

## Evaluación de la calidad del agua y su tendencia corrosiva en los morichales "Guaricongo" y "Los Caribes", municipio Heres, Ciudad Bolívar, estado Bolívar, Venezuela

### *Evaluation of the quality of the water and its corrosive trend in the "morichales" "Guaricongo" and "Los Caribes", Heres municipality, Ciudad Bolívar, Bolívar state, Venezuela*

Víctor Mora Arellano\* & Andreína García\*\*

#### RESUMEN

El presente trabajo consistió en evaluar los niveles de calidad del agua y su tendencia corrosiva en los morichales "Guaricongo" y "Los Caribes", Municipio Heres, Ciudad Bolívar, estado Bolívar. Se tomaron muestras de agua en cada subcuenca de estudio y en la confluencia de las mismas. Se determinaron parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, oxígeno disuelto, sólidos totales y disueltos, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, dureza total, alcalinidad, calcio, magnesio, nitratos, sulfatos y cloruros), a partir de esta data se calcularon los índices de corrosión e incrustación de Langelier (L), Potencial de Precipitación (PPCC), Ryznar (IR), Agresividad (IA), Larson (RL), Singley, Capacidad Buffer, Snoeyink. Los resultados indican que las aguas de estos morichales presentaron pH ligeramente ácido, levemente duras indicativos de aguas agresivas con tendencia corrosiva, lo cual fue corroborado a través de los índices de corrosión calculados, clasificando a estas aguas como insaturadas, con preferencia a disolver el  $\text{CaCO}_3$  indicativo de un carácter corrosivo.

**Palabras clave:** Morichales, calidad de agua, corrosión.

#### INTRODUCCIÓN

A nivel mundial tanto en las instituciones públicas y privadas como en los ciudadanos, existe una preocupación general acerca de la influencia de los contaminantes en los ecosistemas (suelos, aire, agua y biodiversidad). De igual manera se piensa ¿cómo está afectada la durabilidad de los materiales de ingeniería y la estabilidad de las estructuras fijas y móviles de la infraestructura fluvial y marina? Los contaminantes naturales, más aquellos que provienen de las actividades antropogénicas, pueden ser drenados en los espacios naturales afectando la calidad física química y biológica de: ríos, lagos, estuarios, deltas,

#### SUMMARY

The present work was to evaluate the levels of water quality and its corrosive trend in "morichales" "Guaricongo" and "Caribbean" Heres municipality, Ciudad Bolívar, Bolívar State. Water samples were taken in each subwatershed study and at the confluence of the same. Physicochemical parameters were determined (temperature, pH, dissolved oxygen, total and dissolved solids, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, total hardness, alkalinity, calcium, magnesium, nitrates, sulfates and chlorides). From this data rates of corrosion and scaling of Langelier (L), Precipitation Potential (PPCC), Ryznar (IR), Aggression (IA), Larson (RL), Singley, Buffer Capacity, Snoeyink were calculated. The results indicate that the waters of these "morichales" were slightly acidic and slightly hard water, indicative of an aggressive corrosive tendency, which was corroborated by the corrosion rates calculated by classifying these waters as unsaturated, preferably to dissolve the  $\text{CaCO}_3$  indicative of a corrosive nature.

**Key words:** Morichales, water quality, corrosion.

y puertos entre otros, dando lugar entre otros aspectos a corrosión al acero, aleaciones de aluminio, cobre y el hormigón reforzado por varillas o mallas de acero. (Manahan, 1993).

Es conocido que en los ecosistemas arriba mencionados se producen cambios cuali y cuantitativos en los parámetros: físico, químicos y biológicos los cuales pueden ser agravados por la acción de desechos sólidos y líquidos que provienen de: restos de fertilizantes, pesticidas usados en los campos agrícolas y en general de los residuos generados en plantas industriales, que son drenados como aguas servidas en los ecosistemas naturales afectándose su

<sup>1</sup> Escuela de Ciencias de la Salud "Dr Francisco Battistini Casalta", Departamento de Ciencias Fisiológicas/ Sección Bioquímica, Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar, Venezuela.

