

Evaluación físico química del agua de consumo de los pozos del municipio San José de Guanipa, Estado Anzoátegui, Venezuela

CHEMICAL/PHYSICAL ASSESSMENT OF DRINKING WATER FROM THE WELLS OF THE MUNICIPALITY OF SAN JOSÉ DE GUANIPA, ANZOÁTEGUI STATE, VENEZUELA

José Francisco SILGUERA CAPELLA¹, Isnel BENÍTEZ CORTES^{2*}, Luís Beltrán RAMOS SÁNCHEZ², Lourdes GONZALEZ SAEZ³, María Eugenia O. FARRILL PIE⁴, Juan Bautista DE LEÓN BENÍTEZ⁴

¹ Universidad Politécnica Territorial José Antonio Anzoátegui, Venezuela.

² Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Carretera Circunvalación Norte km 5½, Camagüey, Cuba.

³ Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Carretera Varadero, Matanzas, Cuba

⁴ Universidad Central de Las Villas Martha Abreu, Carretera de Camajuaní, km 5½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba

*Autor para la correspondencia. Tl.: (0053) (32) 261192. Correo-e: isnel.benites@reduc.edu.cu

RESUMEN

El presente trabajo se realiza con el objeto de analizar las aguas de consumo humano provenientes de pozos profundos a fin de determinar posibles factores que pudieran estar afectando su calidad en San José de Guanipa, estado Anzoátegui, Venezuela. Para el desarrollo del mismo, se realizaron análisis físico-químico para caracterizar los parámetros de calidad de estas aguas, comparar los valores con las normas de calidad establecidas en la Gaceta Oficial N° 36.395/1998 de la República Bolivariana de Venezuela y determinar los problemas presentes. En este caso, se determina que el principal parámetro fuera de las normas es el pH oscilando entre 5,1 y 5,6 que determina el grado de acidez presente en dichas aguas. De igual manera el dióxido de carbono con valores que oscilan entre 150 y 250ppm y el índice de Langelier con valores de -4,6.

Palabras clave: Óxidos de azufre, impacto ambiental, cambio climático.

INTRODUCCIÓN

Uno de los factores que más influencia pueden tener en la salud humana es la potabilidad del agua debido a que, a partir de esta, se pueden transmitir toda una serie de enfermedades. Por tales motivos, su tratamiento antes de ser consumida por la población, resulta de gran importancia, sobre todo para alcanzar los objetivos del Desarrollo del Milenio vinculados directamente al tema de la salud humana (OMS, 2010; OPS, 1999).

Precisamente, el afán de encontrar aguas lo más puras y limpias posible, ha sido, ha sido una de las mayores preocupaciones en la historia de la humanidad (Benítez et al, 2012; Palacio et al, 2014).

El crecimiento urbano y poblacional en algunos casos sobre zonas de recarga del acuífero, sumado a la actividad industrial y agrícola sobre suelos permeables, así como la deposición de lagunas artificiales salinas provenientes de la actividades petroleras, son aspectos que hacen necesario el estudio de las aguas

de consumo humano dentro y en la periferia de la poligonal urbana (Menéndez, 2008).

Un diagnóstico social participativo realizado en el Sector La Floresta I, presume como problema primordial la posible contaminación del agua para consumo. Esto se debe a que el agua no se encuentra en su estado natural con un alto grado de pureza ya que en ella existen determinadas características físicas como el olor y el sabor, por el cual ésta no puede ser utilizada de forma directa.

Por esta razón se realiza este trabajo con el objetivo de evaluar y caracterizar la calidad del agua de consumo humano extraído de los pozos perforados sobre el acuífero subterráneo ubicado en el sector La Floresta I de San José de Guanipa, estado Anzoátegui, Venezuela.

MATERIAL Y MÉTODOS

La empresa Hidrocaribe cuenta con un total de 14 pozos en el campo Mariño. De estos, solamente ocho se encuentran en explotación. Se realiza la caracterización del agua a la salida de los mismos según la norma venezolana No. 35.277/1993 "Normas sobre la caracterización de las aguas envasadas para consumo humano y comercializado en la República Bolivariana de Venezuela", la Ley Orgánica para la prestación de los servicios de Agua Potable y de Saneamiento, así como las normas COVENIN 2123-84, 2186-84, 2188-84, 2187-84, implementadas por la empresa Hidrológica del Caribe (Hidrocaribe S.A.)

