

## CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR CENTRO OCCIDENTAL DEL MUNICIPIO MIRANDA (ESTADO ZULIA, VENEZUELA)

### GROUNDWATER'S QUALITY IN WEST CENTRAL SECTOR OF MIRANDA MUNICIPALITY (ZULIA STATE, VENEZUELA)

Gutiérrez, Janet<sup>1</sup>, Marín, Julio<sup>1</sup>, Paris, Marta<sup>2</sup>

#### Resumen:

Desde hace pocos años los organismos competentes en Venezuela han iniciado la evaluación de los acuíferos subterráneos, para conocer la cantidad y calidad del agua disponible. Sin embargo, en muchas regiones remotas del país no existe información alguna con relación a estas fuentes de abastecimiento. El objetivo de este trabajo consistió en describir la calidad del agua de 32 pozos profundos del sector centros occidentales del municipio Miranda del estado Zulia (Venezuela), destinados a uso doméstico y/o riego. Se realizaron tres muestreos con una frecuencia de dos meses, incluyendo pozos comunitarios (público) y de uso privado. Se analizaron los siguientes parámetros de acuerdo con los métodos estándares: pH, color aparente, turbidez, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, cloruro, sulfato, sodio, dureza total, hierro total, manganeso total, bacterias coliformes totales y fecales, y metales traza. Los resultados indican que las aguas subterráneas del sector centro occidental del municipio Miranda, pueden considerarse aguas subtipo 1C, de acuerdo con la legislación venezolana, pudiendo ser adecuadas para uso doméstico y/o riego, luego de su acondicionamiento por procesos de potabilización no convencionales.

**Palabras clave:** Calidad de agua subterránea, contaminación de acuíferos, normativa ambiental venezolana, pozos profundos, usos del agua.

#### Abstract:

In recent years, the competent agencies of Venezuela have started assessing groundwater aquifers, to know the quantity and quality of water available, however, in many remote regions of the country there is no information regarding these supply sources. The aim of this study was to describe the water quality of 32 deep wells in the west central area of municipality's Miranda from Zulia state (Venezuela), destined for domestic use and/or irrigation. Three samplings were conducted with a frequency of two months, including community wells (public) and private use. The following parameters according to standard methods were analyzed: pH, apparent color, turbidity, electrical conductivity, total dissolved solids, chloride, sulfate, sodium, total hardness, total iron, manganese complete, fecal and total coliform bacteria, and trace metals. The results indicate that groundwater in the west-center area of municipality Miranda can be considered subtype 1C, according to Venezuelan law, and may be suitable for domestic use and/or irrigation, after its conditioning by non-conventional water treatment processes.

**Keywords:** Aquifers' pollution, deep wells, groundwater quality, Venezuelan environmental regulations, water uses.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según el informe presentado por la Organización de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el Mundo (UNESCO, 2003), la Tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida, que incluyen a más de 6.000 millones de seres humanos, se enfrenta en este comienzo del siglo XXI con una grave crisis de agua. Todas las señales parecen indicar que la crisis se está empeorando y que continuará haciéndolo, a no ser que se emprenda una acción correctiva. La creciente demanda del agua a escala mundial acompaña a la disminución de su disponibilidad, aunado a la desigual distribución tempo-espacial de la precipitación, a la contaminación de las fuentes, y quizás a la influencia de los cambios globales, ello ha provocado que el hombre ponga sus esfuerzos

en buscar fuentes alternativas de agua, orientándose hacia el aprovechamiento de las aguas subterráneas, las cuales pueden estar afectadas por un mal uso, tanto del suelo como del agua (Coello y otros, 2002).

Venezuela está haciendo esfuerzos por cuantificar y determinar la calidad de sus recursos hídricos subterráneos a través de entes gubernamentales y universidades. A través de este trabajo se logró inventariar un total de 50 000 pozos a nivel nacional (fines domésticos, agrícolas e industriales), pero se estima que para los mismos fines se hayan construido un total de unos 100 000 pozos (Dautant y Guevara, 2011). Sin embargo, el nivel de estudio que amerita la problemática del agua en cuanto a suministro, calidad y continuidad, no ha sido

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería. La Universidad del Zulia, Apartado Postal 526, Maracaibo 4011, Venezuela.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Argentina.  
E-mail: parismarta@gmail.com / janetgutierrez0@gmail.com

suficiente para conocer el recurso a nivel técnico y diseñar estrategias de gestión que permitan la protección de la fuente, suministro y uso racional del recurso a una escala local.