<sup>2</sup> Advanced Mining Technology Center, Universidad de Chile.

\*Autor de correspondencia: victormorau9@hotmail.com

calidad y la biodiversidad, pero también, han sido observados procesos de deterioro en especímenes metálicos y en infraestructuras los cuales son variados, así por ejemplo, se habla de: erosión, envejecimiento, putrefacción, fatiga, desintegración y como el elemento más dominante, la corrosión.

Dado que las ciudades se encuentran fundadas en las proximidades de la cuenca a un río, con la presencia o no de puerto(s) para su comunicación y transporte, no es sorpresa alguna que se registren afectaciones en la calidad de los ecosistemas adyacentes debido al efecto de residuos generados por explotación agropecuaria, actividades industriales y otras actividades propias de la población.

Los ríos, lagos y otros cauces en general suministran la mayor cantidad de agua necesaria para el desarrollo humano. Sin embargo, las actividades humanas que requieren de su aprovechamiento, pueden generar contaminación e intervención de las cuencas hidrográficas, trayendo como consecuencia efectos nocivos para el medio ambiente y afectación en el equilibrio natural de estos ecosistemas.

En relación a lo anteriormente señalado, en cualquier parte de la geografía de Venezuela, es posible encontrar situaciones equivalentes o de mayor complejidad de afectación de la calidad ambiental. La región de Guayana, por ser un polo de desarrollo industrial y estratégico, también, es un ejemplo que se vincula al paradigma equivocado del uso no racional de explotación, degradación y afectación de la calidad de los recursos naturales (agua, suelos, y otros).

Por ello, en esta investigación, es de interés indagar ¿cuál es la calidad de las aguas de los morichales “Guaricongo” y “Los Caribes”?, que se encuentran en la parte peri urbana del sector “Los Caribes”, municipio Heres de Ciudad Bolívar, estado Bolívar. Actualmente, el agua del ecosistema morichal es aprovechada como fuente de abastecimiento para el desarrollo de actividades: agropecuarias, recreacionales, otras (Mora Arellano, 2012; Mora Arellano & Mora Aguilera, 2006).

Un diagnóstico de calidad ambiental en los sectores los “Caribes” y “Guaricongo” del municipio Heres, ha sido reportada por Mora Arellano, (2012), quién señala que los espacios naturales de los sectores mencionados se encuentran ocupados (habitados)

y los mismos presentan deficiencias en cuanto a: planificación catastral, viviendas adecuadas, servicios básicos de electricidad, agua potable, drenajes de aguas servidas, manejo integral de los desechos sólidos y basuras, entre otros.

Este autor ha descrito también que las actividades antrópicas realizadas no son cónsonas con la capacidad socio productiva de los espacios naturales (morichales), y que las mismas no se corresponden a los derechos ambientales establecidos en la Constitución Bolivariana de Venezuela. Gaceta Oficial N° 36.860, (1999). Capítulo IX. De los Derechos Ambientales. Artículos 127 y 306.

Por ejemplo, actividades antrópicas generadoras de desechos sólidos y vertidos líquidos, pueden afectar la calidad ambiental de los ecosistemas (morichales) y la calidad de vida de la población (Mora Arellano & Mora Aguilera, 2006). Estos estudios han mostrado también que los suelos de estos sectores son frágiles y de escasa fertilidad, debida a la baja cantidad de materia orgánica, y de los elementos fósforo y potasio, a la capacidad de intercambio catiónico y a trazas de aluminio y pH ácido, en consecuencia se da mal uso a los suelos con afectación de calidad ambiental, dejando pasivos producto de las actividades antrópicas a las que son expuestas los suelos (Mora Arellano, 2012).

