

Calidad sanitaria de aguas recreacionales en el estrecho del Lago de Maracaibo

**Julio César Marín L. *, Elisabeth Behling,
Jefferson Chirino, Krystel Medina, María Gabriela Pirela**

Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA).

Escuela de Ingeniería Civil,

Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia.

**jmarin@fing.luz.edu.ve*

Resumen

El Lago de Maracaibo es un estuario hipereutrófico destinado a actividades de diversa índole, entre las que se cuentan: pesca deportiva y comercial, cultivo de especies acuáticas, balnearios, paseos turísticos y deportes acuáticos, entre otras. En el presente estudio se analizó la calidad sanitaria de las aguas costeras de la zona del estrecho del Lago Maracaibo, Venezuela, determinando su adecuación con respecto al tipo de aguas recreacionales (contacto humano parcial y total), establecido en la normativa legal vigente. Se realizaron seis muestreos puntuales en diez estaciones (Playa Miranda, Boulevard de los Puertos de Altagracia, Punta de Leiva, La Rita, Boulevard de Cabimas, Los Coquitos, San Remo, Vereda del Lago, Plaza Bolívar de San Francisco, Cañada de Urdaneta), entre noviembre de 2011 y abril de 2012. Los parámetros físico-químicos medidos *in situ* fueron: temperatura, pH, conductividad eléctrica, potencial redox y oxígeno disuelto, mientras que en el laboratorio se cuantificaron (métodos estándares): turbidez, alcalinidad total, dureza total, coliformes totales y fecales. Los resultados muestran una alta contaminación bacteriana en las playas del Lago, cuyos valores estuvieron entre 40 y $1,6 \times 10^7$ NMP/100mL para coliformes totales y entre <20 y $8,0 \times 10^5$ NMP/100mL para coliformes fecales, lo cual puede ser atribuido a la descarga de aguas residuales domésticas no tratadas en las riberas de este cuerpo de agua. Ninguno de los sitios monitoreados cumplió con los límites permisibles contemplados en la normativa para contacto humano parcial y/o total. Las aguas recreacionales de los sitios muestreados en el Lago de Maracaibo, no son aptas para actividades deportivas ni recreativas, ya que representan un problema potencial para la salud.

Palabras clave: Lago de Maracaibo, calidad sanitaria, parámetros microbiológicos, aguas recreacionales, contacto humano parcial y total.

Sanitary Quality of Recreational Waters in the Lake Maracaibo Strait

Abstract

Lake Maracaibo is hypertrophic estuary used for diverse activities, among which are commercial and sport fishing, farming of aquatic species, spas, tours and water sports. In the present study, the sanitary quality of coastal waters in the strait of Lake Maracaibo, Venezuela, was analyzed, determining their appropriateness for use as recreational waters (partial and total human contact), established in current legislation. Six samplings were conducted at ten sites (Playa Miranda, Boulevard de los Puertos de Altagracia, Punta de Leiva, La Rita, Boulevard de Cabimas, Los Coquitos, San Remo, Vereda del Lago, Plaza Bolívar de San Francisco, Cañada de Urdaneta) between November 2011 and April 2012. Physicochemical parameters were measured *in situ*: temperature, pH, electrical conductivity, redox potential and dissolved oxygen, while in the laboratory, turbidity, total alkalinity, total hardness, total and fecal coliforms were measured using standard methods. The results show high bacterial contamination at the Lake beaches; values were between 40 and 1.6×10^7 MPN/100 mL for total coliforms and between $M20$ and 8.0×10^5 MPN/100mL for fecal coliforms, which can be attributed to the discharge of untreated domestic sewage on the banks of that body of water. None of the sites monitored met the permissible limits specified in the regulations for partial and/or total human contact. Recreational waters at the sampled sites in Lake Maracaibo are not suitable for sports or recreational activities, as they represent a potential health problem.

Key words: Lake Maracaibo, sanitary quality, microbiological parameters, recreational waters, partial and total human contact.

Introducción

Los balnearios son cuerpos de agua en creciente demanda y tienen una reconocida importancia social y económica. La calidad de agua para uso recreacional debe ser considerada como una relación cuantificable entre la densidad de un indicador en el agua y el potencial riesgo para la salud humana. El establecimiento de criterios de calidad para esta clase de aguas, conlleva a la consideración de los usos que implican contacto humano total, y aquellos en los cuales el contacto humano es parcial. Así, por ejemplo, el baño, la natación, la pesca submarina y algunos deportes acuáticos requieren contacto total con el agua; en los restantes usos de esta clase de aguas, se produce sólo contacto parcial (Acuña y col. 1998).