El municipio Miranda del estado Zulia, carece de fuentes de aguas superficiales, el área urbana depende de fuentes estatales vecinas y el área rural de sus aguas subterráneas. El escaso conocimiento de los recursos hídricos subterráneos, especialmente en términos de calidad y conveniencia para fines domésticos y/o agropecuarios ha provocado en ciertos casos desconfianza en su consumo debido a algunas características organolépticas presentes, asimismo dificulta su gestión a nivel municipal para su uso así como la aplicación de tratamientos con bajos costos de instalación y operación en relación a la importancia de los resultados que pueden obtenerse en la mejora de la calidad de la fuente (Vidoni y otros, 2000).

Esta última situación, sumada a la creciente demanda del recurso tanto para uso doméstico como riego e industrial, ha volcado cada día más la mirada y con mayor interés hacia la explotación de sus aguas subterráneas. Pero el escaso conocimiento, fundamental para plantear medidas más adecuadas en su gestión, así como la carente existencia de programas de evaluación y protección por parte de la municipalidad, expresan en peligro potencial de recursos subterráneos como fuente de abastecimiento. Del mismo modo, es importante no olvidar que, eventualmente, en función de la calidad del agua subterránea el tipo de suelo, la sensibilidad a las sales disueltas del rubro vegetal a explotar, de la precipitación, caudal, sistema de riego y otras variables necesarias a tomar en consideración, pueden resultar en que el agua subterránea también podría ser empleada para el riego agrícola (Ortega y Orellana, 2007; Zérega y otros, 1991).

El presente trabajo tiene como objetivo general describir la calidad de agua subterránea del sector centro occidental del municipio Miranda del estado Zulia (Venezuela), con la finalidad de establecer su adecuación a los criterios establecidos en la legislación vigente para uso doméstico y riego. Se considera que este diagnóstico preliminar es fundamental para encarar cualquier plan de gestión de los reservorios de agua subterránea que atienda la seguridad hídrica de la población.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La zona centro occidental del municipio Miranda del estado Zulia posee un clima semiárido, precipitación promedio anual del orden de 650mm. Fisiográficamente es una planicie, de la depresión del Lago de Maracaibo, cuenca sedimentaria, originada durante el cenozoico como contrapunto del levantamiento de los sistemas montañosos. Forma parte del eje costero de Venezuela, geológicamente formado por aluviones. Algunas de las formaciones

involucradas en el área de estudio y de las cuales se puede observar afloramientos son (PDVSA, 1997):

- i. Formación El Milagro: caracterizada por contener arenas friables, finas a gruesas, muy micáceas, limos, interestratificados con arcillas arenosas, rojas y pardas amarillentas, y lentes lateríticos bien cementados. Presenta dos capas de arcillas arenosas y limosas que cubren horizontes caracterizadas por abundantes nódulos de hierro.
- ii. Formación Tiguaje: donde algunas secciones estudiadas en la superficie, consisten en arcillitas, con espesores variables entre 1.50 a 50 m, donde se encuentran abundantes niveles ferruginosos en las intercalaciones de hasta 5 m de areniscas friables generalmente masivas, de color gris claro o rojizo según el contenido de material ferruginoso.

El área de estudio abarca una superficie de 54 869 ha de zona rural (Figura 1) que representa aproximadamente el 29,3% del municipio Miranda.

De un total de 103 pozos identificados y georreferenciados espacialmente en un mapa escala 1:100.000, fueron seleccionados 32 pozos profundos para el monitoreo, de los cuales 18 pozos eran comunitarios, con mayor uso doméstico y 14 pozos privados con fines agropecuarios. Los criterios tomados en consideración para la selección de los pozos a monitorear fueron: prioritariamente pozos comunitarios, estado de funcionamiento, distancia entre pozos existentes en la zona, información disponible de los mismos y accesibilidad.

Los muestreos se realizaron según diseños de rutas, planificadas según la distancia de los caseríos involucrados, estado de la vialidad, estado del tiempo, distancia entre puntos de muestreos y distancia hasta el laboratorio receptor de las muestras colectadas. Cada ruta era diseñada con un día de antelación a la salida de campo, según el cumplimiento del diseño anterior. Se realizaron tres muestreos con una frecuencia de dos meses, los cuales abarcaron el período entre octubre-2012 y febrero-2013.