Basados en este hecho, es importante conocer la calidad del agua de este ecosistema (morichal), a través de la medición de parámetros fisicoquímicos, que a su vez permita estimar cuáles son los niveles de afectación por parte de las actividades antropogénicas desarrolladas directas e indirectamente sobre sus entornos. Adicionalmente, las aguas provenientes de los morichales objeto de evaluación, en algunos sectores son usadas como fuente de abastecimiento de agua potable, o en actividades del sector industrial, la cual puede tener efecto corrosivo o incrustante sobre los sistemas de conducción, y dado que en la evaluación de la literatura sobre el tema para estos sistemas los resultados son exigüos, es al menos una razón por la cual, la presente investigación se justifica, tiene pertinencia social y tiene como objetivo general: Evaluar la calidad del agua y su tendencia corrosiva en los morichales “Guaricongo” y “Los Caribes”, Municipio Heres, Ciudad Bolívar, estado Bolívar; y como objetivos específicos:

- Caracterizar parámetros físico-químicos en muestras de agua provenientes de los morichales “Guaricongo” y “Los Caribes”, Municipio Heres, Ciudad Bolívar, estado Bolívar.
- Determinar los Índices de corrosión o incrustación (Langelier (IL); Potencial de Precipitación (PPCC). Ryznar (IR). Agresividad (IA). Larson (RL). Singley. Capacidad Buffer y Snoeyink) de aguas provenientes de los morichales en estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Descripción del área de estudio*

Las sub cuencas de los morichales “Guaricongo” y “Los Caribes” están ubicadas en la margen derecha de la Carretera de Ciudad Bolívar-Ciudad Piar, en el municipio Heres, estado Bolívar, a 1,4 km del distribuidor “La Paragua” (Castillo, 2005). La hidrología de este sector está conformada por un área de cuenca hidrográfica de 13,8 Km<sup>2</sup>, con la presencia de morichales de escaso caudal que se unen en el sector “Los Chorros” (ver Fig. 1). Esta confluencia

junto con el morichal “Chupadero”, desembocan en el río Orocopiche a una cota aproximada de 40 msnm.

Las coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator) para las estaciones de muestreo (M1 a M5) se determinaron por mapeo satelital aplicando el programa informático Google Earth, tal como se muestra en la Tabla I. Las subcuencas de estudio fueron los morichales “Guaricongo” y “Los Caribes”, ubicados en el Municipio Heres, Ciudad Bolívar, estado Bolívar (Fig. 1); se seleccionaron dos sitios de muestreo de aguas, uno ubicado aguas arriba y otro ubicado aguas abajo de cada sub cuenca del morichal (“Guaricongo” y “Los Caribes”) en estudio. Adicionalmente, se seleccionó un punto de muestreo en la confluencia de las dos sub cuencas. El trabajo de campo se realizó en época de sequía en Abril de 2011.

### *Muestreo de agua proveniente de los morichales “Guaricongo” y “Los Caribes”*

En el caso del procedimiento de muestreo realizado, este fue de tipo Manual. Se colectó, en cada punto (M2, M3, M1, M4 y M5), tres (3) muestras de

**Fig. 1. Ubicación de los puntos de muestreo. Google Earth. Keyhole, (2004).**



**Tabla I. Coordenadas de los puntos de muestreo de aguas de los morichales “Guaricongo” y “Los Caribes”, Ciudad Bolívar, estado Bolívar.**

Subcuencas	Estaciones	Coordenadas Norte	Coordenadas Este	Altitud m.s.n.
Morichales				
Los Caribes	M <sub>2</sub>	889390,48	438095,00	78
	M <sub>3</sub>	888517,02	436950,01	63
Guaricongo	M <sub>1</sub>	887654,52	438913,38	76
	M <sub>4</sub>	887438,53	437746,67	70
Confluencia	M <sub>5</sub>	887491,12	436695,30	57

agua / punto de muestreo las cuales fueron colocadas en recipientes de plástico de polietileno de 1L de capacidad y almacenadas bajo refrigeración a 4°C, para luego ser trasladadas al laboratorio de Geo Ciencias de la Escuela de Ciencias de la Tierra Núcleo Bolívar, de la Universidad de Oriente (UDO).