Numerosos estudios destinados a conocer la calidad sanitaria de aguas recreacionales, han empleado como indicadores de contaminación fecal a distintos grupos de microorganismos, entre los que se encuentran: bacterias coliformes totales, bacterias coliformes fecales, *Escherichiacoli*, entero cocos y estreptococos (Zanoli y col. 2005, Mora y Calvo 2010, Vergaray y col. 2011, Casanovas-Marrana y Blanch 2013).

El Lago de Maracaibo es un estuario hipereutrófico altamente contaminado por diversas fuentes tanto orgánicas como inorgánicas. En él son vertidas sin previo

tratamiento numerosas descargas de agua provenientes de industrias y de asentamientos urbanos, así como también carga contaminante de ríos, caños y/o cañadas. Por otra parte, la mayor parte de las riberas de este ecosistema son usadas por la población como agua con fines de recreación. De esta manera, los usuarios tienen el riesgo de contraer enfermedades que son transmitidas por el agua, dependiendo de la susceptibilidad individual y del grado de contaminación local que presentan dichas aguas (Rodríguez 2000, Montiel y col. 2005, Rincón y col. 2007).

La legislación venezolana sobre el control de la calidad de los cuerpos de agua establece los criterios para la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente (Decreto 883 1995). Según este Decreto, las aguas recreacionales se clasifican en: Tipo 4: aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia, dividiéndose, además, en los siguientes Subtipos: Subtipo 4A: aguas para el contacto humano total y Subtipo 4B: aguas para el contacto humano parcial. Es por ello que, se hace imperativo el seguimiento de la calidad sanitaria de las aguas costeras del Lago de Maracaibo, debido al uso particular que tiene la población local y considerando la falta de monitoreo continuo por parte de los organismos competentes.

El objetivo de esta investigación consistió en analizar la calidad sanitaria de aguas costeras de la zona del estrecho del Lago de Maracaibo (costa oriental y occidental), determinando su adecuación con respecto al tipo de aguas recreacionales (contacto humano parcial y total), establecido en la normativa legal vigente (Decreto 883, 1995).

Metodología

Descripción del área de estudio. Lago de Maracaibo

El Lago de Maracaibo es un estuario hipereutrófico ubicado al occidente de Venezuela, entre los 10°39' N y 71°36' O. Está conectado al Golfo de Venezuela por un Estrecho de 55 Km de longitud en el borde Norte del mismo, y alimentado por unos 135 ríos, de los cuales los más importantes son el Catatumbo, Chama, Santa Ana y Escalante. El lago tiene 13210 Km² de área superficial; 1485,2 Km de línea de costa y es uno de los más antiguos en la Tierra. Posee una altitud de 3 msnm y una profundidad máxima de 30 m (Parra-Pardi 1979, Bautista 1997, Medina y Barboza 2006).

Muestreo

Se seleccionaron diez sitios de muestreo en el Estrecho del Lago de Maracaibo (Figura 1), considerando la frecuencia y densidad de utilización del recurso por parte de la población local, así como la accesibilidad a los mismos. En estos sitios se realizaron seis campañas de muestreos entre noviembre de 2011 y abril de 2012. Las muestras de agua superficial fueron colectadas manualmente a unos 100 m de la costa, durante la marea alta. Los sitios monitoreados en el estrecho de Maracaibo fueron los siguientes (Figura 1):