La recolección de muestras y las determinaciones analíticas a los fines de caracterizar las muestras de cada uno de los pozos monitoreados, fue realizada según los procedimientos establecidos según APHA (2005): recolectadas por bombeo de agua del pozo y dispuestas en recipientes plásticos de 1 litro, posteriormente se refrigeraron con hielo para su transporte al laboratorio. Las muestras para análisis microbiológicos se colectaron en frascos de vidrio estériles.

Los parámetros analizados fueron: pH, color aparente, turbidez (T), conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), cloruro (Cl<sup>-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), sodio (Na<sup>+</sup>), dureza total, hierro total, manganeso total, bacterias coliformes totales y fecales, y metales traza (Al, V, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Ag, Hg, Li, Pb, Ba y Se).

Con los valores obtenidos de los parámetros evaluados, se analizó la calidad del agua subterránea con base en la normativa legal vigente (Decreto 883/1995), que determina las normas para la clasificación y el

control de la calidad de los cuerpos de agua y de los vertidos líquidos. Ello permite establecer su posible uso doméstico y/o agrícola conforme la clasificación que se muestra en la Tabla 1.

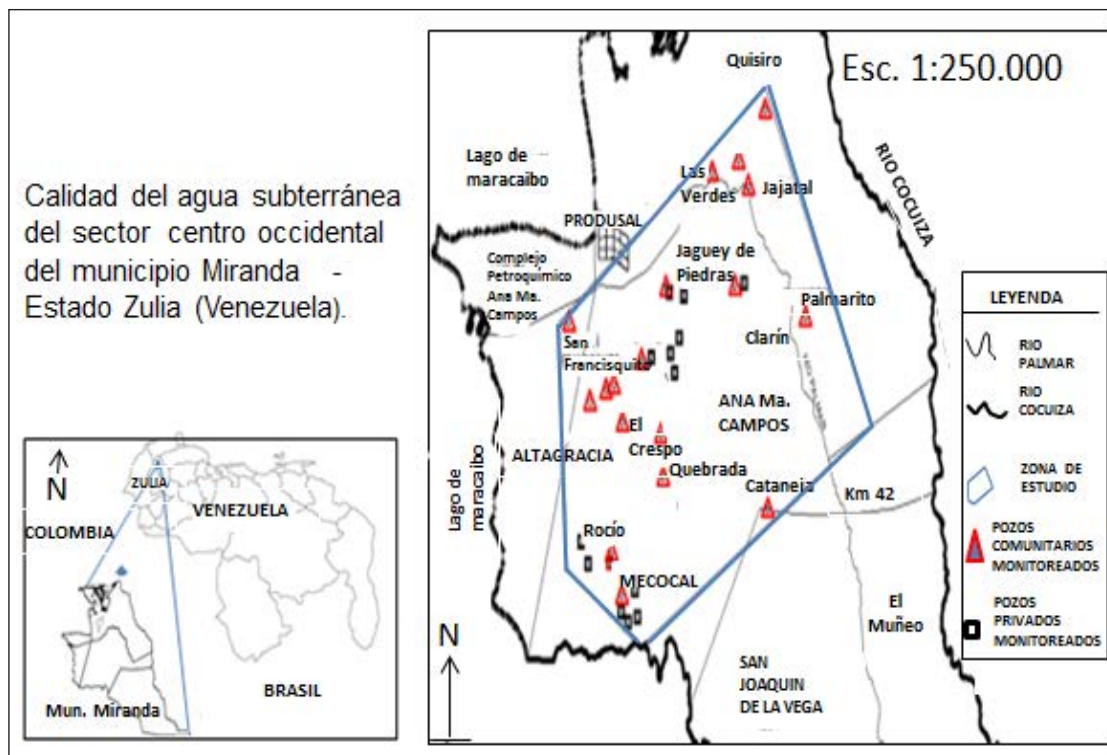


Figura 1. Área de estudio y ubicación de los pozos monitoreados en el municipio Miranda

Tabla 1. Aptitud del agua para uso doméstico y/o agrícola

Clasificación	Características
subtipo 1A	Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes
subtipo 1B	Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración
subtipo 1C	Aguas que pueden ser acondicionadas por procesos de potabilización no convencional
subtipo 2A	Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.
subtipo 2B	Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario

En el análisis estadístico de resultados se calcularon las medias aritméticas y las desviaciones estándares. Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, con la finalidad de determinar las diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos monitoreados, considerando el origen (32 pozos en total) y la procedencia (comunitario Vs. privado). Antes de realizar el ANOVA se comprobaron, tanto la homogeneidad de las varianzas (Test de Bartlett), como la distribución normal de los residuos (Test de Kolmogorov-Smirnov). Para el tratamiento estadístico se utilizó el programa IBM SPSS Statistics.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización fisicoquímica de las aguas de los pozos comunitarios y privados monitoreados se presenta en las Tablas 3 y 4, respectivamente, mostrando diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ) entre los diferentes pozos (origen) para los siguientes parámetros: pH, color aparente, sólidos disueltos totales (SDT), Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Na<sup>+</sup>, dureza total, Mn<sup>+2</sup> e hierro total. No se encontraron diferencias significativas con respecto a la procedencia (comunitario Vs. privado), ni para la interacción procedencia/origen.