#### *Análisis de los parámetros físico químicos del agua*

Se determinó in situ la temperatura del agua, el pH y el oxígeno disuelto (OD) utilizando un termómetro, el método electrométrico y método Winkler, respectivamente. Adicionalmente, se determinaron parámetros fisicoquímicos de acuerdo al Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (Clesceri *et al.*, 1995; APHA, AWWA, WPCF, 1995). Se determinaron los valores de sólidos totales y disueltos, utilizando el método gravimétrico. Para el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)5-20 se utilizó la técnica de dilución y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) por el método colorimétrico. La Dureza Total fue determinada por el método titulométrico con EDTA y la Alcalinidad por el método titulométrico. A su vez, fueron determinadas las concentraciones de calcio y magnesio por el método de espectrofotometría de Absorción Atómica por Llama y las concentraciones de nitratos (método de espectrofotometría ultravioleta), sulfatos (método turbidimétrico) y cloruros (Método argentométrico).

#### *Determinación de índices de corrosión e inscrustación*

Se determinaron los índices de las tendencias corrosivas o incrustantes del agua (Langelier, Singley, potencial de precipitación de carbonato de calcio, capacidad buffer, Snoeyink, Rzyinar, agresividad y Larson), mediante la aplicación del programa

informático Corrosivity and Deposition index (CORSCNEF) (Lane, 1995).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Caracterización fisicoquímica del agua*

En la Tabla II se puede observar cada uno de los parámetros fisicoquímicos determinados en el agua para cada subcuenca y confluencia de los morichales objeto de estudio. Para determinar el carácter agresivo o incrustante del agua, los parámetros más importantes a conocer son temperatura, pH, dureza, alcalinidad y sólidos disueltos (Lane, 1995; Decreto N° 883, 1995).

En el caso de la temperatura del agua, los morichales en estudio presentaron valores cercanos a la temperatura ambiente, para todas las muestras, encontrándose valores en el primer nivel de control de calidad, el cual establece que debe tener un valor mínimo recomendado de 18°C y un máximo admisible de 30°C (Decreto N° 883, 1995).

Por su parte, al analizar los valores de pH puede observarse que las aguas de las subcuencas evaluadas de los morichales considerados, presentan condiciones ligeramente ácidas. En términos de calidad del agua, al comparar los valores de “Normas para la Clasificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos” Decreto N° 883, (1995), donde se establece un valor recomendado mínimo de 6,5 y un máximo admisible de 8,5, se puede notar en la Tabla II, que las aguas en estudio se encuentran en el margen inferior de la norma con valores entre 6,0 y 6,8. Esta condición de ligera acidez puede favorecer los procesos de corrosión y este registro de pH en las aguas puede deberse a una contribución de tipo natural o antrópica (Lane, 1995).

**Tabla II. Parámetros fisicoquímicos de agua para puntos de muestreo en los morichales “Guaricongo” y “Los Caribes”, Ciudad Bolívar, estado Bolívar.**

Parámetros Fisicoquímicos	Puntos de Muestreo				
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>
Temperatura (°C)	26,81	25,75	26,80	27,30	28,80
S.D. (mg/L)	53,97	37,97	39,99	38,15	34,00
pH (unidades)	6,00	6,60	6,80	6,06	6,63
O.D (mg/L)	1,20	1,03	1,00	5,60	5,45
DQO (mg/L)	0,60	0,78	0,48	0,73	0,70
DBO (mg/L)	2,40	3,20	2,00	0,45	0,40
Alcalinidad (mg/L)*	24,00	28,00	40,00	16,00	24,00
Dureza (mg/L)*	20,00	32,00	28,00	24,00	20,00
Calcio (mg/L)	4,13	3,13	1,94	7,18	4,00
Magnesio (mg/L)	3,25	4,60	4,20	4,50	4,40
Cloruro (mg/L)	32,10	18,15	16,30	16,40	15,60
Sulfato (mg/L)	8,00	10,40	20,80	0,25	0,30
Nitrato (mg/L)	0,87	80,00	0,82	0,84	0,84