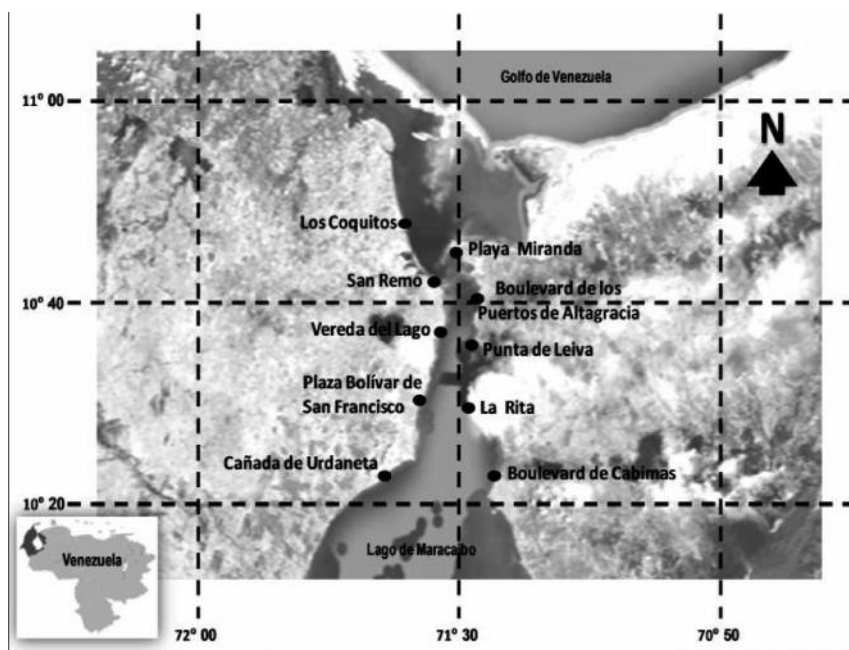


Figura 1. Sitios de muestreo monitoreados en el Lago de Maracaibo (Venezuela)

Costa Oriental del Lago de Maracaibo:

Playa Miranda ($10^{\circ}40'28,21''\text{N}$; $71^{\circ}42'58,09''\text{O}$).

Boulevard de los Puertos de Altigracia ($10^{\circ}40'28,21''\text{N}$; $71^{\circ}31'43,05''\text{O}$).

Punta de Leiva ($10^{\circ}38'47,65''\text{N}$; $71^{\circ}31'19,15''\text{O}$).

La Rita ($10^{\circ}31'44,78''\text{N}$; $71^{\circ}31'05,95''\text{O}$).

Boulevard de Cabimas ($10^{\circ}24'14,57''\text{N}$; $71^{\circ}28'13,10''\text{O}$).

Costa Occidental del Lago de Maracaibo:

Los Coquitos ($10^{\circ}54'43,82''\text{N}$; $71^{\circ}42'58,09''\text{O}$).

San Remo ($10^{\circ}46'05,70''\text{N}$; $71^{\circ}40'06,85''\text{O}$).

Vereda del Lago ($10^{\circ}40'10,57''\text{N}$; $71^{\circ}35'25,14''\text{O}$).

Plaza Bolívar de San Francisco ($10^{\circ}32'45,94''\text{N}$; $71^{\circ}37'07,43''\text{O}$).

Cañada de Urdaneta ($10^{\circ}25'22,67''\text{N}$; $71^{\circ}40'25,72''\text{O}$).

Las muestras de agua fueron dispuestas en dos tipos de envases: una botella plástica de 1,5 L para los análisis de laboratorio complementarios y un frasco de vidrio de 100mL esterilizado para los análisis bacteriológicos. Las mismas fueron preservadas en hielo para ser transportadas al laboratorio en un periodo inferior a las 6 h.

Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos

En las muestras de agua colectadas, se determinaron in situ los siguientes parámetros: temperatura, pH, conductividad eléctrica, potencial redox y oxígeno disuelto, utilizando un medidor multi-parámetros ORION 5 Star, previamente calibrado.

En el laboratorio, se realizaron los análisis de turbidez (turbidímetro ORBE-CO-HELLIGE modelo 965-10A), alcalinidad total (método volumétrico), dureza total (método volumétrico) y coliformes totales (CT) y fecales (CF) (técnica de fermentación en tubos múltiples), empleando los métodos estándares (APHA y col. 1998).

Análisis estadístico de datos

Se calcularon las medias aritméticas, desviaciones estándares, máximos y mínimos, utilizando el programa Excel 2010 para Windows 7. Se realizó un estudio de correlación simple de variables en los sitios de muestreo, con la finalidad de establecer la influencia de los parámetros fisicoquímicos sobre la abundancia de bacterias CT y CF, aplicando el programa estadístico SPSS versión 20, considerando $n = 9$, $p < 0,05$ $r_{teórico} = 0,632$.

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas recreacionales del Lago de Maracaibo

Temperatura

Los valores de temperatura del agua oscilaron entre 25,0 (Vereda del Lago) y 36,0°C (Los Coquitos), con una media aritmética de $29,0 \pm 2,5$ °C. El valor máximo se presentó en la playa Los Coquitos ($31,3 \pm 4,4$ °C), mientras que la menor temperatura fue registrada en la Vereda del Lago ($27,9 \pm 2,8$ °C) (Tabla 1, Figura 2A). Estos resultados corresponden con los reportados para este cuerpo de agua en estudios anteriores (Parra-Pardi 1979), y son típicos para ecosistemas acuáticos de la región tropical.