En el área de estudio no se encontraron estudios previos relacionados con aguas subterráneas y el

nivel de información geológica no es detallado. Se infiere que las diferencias mostradas en relación a los resultados obtenidos de los parámetros evaluados, entre los pozos monitoreados, pudiesen tener origen geológico y/o influencia costera, puesto que la actividad industrial es muy baja y la zona es rural con poca a mediana actividad agropecuaria.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los parámetros evaluados, sólo dos pozos (6,2 %) cumplieron con los límites exigidos por la normativa venezolana, para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes como aguas tipo 1, subtipo 1A (C1 y B4), las cuales desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes, igualmente cumplen para aguas tipo 2.

Dentro de los parámetros evaluados, cuyos valores excedieron los límites establecidos por la norma se mencionan: hierro total, manganeso, sodio, sulfato y pH. Las aguas de los pozos monitoreados, que excedieron al menos uno de estos parámetros, cumplen para aguas subtipo 1C y/o tipo 2, requiriendo las aguas tipo 1C (93,8 % de los pozos monitoreados), ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional, para ser utilizadas con fines de uso doméstico y al uso industrial que requieran agua potable y en el caso de las aguas tipo 2 (65,6 %), las aguas de los pozos monitoreados superaron los límites exigidos por la norma para uso agropecuario.

Con relación a los valores de concentración de hierro total, el 65,6 % de los pozos monitoreados presentaron valores mayores a 1 mg/L; valor límite para aguas sub-tipo 1C de la norma venezolana. El 56,3 % de los pozos monitoreados presentaron valores de  $Mn^{+2}$  mayores a 0,1 mg/L, lo cual establece que dichas aguas son de tipo 1C, y el 21,9 % exhibieron concentraciones mayores a 0,5 mg/L, no pudiendo ser empleadas para fines agropecuarios. La presencia de estos dos elementos se infiere tengan relación con las formaciones geológicas involucradas en el área de estudio (Formaciones Milagros y Tiguaje) (PDVSA, 1997), las cuales pudiesen aportar estos elementos a través de sus horizontes caracterizados por la presencia de abundantes nódulos de hierro y sus areniscas friables con material ferruginoso. De esta manera, se presume que ambos elementos podrían tener relación con la disolución de materiales ferromagnesianos presentes en la litología que constituyen los Andes venezolanos, aunado a ello la heterogeneidad litológica de la zona de estudio, terrenos originados en el cuaternario (Montes y otros, 2007).

Algunos de los pozos monitoreados, donde las aguas analizadas presentaron valores de concentración de hierro total que no cumplieron con los límites exigidos por la norma venezolana fueron: M4, M6, W2 y B8, P6, W1A y P4, asimismo los pozos W2, M6, y M4, M1, en relación a los valores de  $Mn^{+2}$ .

Con relación al color y el hierro, Vidoni y otros (2000) señalan que las aguas que poseen este último elemento en forma de Fe (II), produce color, requiriendo tratamientos especiales para su remoción, tal es el caso de los pozos M3 y B8, los cuales presentaron valores de color aparente y contenido de hierro total mayor a 4,10 mg/L y 50 UC-Co-Pt, respectivamente, produciendo a nivel de comunidad desagrado tanto estético como de sabor. Según Piña y otros (2002) la tonalidad oscura se debe a la oxidación del hierro soluble presente en el agua, éste al oxigenarse o estar en contacto para aguas con el oxígeno del aire, se precipita generando colores oscuros y rechazo en el consumidor.

Según los resultados obtenidos, el 12,5 % de las aguas de los pozos monitoreados presentaron valores de SDT <1500 mg/L, por lo que pueden ser acondicionadas por procesos de potabilización no convencionales (subtipo 1C). En este sentido, la norma venezolana limita el uso de estas aguas (tipo 2), con fines agropecuarios cuando los valores exceden los 3000 mg/L (valor límite establecido en el Decreto 883/1995), situación ésta que no se presentó en los pozos monitoreados.