\* Expresado como CaCO<sub>3</sub>

A su vez, al analizar la dureza del agua de las subcuencas en estudio, se observa que según la clasificación de dureza de agua, estas presentan valores característicos de aguas levemente duras (Lane, 1995; Rodríguez, 2009 y De Sousa *et al.*, 2010), lo cual está asociado principalmente a las bajas concentraciones de calcio y magnesio, que mostraron valores < 10 mg/L. Aguas de baja dureza son consideradas aguas agresivas, causantes de deterioro y corrosión en las redes de distribución donde sea utilizada. (Lane, 1995; Rodríguez, 2009), por lo que este hecho, aunado al bajo pH presentado, pueden generar un efecto corrosivo por parte de estas aguas. La tendencia corrosiva en aguas con estas condiciones, puede ser explicada también de la siguiente manera. (Mora Arellano *et al.*, 2005; Al Rawajfeh, 2007; Rodríguez, 2009; De Sousa *et al.*, 2010).

Las aguas naturales contienen cantidades significativas de CO<sub>2</sub> disuelto como resultado tanto de la disolución del dióxido de carbono atmosférico como de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. Así, la primera reacción de equilibrio que tiene lugar cuando el CO<sub>2</sub> pasa a la fase acuosa es:



Una vez formado, el ácido carbónico se disocia parcialmente para dar protones:



Sin embargo, a pH bajo producto de desequilibrios generados principalmente por actividades antropogénicas, se puede ver favorecida la reacción inversa de la reacción (2) y por ende de la reacción (1), entonces el ácido carbónico disuelto en el agua se podría descomponer a dióxido de carbono y agua, desprendiendo CO<sub>2</sub> el cual es de tendencia corrosiva.

A su vez, es importante destacar que para determinar el carácter agresivo o incrustante del agua, es importante conocer también el total de sólidos disueltos (SD). Este parámetro en primera instancia proporciona un indicador de la calidad del agua, de allí que al ser comparado con el valor máximo permisible por el Decreto N° 883, “Normas para la Clasificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos” equivalente a 1500 mg / L, para el caso específico de aguas con fines potables, se puede observar que las aguas de estudios presentan valores muy por debajo de los máximos establecidos. Aún a pesar de las bajas concentraciones

de SD, es importante destacar que la concentración de sólidos disueltos en soluciones acuosas es directamente proporcional a la conductividad, y su incremento puede favorecer la tendencia corrosiva (Mora Arellano *et al.*, 2005; Al Rawajfeh, 2007).

Al analizar las concentraciones de los iones cloruro, sulfato y nitratos en términos de calidad de aguas Decreto N° 883, “Normas para la Clasificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos”, cuyos máximos permisibles establecen 600 mg / L, 400 mg / L y 10 mg / L, respectivamente; se puede notar que los valores se encuentran muy por debajo de lo establecido por la norma. (Gaceta Oficial N° 36.395, 1998). Los iones sulfato y cloruros representan un componente de las aguas naturales, lo cual justifica la presencia de estos iones y sus bajas concentraciones. Por su parte, la presencia de nitratos también presentan bajas concentraciones con respecto a la Norma vigente, y su presencia de forma natural puede provenir mayormente de la disolución de rocas y minerales, así como también de la descomposición de materias vegetales y animales. Sin embargo, parte de las actividades antrópicas observadas en el área de estudio implican el uso de abono y fertilizantes que podrían afectar el equilibrio de nitratos y nitritos, por lo que es importante considerar que la tendencia corrosiva del agua puede aumentar por ataque de estos iones. Por ejemplo, los iones nitrato,  $\text{NO}_3^-$  provenientes de los abonos químicos nitrogenados, por su naturaleza oxidante depolarizan la reacción catódica de reducción del oxígeno, acelerando el proceso de corrosión. (Mora Arellano *et al.*, 2005; Al Rawajfeh, 2007; De Sousa, *et al.*, 2010).

Finalmente, el contenido de materia orgánica presente en las muestras de agua, se analizó en términos del oxígeno disuelto (OD). Desde el punto de vista de calidad de agua, al comparar este parámetro con lo establecido en el Decreto N° 883, (1995), esta norma exige valores de oxígeno disuelto (OD) > 4mg/L. Se puede notar en algunos puntos de estudio, concentraciones por debajo de este mínimo aceptable, lo que indica la presencia de materia orgánica susceptible de ser descompuesta.