Se determinan los parámetros físicos del agua que

son los que definen las características que responden a los sentidos de la vista, del tacto, gusto y olfato como son los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor y temperatura, así como los parámetros químicos que están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias entre las que podemos mencionar a los sólidos disueltos totales, alcalinidad, dureza, fluoruros, metales, materias orgánicas y nutrientes. Dentro de los parámetros de calidad se encuentran: Sólidos disueltos, SO_4^{2-} , NO_2^- , dureza total, Fe^{3+} , acidez, alcalinidad, Cl^- , Ca^{2+} , pH, Sabor, Olor, turbiedad, y Conductancia. Las muestras tomadas en los pozos se acompañaron de información como la fecha y hora de recolección, procedencia y tipos de análisis a efectuar.

Para cada uno de los parámetros se realizaron tres réplicas y se tomaron los valores promedios de las mediciones que se realizaron durante cuatro días diferentes. A los resultados, se le realizaron los análisis estadísticos correspondientes para caracterizar el comportamiento de los mismos, compararlos con las normas venezolanas y evaluar la variabilidad que existía entre los diferentes pozos. Con la caracterización obtenida de los análisis de laboratorio, se realiza una regresión múltiple para obtener el modelo que caracteriza la influencia entre las diferentes variable medidas teniendo en cuenta, fundamentalmente, aquellas que no cumplían con la norma venezolana. Para ello se utilizó el paquete estadístico StatGraphic V.5.0. Posteriormente, se descartan aquellos parámetros que no tienen una influencia significativa en los que están fuera de norma y se

TABLA 1. Valores promedios de los parámetros estudiados.

Parámetros	Pozos								Norma
	14	11	10	9	7	6	5	4	
AT (mg/L)	11,8	15,5	15,5	15,5	15,8	17,0	15,8	17,8	<250
Ca (mg/L)	8,6	7,2	5,0	4,8	6,3	3,8	6,8	7,1	
Cl (mg/L)	20,4	21,6	25,8	20,8	21,4	21,3	23,5	20,3	<250
CA (UND)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	<5,0
CE	22,5	23,4	22,2	25,0	36,5	29,7	30,7	28,5	
CO ₂ (mg/L)	142	226	95	209	270	233	209	170	50
DT (mg/L)	10,0	10,0	10,0	8,5		20,0			<250
Fe (mg/L)	0,2	0,1	0,0	0,1		0,3			<0,1
IL	-4,3	-4,2	-4,1	-4,4	-4,6	-4,4	-4,1	-3,9	-0,5 a +0,5
pH	5,3	5,2	5,3	5,1	5,1	5,1	5,4	5,4	6,5-8,5
ST (mg/L)	11,3	11,8	11,4	12,6	18,4	14,5	15,3	14,6	<600
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	4,1	3,0	4,4	3,6	3,3	3,3	2,2	1,9	<250
T (N.T.U.)	0,8	0,9	1,2	0,9	1,7	2,8	0,9	0,7	<1,0

AT: alcalinidad total, Ca: calcio, Cl: cloruros, CA: color aparente, CE: conductividad específica a 25°C, CO₂: dióxido de carbono libre, DT: dureza total, Fe: hierro total, IL: índice de Langelier, ST: sólidos totales, SO₄²⁻: sulfatos, T: turbiedad

ajusta el modelo de regresión teniendo en cuenta solamente aquellos que están influyendo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran los resultados de los valores promedios de los parámetros estudiados incluyendo el índice de Langelier. En cuanto a la alcalinidad total, los valores obtenidos están entre 11,8-17,8 mg/l, que indican que el agua tiene un bajo poder nivel de neutralización. Internacionalmente se acepta una alcalinidad mínima de 20ppm debido a que, con un valor menor, el agua es propensa a la acidificación o contaminación. Esta baja capacidad neutralizadora del agua, tiene una marcada influencia en la acidificación de la misma, lo cual se aprecia en los bajos niveles de pH.

