ALC	Z1	73,42	1,00	628	142,46
	Z4	214,00	20,00	452	392,99
DT	Z1	47,00	1,00	652	244,68
	Z4	104,98	12,00	380	84,61
RAS	Z1	2,33	0,00	13,00	106,00
	Z4	2,04	0,00	5,00	90,39

Fuente: Datos de la investigación (2018).

En contraste, se observaron variables (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe<sup>2+</sup> en Z1) con moderados efectos pepita ( $Co$  25-50%), tal como se refleja en la Figura 2b, presentando una moderada dependencia espacial (50%),

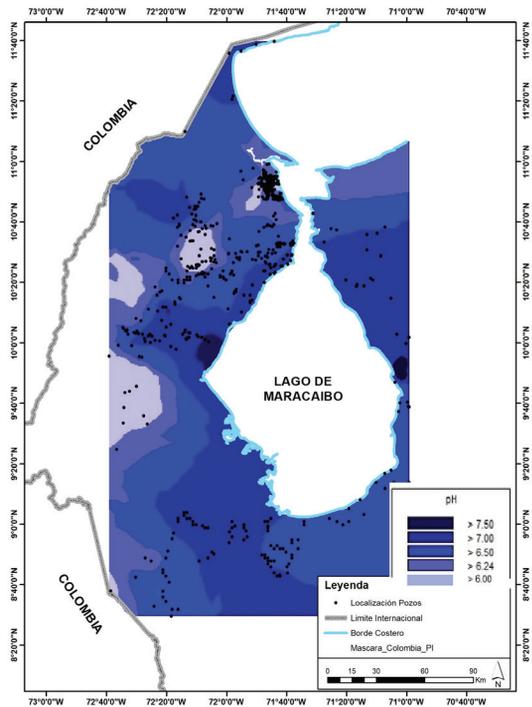
implicando que la red de muestreos para estas variables debe realizarse a menores distancias para obtener una mayor precisión en los parámetros de los semivariogramas.



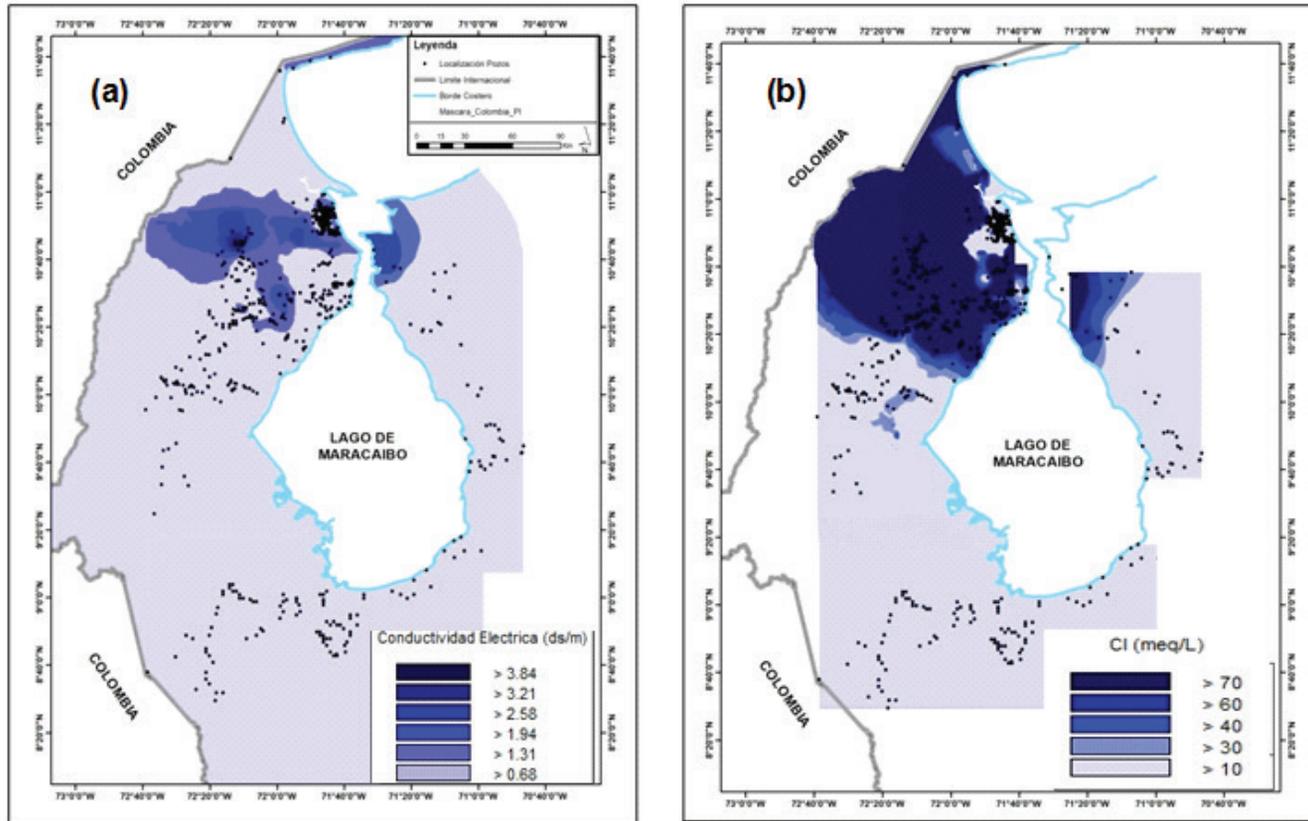
**Figura 2. Semivariograma isotrópico de a) IS, b) Fe<sup>2+</sup> en los acuíferos de la costa occidental de la cuenca del Lago de Maracaibo**  
 Fuente: Datos de la investigación (2018).