#### *Índices de corrosión de las aguas de estudio*

El estudio de los índices de: saturación Langelier, Ryznar (IR), Agresividad (IA), Relación

Larson (RL), entre otros, permite caracterizar el agua a los fines de poder establecer los métodos de tratamiento y control de corrosión e incrustación en los sistemas hidráulicos donde sean utilizadas. (Lane, 1995; Mora Arellano *et al.*, 2005; Mora Arellano & Cedeño, 2006). En este sentido, en la Tabla III se pueden observar los valores de algunos de estos índices.

Por ejemplo, en el caso del Índice de Langelier (IL), define la agresividad del agua con respecto al carbonato de calcio, basado en el efecto del pH sobre el equilibrio de solubilidad del  $\text{CaCO}_3$ . En otras palabras, este índice tiende a predecir si el  $\text{CaCO}_3$  precipitará ( $\text{IL} > 0$ ) o se disolverá ( $\text{IL} < 0$ ). En la Tabla III se puede observar que en el caso de estudio las muestras presentaron  $\text{IL} < 0$ , lo cual es indicativo de que el agua está insaturada, por lo que el  $\text{CaCO}_3$  tenderá a disolverse generando un agua agresiva con tendencia corrosiva. (Lane, 1995 & Loewenthal *et al.*, 2004).

Por otra parte, conocer el potencial de precipitación del carbonato de calcio o PPCC, permite conocer la tasa de deposición de  $\text{CaCO}_3$ , que podría precipitar sobre la superficie expuesta a esta agua. Un valor positivo es indicativo de sobresaturación y los mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  representan el equivalente que debería precipitar, mientras que un valor negativo indica instauración y cuanto  $\text{CaCO}_3$  puede disolverse. (Lane, 1995; Loewenthal *et al.*, 2004; Do-Hwan *et al.*, 2008). Al analizar la Tabla III, se puede observar valores negativos para todos los casos de estudios, indicativo de la instauración del agua por valores de disolución de  $\text{CaCO}_3$  entre 102mg/L y 240mg/L.

Algunos autores han descrito que los índices basados en la saturación del carbonato de calcio, como el Índice de Langelier y el potencial de precipitación del carbonato de calcio, permiten determinar si un agua es estable o no, y si tiene el potencial de precipitación que permite la formación de una capa protectora sobre la superficie metálica. Sin embargo, un agua que cumple con los valores límites de acuerdo a los índices anteriores puede resultar corrosiva. (Lane, 1995; Loewenthal *et al.*, 2004; Mora Arellano *et al.*, 2005; Al Rawajfeh, 2007; Do-Hwan *et al.*, 2008). En consecuencia, el índice de Ryznar (IR) representa un índice empírico para determinar el carácter corrosivo o incrustante de las aguas. Si  $\text{IR} < 6$ , indica que el agua es incrustante, mientras que si  $\text{IR} > 7$ , indica que el agua es corrosiva (Lane, 1995; Ryznar, 1994). Al comparar

**Tabla III. Índices de tendencias experimentales y teóricos de incrustación o corrosión para muestras de aguas provenientes de morichales. “Guaricongo” y “Los Caribes”, Ciudad Bolívar, estado Bolívar.**

Índices de tendencias	Puntos de Muestreos					Gaceta Oficial N° 36.395 (1998)	
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	Deseable <	>Aceptable
Langelier (IL)**	-3,97	-3,50	-3,40	-3,86	-3,39	-0,62	1,87
Potencial de Precipitación (PPCC)*	-240	-126	-177	-143	-102	-299,40	130,09
Ryznar (IR)**	13,90	13,60	13,60	13,80	13,40	7,70	5,30
Agresividad (IA)**	8,00	8,60	8,70	8,10	8,60	11,00	13,50
Larson (RL)**	1,25	0,88	1,00	0,45	0,45	7,70	9,76
Singley***	4,89	3,74	5,33	5,51	8,48	8,71	5,56
Capacidad Buffer*	37,70	20,40	23,30	24,10	18,50	360,68	57,50
Snoeyink **	-3,55	-2,90	-2,85	-3,41	-2,91	-0,62	1,81

\*Expresados como mg/l CaCO<sub>3</sub>, \*\*Adimensional, \*\*\*Milésima de pulgada anual (mpa).

con los valores del caso de estudio se observan valores > 7 en todos los casos lo cual corresponde a aguas con tendencia corrosivas.