En cuanto al pH, por regla general debe oscilar entre 6,8-8 aunque la norma venezolana establece un rango de 6,5 y 8,5. Se aprecia en los resultados un bajo nivel de pH promedio por pozos, oscilando entre 5,1-5,4 lo cual infiere características ligeramente ácidas al agua de consumo. Este carácter ácido está asociado a la presencia de iones hidronio proveniente de la disociación del ácido carbónico contenido en la misma.

Estos bajos niveles de pH están asociados, en buena medida, al alto contenido de dióxido de carbono los cuales oscilan entre 95,8-270,6 mg/l cuando la norma plantea que debe estar por debajo de 50 mg/l. Esta alta concentración de dióxido de carbono permite que reaccione con el agua para formar el ácido carbónico y ser el responsable de la acidez del agua.

Por su parte los cloruros están muy por debajo del valor máximo lo cual incide fundamentalmente en que el agua no tenga un sabor salobre. En cuanto a la conductividad específica, esta es muy baja en comparación con el límite máximo permitido, lo cual está asociado a los bajos niveles de sales, expresados en los cloruros y otros iones como el calcio.

Otra característica importante de las aguas para el consumo humano es el color aparente. La norma venezolana plantea un máximo de 5 UND y en todos los pozos estudiados se observan valores de 1 UND. Esta es una característica de estas aguas, la cual resalta por simple inspección de las mismas.

Otro aspecto importante que sirve para la caracterización de las aguas es el índice de Langelier. Aunque no existe límite en la normativa venezolana, los resultados corroboran el carácter ácido del agua. En un agua de excelentes condiciones este debe oscilar entre -0,5 a 0,5. Sin embargo los resultados obtenidos son de hasta -3,6 y -4,6, lo cual indica el carácter corrosivo de estas aguas por lo que es recomendable aumentar su alcalinidad o pH.

Los sólidos totales están muy por debajo de los establecidos por normativas venezolanas. Considerando que los sólidos, principalmente los disueltos, son los responsable de la conductividad del agua y

que en soluciones acuosas la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad. Esto viene a respaldar los bajos valores de conductividad obtenidos en los análisis.

La presencia de sulfatos es muy baja en comparación con las normas. El agua en estudio no presenta olor desagradable al olfato humano, por lo que se infiere que tenga una baja presencia de H₂S, que es la forma reducida más estable del ión sulfato, proceso

TABLA 2. Estadística descriptiva de los parámetros estudiados.

Parámetros	M	DE	CV
Alcalinidad Total (mg/L)	15,5	1,7	11,2
Calcio (mg/L)	6,1	1,5	25,1
Cloruros (mg/L)	21,8	1,8	8,5
Conductividad específica a 25 °C	27,2	4,9	18,1
Dióxido de Carbono Libre (mg/L)	194,7	55,7	28,6
Dureza Total (mg/L)	11,7	4,6	40,0
Hierro Total (mg/L)	0,1	0,0	71,9
Índice de Langelier	-4,2	0,2	5,3
pH	5,2	0,1	2,0
Sólidos Totales (mg/L)	13,7	2,4	17,9
Sulfato (mg/L)	3,22	0,86	26,79
Turbiedad (N.T.U.)	1,23	0,70	57,12

M: media, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación

este que tiene lugar en presencia de bacterias y material orgánico en ambiente de pH menor de 7, como corresponde a los pozos estudiados.

La turbiedad presenta valores que oscilan entre 1 y cercano a 2 NTU, los cuales están por debajo del máximo permitido por la norma, excepto para los pozos 6, 7 y 10. Aunque en algunos casos es considerado el valor máximo 5 NTU, puede ser considerado dentro de las normas, lo cual es respaldado por los bajos niveles de sólidos totales, principales causantes de la turbiedad de las aguas.

La tabla 2 muestra los resultados de la determinación de los valores promedios, desviación estándar y coeficientes de variación para todos los pozos.

Los resultados muestran que existen una serie de parámetros que presentan una gran variabilidad respecto a la media. Dentro de estos, se destacan el contenido de calcio, la conductividad específica, la presencia de dióxido de carbono libre, la dureza y hierro total, los sólidos totales, el ion sulfato y la

TABLA 3. Ajuste del modelo de regresión.