El pH de las aguas evaluadas se encontró dentro de los valores normales (6,0 y 7,5), establecidos para el uso en el riego agrícola por la FAO (1986) (Fig. 3). En los municipios Rosario y Machiques de Perijá presentaron los mayores valores de pH (>7,5), posiblemente asociado a los aportes sedimentarios del río Palmar que son ricos en carbonatos de calcio y magnesio, y al material parental de origen marino (Vegas, 2016). Por otro lado, en los acuíferos de la costa oriental del Lago, el pH aumenta hacia el municipio Baralt, pudiéndose deber a las características químicas de los suelos (pH alcalinos) ricos en carbonatos de calcio y magnesio, provenientes de los aluviones del río Motatán (Noguera *et al.* 1994, Umbría 2002). En los acuíferos de la zona del sur del Lago, se observó que los mayores valores de pH se ubican en los Municipios Colón, Catatumbo y Francisco Javier Pulgar, lo cual podría estar explicado por la evolución geoquímica de intercambio catiónico y a la disolución de calcitas en la formación de estas fuentes y coincide con el reporte de Montero *et al.* (2007).

El patrón de distribución espacial de CE, Cl-, SO<sub>4</sub>=, HCO<sub>3</sub>-, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> en Z1, presentó una estricta correlación espacial, mostrando valores por encima de los límites recomendados para el uso en el riego, siendo los municipios Jesús Enrique Lossada y Rosario de Perijá los más afectados (Fig.4 a,b) probablemente asociado al aporte de sales por los procesos hidrogeoquímicos con el material parental de origen marino ocurridos en la formación de los acuíferos en estas localidades (Vegas 2016). Por otro lado, los acuíferos del municipio Mara muestran altos valores de CE (4,0 dS·m<sup>-1</sup>), como consecuencia de las intrusiones salinas ocasionadas por la sobre utilización de estas fuentes; similares resultados fueron reportados por Moreno *et al.* (2015) y Rodríguez (2012).



**Figura 3. Distribución espacial del pH en los acuíferos de la cuenca del Lago de Maracaibo**  
 Fuente: Datos de la investigación (2018).

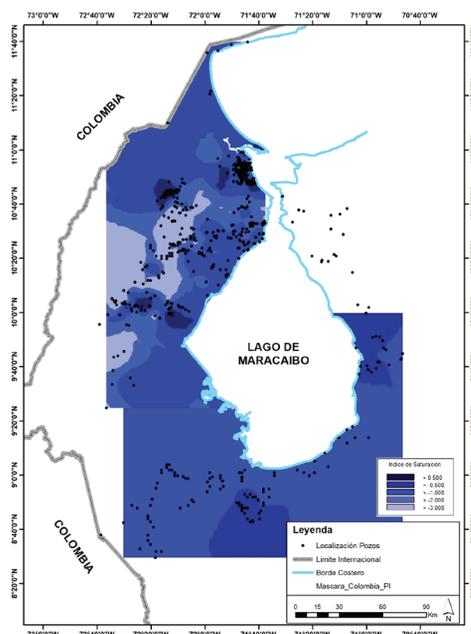


**Figura 4. Distribución espacial de: a) CE , b) Cl<sup>-</sup> en los acuíferos de la cuenca del Lago de Maracaibo**  
Fuente: Datos de la investigación (2018).