Dichos valores fueron menores a los encontrados por Pérez-Guzzi y col. (2006), en las playas de la zona balnearia de la ciudad de Mar de Plata, Argentina, las cuales se encuentran a latitudes inferiores. La temperatura es de especial interés para precisar la magnitud de los parámetros vinculados a los procesos de autodepuración de las aguas (Vázquez-Gutiérrez y col. 1984), los cuales son de especial interés en el Lago de Maracaibo.

pH

Los valores de pH en las aguas recreacionales del Lago de Maracaibo mostraron una media aritmética de $8,827 \pm 0,680$ (Tabla 1); con valores mínimo y máximo de 7,599 (playa San Remo) y 10,076 (Boulevard de Cabimas) (Figura 2B); respectivamente. Estos datos indican una cierta tendencia de las aguas hacia la basicidad, de-

Tabla 1. Medias aritméticas y desviaciones estándares (n=6) para las variables fisicoquímicas y bacteriológicas analizadas en aguas recreacionales del Lago de Maracaibo

	T°	pH	OD	T	PR	CE	AT	DT	CT	CF
Costa Oriental										
Playa Miranda	27,4± 1,4	8,755± 0,266	5,30± 1,14	13,5± 6,7	-75,8± 3,6	11,85± 9,50	79,3± 11,6	1326,7± 1114,8	7,4x10 ⁵ ± 8,8x10 ⁵	8,6x10 ⁴ ± 1,2x10 ⁵
Boulevard de los Puertos de Altagracia	27,8± 1,8	8,388± 0,330	4,11± 0,49	10,3± 4,5	-67,6± 17,0	9,88± 7,96	69,3± 7,4	1298,7± 1155,9	1,9x10 ⁵ ± 1,6x10 ⁵	3,8x10 ⁴ ± 1,9x10 ⁴
Punta de Leiva	28,3± 1,9	8,641± 0,760	4,40± 0,80	8,3± 3,8	-73,9± 29,6	6,96± 4,73	64,0± 10,6	956,0± 743,3	6,4x10 ⁶ ± 7,3x10 ⁶	2,9x10 ⁵ ± 3,8x10 ⁵
La Rita	29,5± 1,8	9,477± 0,525	4,20± 0,83	21,2± 6,9	-124,1± 24,2	5,75± 3,78	61,3± 11,3	408,0± 24,6	4,0x10 ⁴ ± 2,9x10 ⁴	1,1x10 ⁴ ± 1,6x10 ⁴
Boulevard de Cabimas	29,3± 2,0	9,553± 0,579	4,30± 1,04	82,3± 50,4	-126,4± 29,1	3,06± 0,28	66,0± 7,6	396,0± 17,2	9,6x10 ³ ± 1,4x10 ⁴	1,4x10 ² ± 9,0x10 ¹
Costa Occidental										
Los Coquitos	31,3± 4,4	9,221± 0,667	4,16± 0,90	59,9± 50,4	-113,2± 30,6	7,85± 7,80	104,0± 28,6	998,7± 761,3	7,4x10 ³ ± 1,1x10 ⁴	1,5x10 ² ± 8,0x10 ¹
San Remo	28,7± 2,6	8,388± 0,615	4,45± 0,76	20,3± 7,0	-72,0± 31,1	6,76± 4,24	100,7± 18,3	843,3± 527,1	2,6x10 ³ ± 2,0x10 ³	1,3x10 ³ ± 2,0x10 ³
Vereda del Lago	27,9± 2,8	8,381± 0,225	4,35± 0,25	13,5± 9,0	-70,7± 10,1	5,88± 1,68	75,3± 18,1	689,3± 238,1	1,1x10 ⁴ ± 8,7x10 ³	3,5x10 ³ ± 3,5x10 ³
Plaza Bolívar de San Francisco	30,3± 1,5	8,660± 0,490	4,76± 1,58	18,5± 2,4	-85,3± 21,5	4,15± 0,78	70,0± 8,2	492,7± 89,2	4,9x10 ⁴ ± 5,6x10 ⁴	2,5x10 ³ ± 2,1x10 ³
Cañada de Urdaneta	29,9± 1,0	8,801± 0,822	3,46± 0,39	18,6± 7,3	-92,6± 41,8	3,33± 0,10	74,7± 16,5	407,3± 24,4	5,5x10 ⁴ ± 7,9x10 ⁴	7,7x10 ² ± 4,8x10 ²