Parámetro	Estimado	Error	Estadístico	Valor P
Constante	5,510	0,3165	17,40	0,00
Alcalinidad	0,020	0,0084	2,48	0,02
Calcio	0,007	0,0103	0,75	0,45
Cloruros	-0,017	0,0123	-1,41	0,16
Conductividad específica	0,009	0,0413	0,23	0,81
CO ₂ libre	-0,002	0,0006	-3,31	0,00
Sólidos totales	-0,004	0,0809	-0,06	0,95
Sulfatos	-0,016	0,0241	-0,68	0,50
Turbiedad	-0,0103	0,0267	-0,38	0,70

turbiedad. Esto quiere decir que cada pozo tiene unas características muy particulares y propias de ellos. Por tanto, se hace necesario el control de calidad por parte del laboratorio, ya que la calidad total del agua de consumo al salir de la planta de tratamiento, depende de la calidad del agua de estos pozos. De ahí la importancia del monitoreo constante de estos parámetros de calidad del agua que entra al proceso.

Por otra parte, se aprecia que aquellos parámetros que estaban fuera de la normativa venezolana, en el caso del pH y el índice de Langelier, no presentan una gran variabilidad, lo cual representa una ventaja desde el punto de vista de su control. En el caso del dióxido de carbono, presenta un comportamiento desfavorable ya que está fuera de la norma y un alto coeficiente de variación. Este parámetro tiene una marcada influencia sobre el pH del agua.

Para poder evaluar la influencia de los diferentes parámetros físicos químicos del agua sobre el pH, se realiza un análisis estadístico de regresión múltiple apoyado con software StatGraphics Plus V5.1. La tabla 3 muestra los resultados del ajuste.

Del análisis de los resultados se aprecia que un número importante de parámetros no tienen influencia significativa en el pH debido a que su valor de probabilidad P para cada uno de ellos, es mayor que 0,10. Por tanto, para simplificar el modelo, se excluyen estos y solo se tiene en cuenta los que si influyen significativamente en el pH. Estos son: CO₂ libre, Cloruros y Alcalinidad. Un nuevo análisis de regresión teniendo en cuenta solamente estos parámetros se realiza y se obtiene el siguiente modelo:

$$\text{pH} = 5,54953 + 0,0213522 \text{ Alcalinidad} - 0,0146056 \text{ Cl} - 0,00169617 \text{ CO}_2\text{libre}$$

Un análisis de este modelo permite predecir que el pH de los pozos tiene una relación directa con la alcalinidad e inversa con la concentración de cloruros y dióxido de carbono libre. Si se observa la expresión matemática arrojada por el programa se nota que el coeficiente es bajo para el dióxido de carbono. Sin embargo, sus altos valores en los resultados influyen de manera negativa en el valor de pH, lo cual indica que este parámetro es el principal causante de los valores bajo de pH.

BIBLIOGRAFÍA

1. Organización Mundial de la Salud. 20 maneras en que la Organización Mundial de la Salud ayuda a los países a lograr los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Estadísticas Sanitarias Mundiales 2010. WHO/DGO/2010.3. Disponible en: <http://www.who.int/whosis/whostat/2010>
2. Organización Panamericana de la Salud. Oficina Regional para Europa. Agua y salud. [Monografía en Internet] 1999 [Citado: Feb. 2007] Disponible en : <http://www.cepis.org.pe/acrobat/aguasa.pdf>.
3. Benítez, T. y cols. Análisis de la calidad de las aguas de consumo en una región de Senegal. Estudio realizado en el marco de un proyecto de cooperación al desarrollo. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 12 (3): 876-881, 2012.
4. Palacio D. y cols. "Comportamiento de parámetros físico-químicos en diferentes aguas utilizadas para el consumo humano", *Higiene y Sanidad Ambiental*, 14 (2): 1207-1211, 2014.
5. Menéndez, M. "Energías renovables: una opción para el ingeniero hidráulico para lograr el suministro de agua, Ingeniería hidráulica y ambiental", vol. XXIX, No. 1, 2008.
6. Normas sobre la Caracterización de las Aguas Envasadas para Consumo Humano y Comercializadas en el País. (1993). *Gaceta Oficial N° 35.277*. (Extraordinaria). 18 agosto, 1993.
7. Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y de Saneamiento.
8. Norma COVENIN 2123-84, 2186-84, 2188-84, 2187-84