La norma venezolana limita la concentración de  $SO_4^{-2}$ ,  $Na^+$  y  $Cl^-$  a valores de 400, 200 y 600 mg/L, respectivamente, para aguas Tipo 1, no limitando las concentraciones para uso agropecuario (aguas tipo 2). En este estudio, concentraciones bajas de  $SO_4^{-2}$  se observaron en la zona noroeste, en pozos los denotados como P1, P4, P6, P9 y P15, representando el 15,2 % de la red de pozos monitoreados: Asimismo, se observó que los mismos pozos registraron altos valores de sodio (>200 mg/L), así como los mayores valores de dureza total, pero menores a 500 mg/L, valor exigido por la norma. Otros pozos cuyas aguas excedieron los valores límites de  $Na^+$ , fueron JP2, JP5, B7, B8 y CA.

Con relación al  $Cl^-$ , los valores de concentración de este ión son menores a lo exigido por la normativa vigente, pero representan un importante aporte como sales solubles en el agua en los últimos pozos mencionados.

La presencia de los iones  $SO_4^{-2}$  en la zona de estudio se infiere pueda tener origen natural, es posible algún depósito de minerales. Piña y otros (2002) señalan que la presencia de altos niveles de sulfatos en algunas aguas subterráneas podría tener origen litológico, es decir disolución de material yesífero, del lavado de ciertas sales del tipo proveniente de rocas sedimentarias (rocas evaporíticas principalmente, como el yeso y la anhidrita). Igualmente, Blyth y Freitas (2001), expresaron que los sulfatos se forman por la evaporación en regiones áridas y semiáridas. Del mismo modo Sánchez y otros (2015) mencionan que los sulfatos son típicos de estos ambientes donde la precipitación es escasa o nula y que se encuentran en cantidades abundantes en las aguas y suelos.

En estudios realizados en el mismo eje costero de la zona de estudio, en Puerto Cumarebo por Peralta y otros (2010), encontraron valores de  $\text{SO}_4^{-2}$  en el rango de 157 a 1063 mg/L, en diferentes pozos ubicados en un mismo acuífero, donde la geología local ha permitido que aguas dulces entren en contacto directo con agua marina en la zona. Esta situación pudiese permitir inferir que la región centro occidental del municipio Miranda posee el mismo comportamiento, pero

se desconoce el número de acuíferos existentes y la geología local, lo cual no permite conocer el grado de influencia en cuanto a la entrada o intrusión de aguas del mar. Se suma a ello, la ausencia de registros que permitan conocer el comportamiento de este parámetro a través del tiempo, aunque en los pozos monitoreados los promedios encontrados de este parámetro oscilan entre (3,85 y 786,66 mg/L), lo cual refleja bastante heterogeneidad en los valores encontrados.

**Tabla 3.** Valores medio (n=3) de parámetros analizados en aguas subterráneas de pozos comunitarios en la zona de estudio.

Pozos	pH	Color aparente	T	CE	SDT	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Na <sup>+</sup>	Dureza total	Hierro total	Manganeso total	Colif. totales	Colif. fecal
Comunitarios	Unid.	UC Pt-Co	UNT	μS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100 ml	NMP/100 ml
W2	5.65	4.67	9.67	899.67	573.87	264.26	4.91	107.92	160.09	10.08	1.67	2.20	2.20
G12	6.47	5.00	2.00	772.00	556.61	98.38	48.31	125.51	87.92	0.31	0.35	2.20	2.20
CA	7.15	11.67	2.67	1323.33	1043.46	101.46	59.09	255.39	101.36	0.40	ND	3.17	2.20
C1	6.11	5.33	1.67	614.00	416.13	167.62	3.85	86.59	116.00	0.28	ND	2.20	2.20
P6	6.62	8.33	1.67	3245.00	2343.68	361.72	786.66	524.23	471.36	2.09	0.13	2.20	2.20
G21	6.27	20.00	9.33	548.33	404.02	96.80	45.50	94.18	55.55	3.45	0.32	2.20	2.20
JP2	7.26	10.33	4.00	1313.33	950.26	263.59	135.01	242.39	118.94	0.74	ND	2.20	2.20
P1	6.51	2.33	1.00	1959.33	1469.72	152.62	524.49	282.05	380.91	1.84	0.17	2.20	2.20
P9	6.55	0.67	0.67	2210.00	1591.59	157.08	625.45	315.01	380.42	1.25	ND	2.20	2.20
B4	6.52	15.33	6.00	671.33	484.43	84.15	58.56	122.63	60.35	0.95	0.03	3.30	3.30
P15	7.07	8.33	2.33	2229.00	1603.52	216.01	559.04	374.10	298.11	1.22	0.13	2.20	2.20
P4	6.63	2.33	0.67	1963.33	1405.67	95.45	581.96	243.07	405.02	1.53	0.01	3.30	2.20
M1	6.25	41.67	10.67	600.33	419.21	100.25	24.02	102.75	68.62	3.97	0.31	6.80	2.20
M3	5.91	66.67	149.33	644.00	441.56	136.07	33.51	98.77	80.31	4.10	0.26	2.20	2.20
W1A	6.13	6.67	10.63	805.00	490.97	266.24	4.53	110.01	147.04	2.26	0.08	2.20	2.20
W1	5.58	3.67	1.00	953.33	672.46	327.47	6.45	105.02	220.34	0.49	ND	2.20	2.20
M6	6.06	3.67	81.67	861.33	551.29	250.92	31.03	113.16	150.99	10.08	1.12	2.20	2.20
M4	6.13	13.33	26.00	747.67	469.24	203.29	11.87	96.50	128.58	11.08	0.73	3.30	3.30