Por su parte, el índice de agresividad (IA), el cual es una medida de la tendencia del agua a deteriorar las estructuras, considera como aguas no agresivas cuando el índice es igual o > 12 y se consideran aguas altamente agresivas aquellas con valores < 10. (Ryznar, 1994; Lane, 1995; Mora Arellano *et al.*, 2005; Al Rawajfeh, 2007), lo cual indica que las aguas de estudios presentan una tendencia altamente corrosiva, corroborando lo encontrado en los índices descritos anteriormente.

Otro de los parámetros estudiados corresponde a la relación de Larson (RL), que describe la corrosividad del agua para el acero suave, como una función del contenido de sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) y cloruro (Cl<sup>-</sup>) y alcalinidad. Al observar en algunos casos de las muestras de aguas analizadas valores de RL > 1, es indicativo de una tendencia a altas velocidades de corrosión (Larson & Skold, 1958; Ryznar, 1994; Lane, 1995; Letterman, 2001; Loewenthal *et al.*, 2004; Mora Arellano & Cedeño, 2005, 2006; Do-Hwank *et al.*, 2008; De Sousa *et al.*, 2010).

A su vez, el índice de Singley, relaciona el índice de saturación de carbonato de calcio, oxígeno disuelto, cloruros, sulfatos, capacidad de amortiguación y el índice de Langelier, a fin de obtener la tasa de corrosión. Los valores de las muestras estudiadas se encuentran entre 3,74 mpa y 8,48 mpa, considerados valores bajos e indicativos de tasas de corrosión moderadas (Pisigan & Singley, 1987; Ryznar, 1994; Lane, 1995; Mora Arellano & Cedeño, 2005).

Por otro lado, algunos autores recomiendan estudiar la capacidad buffer como un indicador de la capacidad de amortiguación para hacer frente a los ácidos. En el caso de las muestras de estudios las cuales muestran baja alcalinidad carecen de esta capacidad, por lo que fácilmente puede convertirse en aguas ácidas y corrosivas (Lane, 1995; Mora Arellano & Cedeño, 2005, 2006).

Al comparar con los valores menos deseables y máximos aceptables para cada uno de estos índices, según la Gaceta Oficial N° 36.395, (1998). Normas sanitarias de calidad del agua potable, M.S.A.S, se observa que en su mayoría los índices evaluados presentan valores fuera del rango de esta norma y

que en líneas generales indican que las muestras de estudio presentan condiciones de agua insaturada, con preferencia a disolver el  $\text{CaCO}_3$  generando un agua agresiva con tendencia corrosiva, lo cual es atribuido a los parámetros fisicoquímicos de las mismas, pero principalmente debido a el pH ácido, baja alcalinidad y baja dureza que presentaron las aguas.

## CONCLUSIONES

Las aguas de los morichales “Guaricongo” y “Los Caribes”, presentan condiciones de agua agresiva con tendencia corrosiva, que de acuerdo a los índices de corrosión calculados se consideran como aguas insaturadas, con preferencia a disolver el  $\text{CaCO}_3$ , lo cual es atribuido a los parámetros fisicoquímicos de las mismas, pero principalmente debido a el pH ácido, baja alcalinidad y baja dureza que presentaron las mismas.

## Conflicto de intereses

Ninguno a declarar.