T°: temperatura (°C), OD: oxígeno disuelto (mg/L), T: turbidez (UNT), PR: potencial redox (mV), CE: conductividad eléctrica (mS/cm), AT: alcalinidad total (mgCaCO₃/L), DT: dureza total (mgCaCO₃/L), CT: coliformes totales (NMP/100 mL), CF: coliformes fecales (NMP/100 mL)

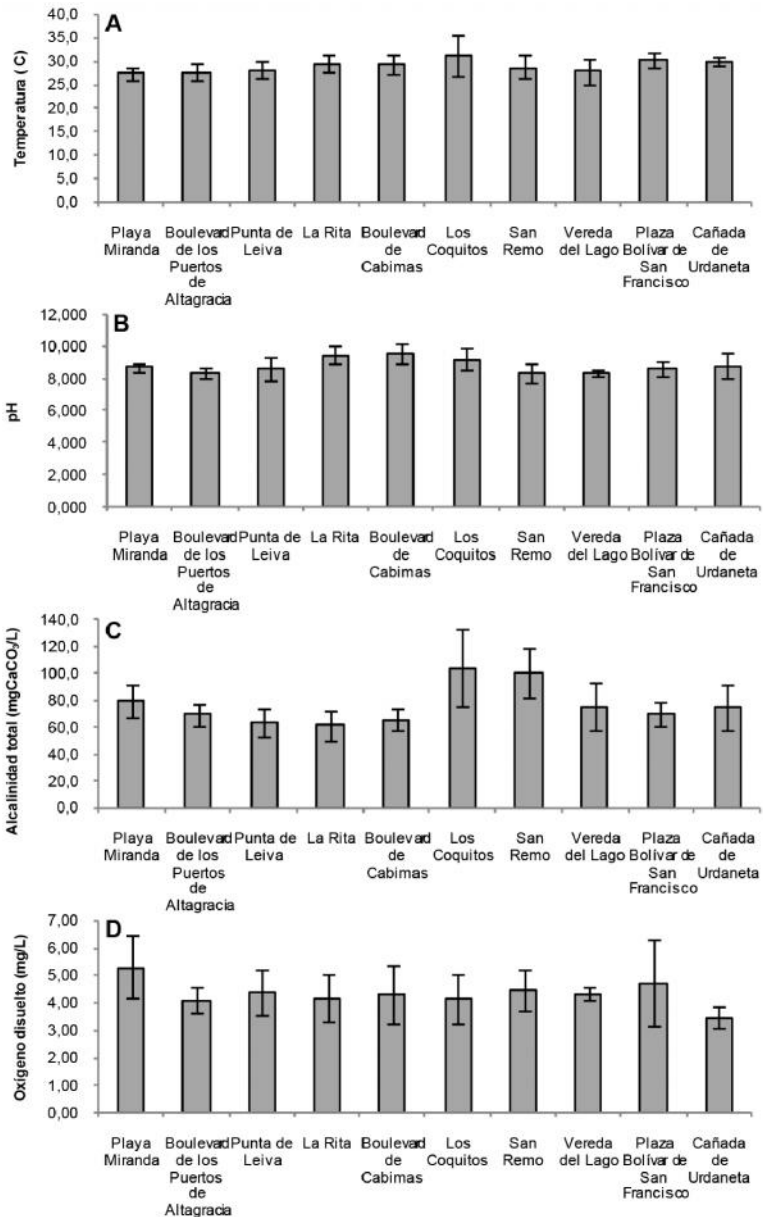


Figura 2. Parámetros físicoquímicos monitoreados en aguas recreacionales del Lago de Maracaibo.

A: Temperatura, B: pH, C: Alcalinidad total, D: Oxígeno disuelto.

Las barras verticales indican la media aritmética ± desviación estándar para n=6.

bido al contenido de sales y a los iones alcalinos que se encuentran disueltos (Sawyer y col. 2001). Morillo y col. (2010), obtuvieron un valor medio de pH de 8,6 unidades para aguas de este sistema acuático, el cual es similar al medido durante la presente investigación. Así mismo, los datos se encuentran en correspondencia con los registrados para aguas costeras de la región de Murcia, España, con una media de $8,44 \pm 0,17$ (López-Martínez y col. 2009); valores típicos de las aguas naturales.