ND: no detectable. límite de detección = 0.9 μg/L

Tabla 4: Valores medio (n=3) de parámetros analizados en aguas subterráneas de pozos privados en la zona de estudio.

Pozos	pH	Color aparente	T	CE	SDT	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Na <sup>+</sup>	Dureza total	Hierro total	Manganeso total	Colif. totales	Colif. Fecal
Privados	Unid.	UC Pt-Co	UNT	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml	NMP/100 ml
G14A	6.74	23.33	6.67	892.00	660.76	128.03	53.77	175.98	79.39	1.52	ND	2.20	2.20
B3	6.32	2.33	1.33	845.67	627.78	87.50	72.88	149.34	105.28	0.44	0.24	2.20	2.20
B13A	5.86	13.33	7.67	846.67	543.48	266.35	4.96	108.74	149.03	4.84	1.08	3.17	2.20
B11	5.67	12.00	0.33	1045.00	665.86	357.10	27.89	131.28	204.41	0.34	ND	6.80	2.20
JP5	7.41	13.67	3.00	1840.00	1360.57	313.30	227.67	366.35	149.89	0.55	ND	6.80	2.20
G11	6.65	18.67	3.33	927.00	666.45	154.87	82.61	160.82	113.74	1.35	0.05	2.20	2.20
C4	6.47	11.67	14.00	619.00	484.36	70.15	34.68	103.91	65.74	2.17	0.13	2.20	2.20
B7	6.95	7.00	2.33	2404.33	1723.35	387.46	253.43	510.66	124.35	0.51	ND	6.80	2.20
G7	6.32	18.67	6.33	689.67	495.00	197.93	6.86	86.48	126.28	3.62	1.35	6.80	2.20
JP15	6.40	3.67	2.33	954.00	689.74	272.35	30.15	176.60	120.44	1.07	0.02	2.20	2.20
C3	6.36	13.33	1.00	621.67	449.68	104.28	37.62	98.35	80.63	1.77	0.58	2.20	2.20
B8	5.81	105.00	57.00	1844.33	1298.49	330.04	287.74	334.34	155.92	9.18	0.80	6.80	6.80
B5	6.89	21.67	5.67	702.67	523.51	89.81	45.40	133.70	52.80	2.99	0.12	2.20	2.20
SCm	6.40	21.67	5.10	648.00	468.41	107.24	31.89	108.74	73.51	0.66	0.18	2.20	2.20

ND: no detectable. Límite de detección = 0.9 µg/L

En cuanto al origen de Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup>, el primero frecuentemente está asociado al segundo, especialmente en aguas muy salinas. El origen de Cl<sup>-</sup> se presume sea ocasionado por el agua de mar. Según Díaz y otros (2005), puede deberse a que el agua del mar haya quedado atrapada en los sedimentos juveniles o meteóricos de la disolución de evaporitas. En el caso de aguas costeras, su presencia pudiese deberse a la intrusión de aguas saladas, asimismo, en relación a las fuentes de este ión, Díaz y otros (1998), indicaron que es un componente minoritario de la corteza terrestre, pero si las aguas subterráneas lo contienen en grado importante su origen puede deberse a varias fuentes, como el agua del mar, salmueras (cuerpos de agua con salinidad mayor a la del mar) o también provenir del lavado de rocas evaporíticas cloruradas (cloruro de sodio o sal común), de lluvias o de vertidos industriales. Pagador y otros (2011), señalaron que el Na<sup>+</sup>, puede estar contenido en algunas arcillas y feldespatos.