Los altos valores de CE en estos acuíferos implican un alto grado de restricción para el riego agrícola, y que podrían causar el aumento en los problemas de las propiedades físico-químicas de los suelos (salinización) y la disminución de los rendimientos de los cultivos y pastizales (FAO 1986). Es necesario desarrollar cálculos sobre el coeficiente de transmisividad para conocer el balance de la oferta y demanda de agua en los acuíferos del municipio Mara, a fin de conocer la capacidad de respuesta a su recarga, para disminuir la sobreutilización. Por otro lado se requiere la implementación de buenas prácticas que mitiguen los problemas señalados, como el uso de sistemas de riego por goteo y la incorporación de tecnologías innovadoras como es el caso de la desalinización por osmosis inversa.

Los valores del índice de saturación (IS) en los acuíferos de Z1 (Fig. 5), muestran que estas aguas tienen un alto potencial corrosivo (<-2,50) sobre los sistemas de riego al utilizarse en la agricultura

(FAO 1986). Sin embargo, existe una disminución de este problema (>-0,50) en los municipios La Cañada de Urdaneta, Rosario de Perijá y Machiques de Perijá, a causa de la presencia de aguas saturadas con carbonatos de calcio y magnesio (Peters *et al.* 1990). El patrón de distribución de este parámetro coincide con el comportamiento espacial del contenido de calcio y magnesio, así como también para el pH (Fig. 3), observándose que los niveles de esta variable aumenta a medida que el pH disminuye de las riberas del Lago de Maracaibo en la costa occidental. Por otro lado, se observó que el patrón de distribución de la CE posee correlación espacial con el IS, encontrándose las aguas corrosivas en niveles bajos de CE y aguas incrustantes en niveles altos de CE (Fig. 4a).



**Figura 5. Distribución espacial del IS en los acuíferos de la cuenca del Lago de Maracaibo**

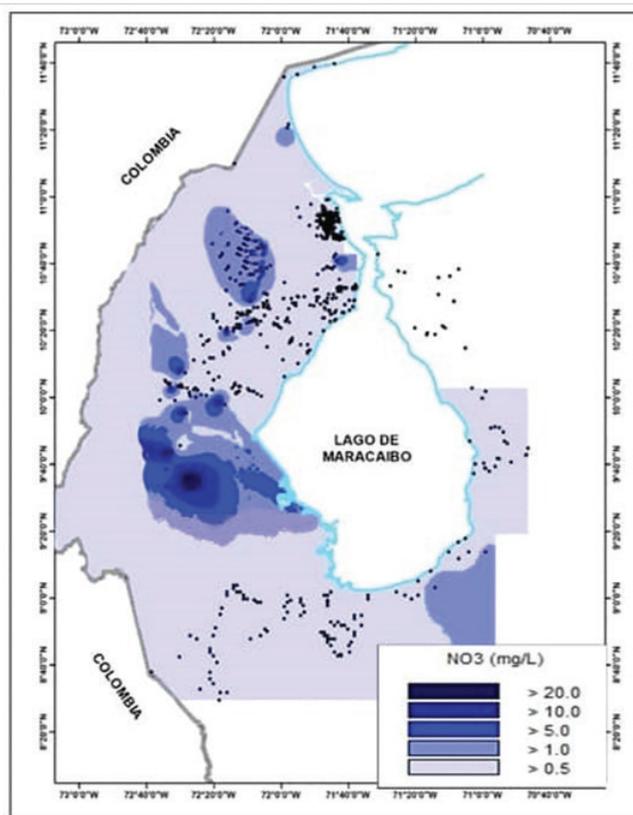
Fuente: Datos de la investigación (2018).

Los mayores valores de hierro en los acuíferos evaluados, se observaron en la Z1, específicamente en los municipios Jesús Enrique Lossada, Rosario de Perijá y Machiques de Perijá, cuyos valores sobrepasan los límites permisibles para el riego agrícola ( $> 5,00 \text{ mg/L}^{-1}$ ), presentando restricciones en su uso y acarreado problemas en la obstrucción de tuberías y equipos de riego (FAO 1986). Las concentraciones de este elemento pudieran estar explicadas a la disolución de rocas ferrosas, produciendo la oxidación del hierro de su forma ferrosa a férrica, prediciendo la insolubilidad en el agua. Es por ello que se recomienda la oxidación de este elemento a través de la aireación del agua para la precipitación de su forma férrica, para así disminuir el deterioro de tuberías y equipos de riego (FAO 1987, Padilla 2010).