Alcalinidad total

Los resultados del análisis de alcalinidad total se muestran en la Figura 2C, los mismos estuvieron entre 44,0 (La Rita) y 144,0 mgCaCO₃/L (Los Coquitos), con una media aritmética de $76,5 \pm 20,1$ mgCaCO₃/L (Tabla 1). Estos valores se encuentran en el rango medio de alcalinidad para los cuerpos de agua, según Kevern y col. (1989). A su vez, resultan superiores a los obtenidos por John Bosco y col. (2011), quienes reportaron una media de 24,93 mgCaCO₃/L, en aguas contaminadas del río Nworie (Nigeria); dichas variaciones pueden deberse a diferentes factores ambientales y composición química que afectan a los cuerpos de agua estudiados.

En la Figura 2C se observan las variaciones espaciales de alcalinidad total durante los muestreos realizados. En la Playa Los Coquitos se obtuvieron las mayores fluctuaciones ($104,0 \pm 28,6$ mgCaCO₃/L), indicando la dinámica de factores locales como actividad biológica, aportes antropogénicos, cambios ambientales, entre otros, que inciden directamente sobre la alcalinidad total. Las Playas Los Coquitos ($104,0 \pm 28,6$ mgCaCO₃/L) y San Remo ($100,7 \pm 18,3$ mgCaCO₃/L) mostraron los mayores valores de alcalinidad total, mientras que los menores se presentaron en Punta de Leiva ($64,0 \pm 10,6$ mgCaCO₃/L) y La Rita ($61,3 \pm 11,3$ mgCaCO₃/L).

Oxígeno disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto oscilaron entre 3,01 (Cañada de Urda-neta) y 6,80 mg/L (Plaza Bolívar de San Francisco), con una media aritmética de $4,35 \pm 0,96$ mg/L. Las variaciones espaciales para este parámetro durante el periodo de muestreo, se presentan en la Figura 2D, las cuales resultan del movimiento de las aguas y de factores locales. Las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el Lago de Maracaibo, pueden relacionarse con los procesos de oxidación de la abundante materia orgánica, típica de los ecosistemas hipereutróficos (Parra-Pardi 1979, Rodríguez 2000).

Los resultados obtenidos difieren de los reportados por Acuña y col. (2008), quienes reportaron concentraciones de oxígeno disuelto entre 6,01 y 7,80 mg/L, para la Isla el Coco, Costa Rica, durante el periodo de 2001 a 2007; un ecosistema marino altamente oxigenado. Igualmente, los datos obtenidos resultan menores a los presentados por López-Martínez y col. (2009), para aguas costeras aireadas de la región de Murcia (España), los cuales fueron de $6,86 \pm 0,89$ mg/L.

Potencial redox

La media aritmética para los datos de potencial redox fue $-90,1 \pm 33,0$ mV; con valores mínimo y máximo de $-152,6$ (Boulevard de Cabimas) y $-30,9$ mV (San Remo), respectivamente. En todos los casos los valores de potencial redox fueron negativos, correspondiendo con las bajas concentraciones de oxígeno disuelto encontrada (Tabla 1).

En la Figura 3A se observan las variaciones espaciales de potencial redox durante el periodo de estudio. De igual manera, en el Boulevard de Cabimas se observaron valores negativos ($-126,4 \pm 29,1$ mV). Estos resultados demuestran las características altamente reductoras de las aguas del Lago de Maracaibo, lo cual limita la reactividad, solubilidad y movilidad cíclica de elementos esenciales para los sistemas biológicos, como por ejemplo Fe, S, N, C, P, y varios elementos metálicos, que son afectados por cambios en el potencial redox. Al mismo tiempo, el potencial redox afecta la distribución y la actividad metabólica de microorganismos (Fuentes y Massol-Deyá 2002).

Conductividad eléctrica

En el presente estudio se observó un rango de conductividad eléctrica entre $2,68$ (Boulevard de Cabimas) y $24,45$ mS/cm (Playa Miranda), con una media de $6,77 \pm 5,58$ mS/cm (Tabla 1). Las variaciones de conductividad eléctrica están relacionadas con las características geoquímicas de la región donde se localizan los cuerpos de agua y con las condiciones climáticas: época seca y época húmeda. La dilución de iones ocurre durante la época de lluvia y la concentración de los mismos, por la evaporación del agua, se da en sequía (Esteves 1988). Este planteamiento explica las variaciones espaciales de conductividad eléctrica encontradas durante el presente estudio, las cuales resultan de eventos factores locales como lluvia, aportes de agua, evaporación, entre otros.