## REFERENCIAS

- Al Rawajfeht A. (2007). Assessment of tap water resources quality and its potential of scale formation and corrossivity in Tafila Province. *Desalination*. **206**: 322-332.
- APHA AWWA WPCF (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, pp 115-267. 19<sup>th</sup> Edition. Washington, U.S.A.
- Castillo, M. (2005). *Caracterización geológico-ambiental de las sub cuencas de los morichales “Los Caribes” y “Guaricongo” en época de lluvia, Municipio Heres, estado Bolívar*. Trabajo de grado. 117 pp. Universidad de Oriente. Núcleo Bolívar.
- Clesceri, L., Greenberg A. & Trusell R. (1995). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 19<sup>a</sup> Edition. American Public Health Association, American Water Work Association & Water Environmental Federation, Washington DC, U.S.A.
- De Sousa C., Correia A. & Colmenares M. (2010). Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control. *Bol. Mal. Salud Amb.* **50**: 187-196.
- Do-Hwan K., Dong-Youn K., Soon-Heon., Ji-Won K., Chang-Won K. (2008). Development and Implementation of a Corrosion Control Algorithm Based on Calcium Carbonate Precipitation Potential (CCPP) in a Drinking Water Distribution System. *Journal of Water Supply: Research & Technology-AQUA*. **57**: 531-539.
- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 36.860 (1999). Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. CAPÍTULO IX. Art 127 y 306. [Citado: abril 2013]. Disponible en: <http://www.Defensoría.gob.ve/lista.asp?Sec=1500>.
- Gaceta Oficial. Año CXXV. Mes V. N° 36.395. (1998). Decreto Ministerio de Sanidad y Asistencia Social (MSAS) N° SG - 018 - 98. 1998. *Normas sanitarias de calidad del agua potable, MSAS, Capítulo III de los aspectos organolépticos, físico-químicos de las aguas*. Art. 15. Caracas, Venezuela.
- Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5.021 (1995). Decreto N° 883, fecha 11 octubre 1995. Normas para la Clasificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Caracas, Venezuela.
- Lane R. (1995). *Control de incrustación y corrosión en instalaciones hidráulicas de edificio*. pp. 11-39. Mc Graw Hill Interamericana de México S.A., Ciudad de México, México.
- Larson T. & Skold R. (1958). *Laboratory studies relating mineral quality of water to corrosion of steel and cast iron*, Illinois State Water Survey, Champaign, USA, pp. 43-46.
- Letterman R. (2001). *Water Quality and Treatment*. 5th. Ed. McGraw-Hill, INC., New York. U.S.A.
- Loewenthal R. E, Morrison I, Wentzel M. C. (2004). Control of Corrosion and Aggression in Drinking Water Systems. *Wat. Sci. Tech.* **49**: 9-18.

- Manahan S. E. (1993). *Fundamentals of Environmental Chemistry*. Lewis Publishers, Boca Ratón, U.S.A.
- Mora Arellano V., Cedeño J. & García A. (2005). Calidad y corrosión en aguas de las plantas de tratamiento Angostura y Guri del estado Bolívar, Venezuela. *Bol. Mal. Salud Amb.* **45**: 11-21.
- Mora Arellano V. & Cedeño J. (2006). Valuación de la Corrosión e Incrustaciones en Instalaciones Hidráulicas de una Planta de Potabilización en el Estado Bolívar, Venezuela. *Bol. Mal. Salud Amb.* **46**: 67-78.
- Mora Arellano V., Mora & Aguilera Z. C. (2006). Diagnóstico ambiental de la cuenca media del morichal Juanico, Maturín, estado Monagas. *Rev. Inv.* **60**: 23-45.
- Mora Arellano V. (2012). Estudio de la calidad ambiental del sector “Los Caribes”, municipio Heres, Ciudad Bolívar, estado Bolívar. *Revista Investigaciones Científicas. UNERMB (NE)*. **2**: 25-39.
- Ryznar J. (1994). A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by a water. *J. Am. Water Works Assoc.* USA. **36**: 472.
- Pisigan R. A. & Singley J. E. (1987). Influencia de la capacidad buffer, cloro residual, y la velocidad de flujo en la corrosión del acero suave y cobre. *J. Soy. Water Works Assoc.* **79**: 62-70.
- Rodríguez J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela. *Pensamiento Actual, Universidad de Costa Rica*. **9**: 12-13.

Recibido el 27/05/2013  
Aceptado el 08/09/2013