Los niveles de ALC y DT de las aguas evaluadas en Z1, mostraron valores que sobrepasan los límites permisibles para el riego agrícola ( $150 \text{ mg/L}^{-1}$  para ALC y  $180 \text{ mg/L}^{-1}$  para DT), siendo los municipios Jesús Enrique Lossada, Rosario de Perijá y Machiques de Perijá los más afectados. Por otro lado, en el municipio Baralt los valores de ALC y DT sobrepasan los límites permisibles para el riego, encontrándose aguas con  $452 \text{ mg/L}^{-1}$  de carbonatos, probablemente asociado al lavado de  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$  del material parental de los suelos originarios de los aluviones del río Motatán, que se acumulan en los acuíferos de la zona (Noguera et

al. 1994, Umbría 2002). Asimismo, las zonas afectadas por la presencia de aguas duras y alcalinas, deben implementarse manejos agronómicos como la aplicación de materiales acidificantes a fin de disminuir las obstrucciones de los equipos de riego y el aumento de la alcalinidad de los suelos (FAO 1986). Cabe destacar que los niveles de estos parámetros coinciden con el patrón de distribución espacial del pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e IS (Figs. 3 y 5).

El patrón de distribución espacial del contenido de nitratos en los acuíferos evaluados (Fig. 6) muestran una contaminación puntual en Z1 (municipios Jesús Enrique Lossada y Machiques de Perijá) y Z2 (municipio Sucre); sin embargo, los niveles de este compuesto no sobrepasan el rango estándar establecido por la Organización Mundial de la Salud (50 ppm), pero sobrepasaría los niveles encontrados (26 ppm) si no se toman medidas de prácticas de fertilización racional. La presencia de este compuesto estaría acentuada por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en sistemas de pastoreo intensivos localizados en estas zonas con características edafoclimáticas que favorece la lixiviación del  $\text{NO}_3^-$  (texturas gruesas de los suelos y altas precipitaciones) hasta acumularse en los acuíferos. Cabe destacar, que la presencia de las altas concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  en los acuíferos de los municipios Machiques de Perijá y Sucre también fue reportada por Velazco *et al.* (2009) y Montero *et al.* (2007).



**Figura 6. Distribución espacial del contenido de  $\text{NO}_3^-$  en los acuíferos de la cuenca del Lago de Maracaibo**

Fuente: Datos de la investigación (2018).

Para disminuir la lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  se recomienda la utilización racional de agroquímicos a través de programas de fertilización, de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas de la zona (texturas de los suelos y altas precipitaciones). La aplicación de la dosis correcta de los fertilizantes nitrogenados y su fraccionamiento disminuirá la lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  y su acumulación en los acuíferos. Otras de las prácticas para reducir este problema corresponden al uso de fertilizantes amoniacales de lenta liberación, así como la inoculación de organismos inhibidores de la nitrificación.

## CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la calidad del agua para riego en los acuíferos localizados en la costa occidental y oriental del Lago de Maracaibo presentaron restricciones de uso para el riego agrícola por altos niveles de sales solubles,  $\text{Na}^+$  y carbonatos, especialmente en las zonas de influencia costera del Lago de Maracaibo, siendo los municipios Mara, La Cañada de Urdaneta, Rosario de Perijá,

Machiques de Perijá y Jesús Enrique Lossada los más afectados. Los problemas por corrosión férrica se localizaron en los acuíferos de los municipios Rosario de Perijá y Jesús Enrique Lossada. Las mayores concentraciones de nitratos se encontraron en los acuíferos de los municipios Machiques de Perijá, Rosario de Perijá y Jesús Enrique Lossada. Todos los parámetros evaluados (excepción de  $\text{NO}_3^-$ ) presentaron una estricta correlación espacial, específicamente en el cuadrante noroeste de cuenca (municipios Jesús Enrique Lossada y Rosario de Perijá) indicando que su comportamiento se debe a factores litológicos de procesos hidrogeoquímicos con materiales de origen marino depositados en la era cuaternaria de la formación de la cuenca del Lago de Maracaibo. El comportamiento de nitratos se debe a contaminaciones puntuales producto de la actividad antrópica.