Los resultados obtenidos difieren considerablemente con los reportados por Pérez-Petitón y col. (2009), quienes al estudiar el agua de la presa Hemingway I en La Habana (Cuba), obtuvieron una conductividad eléctrica media de $0,58$ mS/cm. La variación entre ambos ecosistemas es debida a la naturaleza propia de los cuerpos de agua: agua dulce Vs. agua estuarina (salobre). La conductividad eléctrica del Lago de Maracaibo se ve afectada por la entrada de agua de mar que este posee, lo que le aporta salinidad al mismo. En general, la proporción de sales disueltas en los estuarios se asemejan a la del agua de mar; sin embargo, en algunos momentos la concentración de agua dulce entrante puede modificar la relación iónica de los estuarios (Bautista 1997).

En la Figura 3B se reflejan las variaciones espaciales de conductividad eléctrica durante los muestreos realizados, observándose que en ambas costas del Lago, los valores aumentaron de Sur a Norte, como resultado del aporte salino procedente del Golfo de Venezuela y de la cuña salina del canal de dragado en el estrecho de Maracaibo.

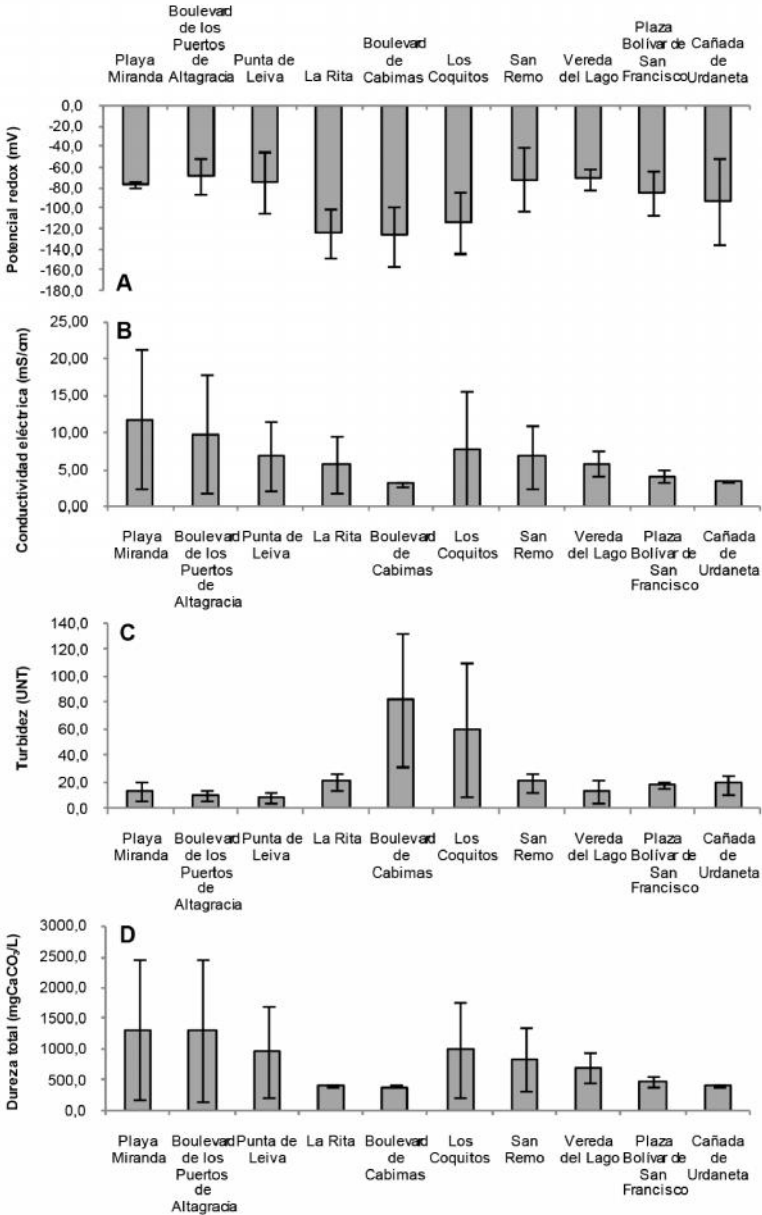


Figura 3. Parámetros fisicoquímicos monitoreados en aguas recreacionales del Lago de Maracaibo.

A: Potencial redox, B: Conductividad eléctrica, C: Turbidez, D: Dureza total. Las barras verticales indican la media aritmética ± desviación estándar para n=6.