El rango de valores promedio de pH reportados en este estudio oscilan entre 5,58 y 5,91 unidades, valores muy cercanos al pH exigido por la normativa vigente (6,0 a 8,5), no obstante, se consideran que no cumplen para este parámetro. Los pozos B11 y W1 cumplieron con los valores exigidos por la norma para todos los parámetros, a excepción del pH. Según Hernández y otros (2010), valores de pH entre 5,2 y

6,6 unidades, están relacionados con procesos de disolución de material silicatado y aluminosilicatos.

Con relación a los elementos traza analizados, todas las concentraciones estuvieron por debajo de los límites permisibles establecidos en la norma venezolana, pudiéndose destinar estas aguas a fines doméstico y/o agropecuario (tipo 1 y 2).

Pese a la escasa actividad antrópica que se desarrolla en el área de estudio, la presencia de elementos traza encontrados en este estudio podría deberse a actividades de extracción de carbón, los cuales liberan iones como Zn, Pb, Ni, Cr y Ba (López y otros, 2013).

Bacteriológicamente no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ) para las densidades de bacterias coliformes totales y fecales entre los diferentes pozos monitoreados, ni tampoco con respecto a la procedencia de los pozos. Todas las muestras de agua subterránea monitoreadas en este estudio presentaron valores de estos parámetros por debajo del límite exigido por la normativa para aguas tipo 1 y 2 fijadas en el Decreto 833/1995.

Se infiere, que a pesar de que los caseríos ubicados en la zona de estudio poseen pozos sépticos y actividad agropecuaria, la entrada de indicadores microbianos a estas aguas ha tenido cierta resistencia para llegar a las zonas no vadosas como profundidad del nivel freático, recarga hídrica, suelos, entre otros (Zektser y otros, 2004).

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las aguas subterráneas del sector centro occidental del municipio Miranda (Estado Zulia, Venezuela) pueden considerarse aguas subtipo 1C, de acuerdo con la legislación venezolana vigente (Decreto 833/1995). Se trata de aguas adecuadas para uso doméstico y/o riego, luego de su acondicionamiento por procesos de potabilización no convencionales en la mayoría de los casos.

La calidad del agua subterránea fue significativamente diferente en los distintos pozos monitoreados, particularmente con respecto al pH, color aparente, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, cloruro, sulfato, sodio, dureza total, hierro, ortofosfatos y manganeso, mostrando la influencia de las características propias de cada pozo. No se encontraron diferencias significativas con respecto a la procedencia del pozo (comunitario y privado).

La caracterización presentada en este trabajo aporta elementos que contribuyen al diagnóstico de situación actual de los acuíferos que constituyen la única fuente de abastecimiento de agua en el municipio Miranda.

A la luz de los resultados obtenidos, se recomienda continuar realizando muestreos sistemáticos del agua utilizando en principio los pozos identificados en esta investigación. Esto permitiría obtener registros para evaluar el comportamiento del sistema hídrico en un período más prolongado.

Del mismo modo, se considera indispensable desarrollar un estudio hidrogeológico a escala local para lograr una mejor caracterización de las formaciones geológicas que componen el sistema acuífero, definir la geometría e hidrodinámica de este sistema, determinar la vulnerabilidad de los acuíferos que sustentan el abastecimiento del municipio y caracterizar la amenaza de contaminación que representan las actividades socio-económicas que se desarrollan en el área.

A partir de ello se podrán definir medidas para la protección del recurso basadas fundamentalmente en el ordenamiento del uso del territorio, el diseño de una red de monitoreo de la calidad y cantidad del sistema hídrico subterráneo y eventualmente restricciones y/o controles a los caudales de extracción y tiempos de bombeo de los pozos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA - American Public Health Association, American Water Works Association (AWWA) and Water Environmental Federation (WEF). 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21<sup>th</sup> Ed. Washington D.C, USA.

Blyth, F. y Freitas, M. 2001. Geología para ingenieros. 8<sup>va</sup> impresión. Editorial. Compañía Editorial Continental, S, A. México, México, pp. 131-185.

Coello, X. y Galarraga, H. 2002. Metodologías para el análisis de la vulnerabilidad de acuíferos en medios urbanos; el caso de Quito, Ecuador. Groundwater human development. Eds. Bocanegra E., Martínez D., Massone H, pp. 33-45.