## RECOMENDACIONES

Es recomendable el uso de enmiendas para corregir los problemas de sodio y carbonatos de los acuíferos; en tanto que los problemas por corrosión férrica se manejan con tratamientos de oxigenación de las aguas al momento del bombeo para evitar el impacto negativo en los equipos de riego. Los excesos de nitratos requieren de ajustar los planes de fertilización en los sistemas de pastoreo intensivo a fin de evitar la lixiviación de los residuos hasta los acuíferos. Por otro lado, se debe de incrementar el número de observaciones para obtener mayor precisión en las variables de la calidad del agua para riego, especialmente en la costa oriental del Lago de Maracaibo, ya que presentó la menor cantidad de pozos georreferenciados. Se recomienda desarrollar cálculos de coeficiente de transmisividad en los acuíferos del municipio Mara para conocer el balance de la oferta y demanda de agua, a fin de disminuir la sobre utilización. Se exhorta a los institutos municipales de ambiente realizar un análisis espacial semi-detallado por municipios (escala 1:25.000) para obtener mayor precisión y confiabilidad en el comportamiento de las propiedades químicas del agua para riego, y así brindar apoyo a los productores agrícolas. Realizar un análisis espacio-temporal para conocer los cambios que han ocurrido desde el año que se muestreó este trabajo hasta la actualidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cambardella C. A., Moorman T. B., Parkin T. B., Karlen D. L., Novak J. M., Turco R. F. y Konopka A. E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*. 58(5): 1501-1511.
- Food and Agricultural Organization (FAO). 1986. Soil survey investigations for irrigation. *FAO Soils Bulletin* 42, Rome, Italy. 188 p.
- Food and Agricultural Organization (FAO). 2016. Sitio web AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Glosario de términos. Consultado el [11-05-2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/glossary/search.html>
- Instituto Nacional de hidrogeología y Meteorología (INAMEH). (2019). Glosario de términos. Disponible en: Instituto Nacional de hidrogeología y Meteorología. (INAMEH). 2006. Glosario de términos. Consultado: 30-08-2019.
- Noguera. N., Peters. H., Jimenez. L., Moreno. J. (1994). Centro de información y referencia de suelos para la cuenca del Lago de Maracaibo. I Caracterización química y mineralógica de los suelos de la colección. Trabajo subvencionado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humánico (CONDES) de la Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
- Montero R., Yanes. C., Redondo R. (2007). Evolución geoquímica e identificación de los procesos que controlan la composición química de las aguas subterráneas de la región sur-central, Cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Memorias del IX Congreso Geológico Venezolano*. 22/11/2007. Consulta 01-06-2017. Disponible en: <http://www.coordinv.ciens.ucv.ve/investigacion/genci/sitios/10/archivos/H9A-235.pdf>
- Moreno M., Molina N., Caldera E., Salcedo E., Medina M., Peña G. E. (2015). Variabilidad espacial de los acuíferos disponibles para la agricultura en la altiplanicie de Maracaibo del estado Zulia. *Memorias de la XXI Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*, San Cristóbal, Edo. Táchira. Consulta: 15-05-2017. Disponible en: <http://www.libreonline.com/venezuela/libros/106449/sin-autor/memorias-xxi-congreso-venezolano-de-la-ciencia-del-suelo.html>
- Rodríguez R. (2012). Afectación de los agrosistemas de la zona del Caño San Miguel por la salinización de los suelos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, España. 132 p.
- Padilla P. (2010). Diseño y construcción de una planta doméstica de remoción de hierro por el método oxidación filtración de aguas de pozos subterráneos. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Químico. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.
- Peters, W., Noguera N., Materano G., Aguirre J., Jiménez L., Monsalve E., Moran J., Soto C. (1990). Estudio detallado de los suelos de la hacienda "Alto Viento" Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia. 70 p.
- Umbría. N., Mora. L., Jégat. H., Trezza. R., Mejias. J., Araujo. L., Rodríguez L. (2002). Análisis espacial de la salinidad del acuífero en la planicie aluvial del río Motatán - Trujillo. Mérida, Venezuela. *Geoenseñanza*. 7 (1-2): 74-78.
- Vegas D. (2016). Estudio hidrogeoquímico y de la calidad de las aguas subterráneas a partir del método estadístico fuzzy set en la cuenca del río Palmar, municipio Rosario de Perijá, estado Zulia. Trabajo Especial de Grado. Universidad central de Venezuela. 122-123 p. Consulta 07-06-2017. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/14671/1/TEG%20Denis%20S.%20Vegas%20R.pdf>
- Velazco K., Noguera N., Jiménez L., Larreal M., Ettiene G. (2009). Evaluación de nitratos y nitritos lixiviados en un sistema de pastoreo intensivo usando fertilizantes nitrogenados. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 26(1): 23-38.