Dahrazma, B. y Kharghani, M. 2012. The impacts of alkaline mine drainage on Ba, Cr, Ni, Pb and Zn concentration in the water resources of the Takht coal mine, Iran. Earth Sciences Research Journal, 16 (2), pp. 27-30.

Dautant, R. y Guevara, E. 2011. Recursos Hídricos Venezuela 2011. Centro del Agua para América Latina y el Caribe. Informe Técnico. Disponible en: <http://centrodelagua.org>. Consultada el 15/08/13.

Díaz, C.; Esteller, M. y López-Vera, F. 2005. Recursos Hídricos. Conceptos básicos y estudios de casos en Iberoamérica. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. Centro Interamericano de Recursos de Agua. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México. Estado de México, México. Piriguazú ediciones. Montevideo, Uruguay. pp IV-32.

Díaz, E., Duarte, O., y Ricciardi, C. 1998. Tecnología de Tierras y Aguas 1. Tema 7. Aguas subterráneas. p, 10. Disponible en: <http://www.fca.uner.edu.ar/academicas/deptos/catedras/riego/Archivos/Cap%2007%20-%20Aguas%20Subterranas.pdf>. Consultada 09/07/2013.

Hernández, M., Crisanto, S., Lozano, F., Martínez, M., Díaz, A., Márquez, R., Chacón, H. y Rodríguez, I. 2010. Concentraciones de hierro (Fe) en las aguas subterráneas al sur del estado Monagas, Venezuela. ALHSUD. X Congreso Latinoamericano Hidrología. Octubre 18-22. Caracas, Venezuela.

López, B., Ramos, J., Moran, J., Cardona, A. y Hernández, G. 2013. Origen de la calidad del agua del acuífero colgado y su relación con los cambios de uso en el valle de San Luis Potosí. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 65 (1), pp. 9-26.

Montero, R., Yanes, C. y 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 del Lago de Maracaibo, Venezuela. IX Congreso Geológico Venezolano. Octubre 21-25. Caracas, Venezuela.

Ortega F, S. y Orellana G, R. 2007. El riego con aguas de mala calidad en la agricultura urbana. Aspectos a considerar. I. Aguas salinas o alcalinas, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 16 (1): 41-44. Web.ebscohost.com. Consultada 30/10/13

Pagador, C., Avalos, O. y Quintana, J. 2011. Evaluación de las aguas subterráneas del acuífero Asia-Omas. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú, pp. 4-11.

- PDVSA - Petróleos de Venezuela, S.A. 1997. Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela. Editado por el Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura (CIEN). Disponible en: <http://www.pdvsa.com/lexico/t29w.htm>. Consultada el 25/30/2013.
- Peralta T., Barros, H., Izarra, C., Barros, A., Decarli, F., Lemmo, A., Arriojas, A., Palacios, D., Sajo, L. 2010. Caracterización de acuíferos costeros de Pto. Cumarebo, estado Falcón, Venezuela. ALHSUD. X Congreso Latinoamericano Hidrología Octubre 18-22. Caracas, Venezuela.
- Piña M., Rivera M y González A. 2002. Remoción de hierro y manganeso en fuentes de agua para abastecimiento público aplicando una técnica de adsorción-oxidación que utiliza zeolita natural como medio de contacto en los estados de Sinaloa y Chihuahua. FEMISCA. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 27 al 31 de Octubre. Cancún, México
- Sánchez, R., Guerra, L., Scherger, M. 2015. Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina. Programa Nacional del Agua. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Buenos Aires, Argentina. 65 pp
- UNESCO - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 2003. Agua para todos, agua para la vida "Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos hídrico en el Mundo". Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf>. Consultada el 06/04/2012.
- Vidoni, R., Pacini, V., Ingallinella A. M., y Sanguinetti, G. 2000. Remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas mediante biooxidación: Experiencia Real. Rev. Ingeniería Sanitaria, AIDIS, N°87, pp. 1-7.
- Zektser, I., Pozdniakov, S., Szpakiewicz, M., Rogachevskaya L. 2004. Regional assessment of groundwater in the Snake River plain aquifer basin. Geophysical International, 43 (4), pp. 697-705.
- Zérega, L., Hernández, T. y Valladares J. 1991. Caracterización de suelos y aguas afectadas por sales en zonas cañameleras de azucarera Río Turbio. FONAIAP, 9 (1), pp. 5-52.