Turbidez

Los niveles de turbidez en las aguas recreacionales del Lago de Maracaibo oscilaron entre 5,1 (Punta de Leiva) y 139,2 UNT (Los Coquitos), con una media aritmética de $26,6 \pm 32,1$ UNT (Tabla 1). Las variaciones espaciales de este parámetro, muestran los valores mayores en el Boulevard de Cabimas ($82,3 \pm 50,4$ UNT) y playa Los Coquitos ($59,9 \pm 50,4$ UNT) (Figura 3C), posiblemente como resultado de la acción de los vientos y/o de los aportes locales de material particulado.

La turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales y orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación. Los riesgos se pueden acentuar cuando los valores superan las 5 UNT, particularmente en el caso de aguas destinadas a consumo humano (Espigares-García y Fernández-Crehuet 1999, Marcó y col. 2004). No obstante, los niveles de turbidez encontrados en aguas recreacionales del Lago de Maracaibo, resultaron inferiores a los reportados en investigaciones previas de John Bosco y col. (2011), quienes estudiaron dicho parámetro en el río Nworie (Nigeria), señalando una media de 42,33 UNT; como resultado de las actividades de dragado emprendidas en ese cuerpo de agua.

Dureza total

La media aritmética para los datos de dureza total fue $781,7 \pm 694,6$ mgCaCO₃/L (Tabla 1); con un rango entre 352,0 y 3200,0 mgCaCO₃/L, quedando clasificadas como del tipo muy duras (Sawyer y col. 2001, Marín-Galvín 2003). Fue notorio un gradiente de las concentraciones de dureza total desde el Norte hasta el Sur en ambas costas del Lago, como resultado del aporte de agua de mar procedente del Golfo de Venezuela (Figura 3D).

Las aguas de los estuarios, como en el caso del Lago de Maracaibo, son típicamente duras, como resultado del contenido de bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio (dureza temporal), pero también debido a la presencia del sulfato de calcio y magnesio y/o cloruros (dureza permanente); característica de las aguas salobres (Sawyer y col. 2001, Marín-Galvín 2003, Brastad y He 2013). Este contenido de sales limita grandemente los posibles usos que se les puedan dar a estas aguas, por ejemplo, como aguas de abastecimiento.

Los valores de dureza total resultaron superiores a los reportados por Morillo y col. (2010), quienes reportan una concentración de 570 mgCaCO₃/L para muestras de agua superficial del Lago de Maracaibo; variación que puede atribuirse a las diferentes épocas y zonas en las que se realizaron las mediciones, lo cual repercute considerablemente en los iones disueltos presentes. A su vez, también resultan superiores a los registros presentados por Segnini y Chacón (2005), para agua de los ríos de la cordillera de Mérida, Venezuela, cuya dureza se ubicó en 34,3 mgCaCO₃/L, como resultado de la baja concentración de iones alcalinotérreos (calcio y magnesio).

Coliformes totales y fecales

La cuantificación de bacterias CT mostró los valores mínimo, medio y máximo de 40, $7,5 \times 10^5 \pm 2,9 \times 10^6$ y $1,6 \times 10^7$ NMP/100 mL, mientras que para las CF fueron de < 20 , $4,4 \times 10^4 \pm 1,5 \times 10^5$ y $8,0 \times 10^5$ NMP/100 mL, respectivamente (Tabla 1). Los mayores valores para estos parámetros microbiológicos se registraron en Punta de Leiva, Playa Miranda y Boulevard de los Puertos de Altigracia (Figura 4), resultantes probablemente de la presencia de fuentes puntuales de descarga de aguas residuales domésticas no tratadas, aunado a un bajo grado de mezcla de las aguas costeras locales; a diferencia de lo observado en otras localidades como Cañada de Urdaneta, La Rita y Boulevard de Cabimas, que representan sitios con asentamientos urbanos importantes en la cuenca del Lago.

La presencia de bacterias CT se detectó en todas las muestras durante el periodo de estudio, representando un grave problema ambiental con relación al posible uso de estas aguas. Brenniman y col. (1981), mencionan que las variaciones en los recuentos bacterianos obtenidos en los ambientes naturales pueden fluctuar considerablemente durante un simple día o entre muestras provenientes del mismo sitio o de sitios cercanos, lo cual hace referencia a la importancia de un monitoreo continuo de la calidad bacteriológica de las aguas, para establecer su grado de contaminación real.

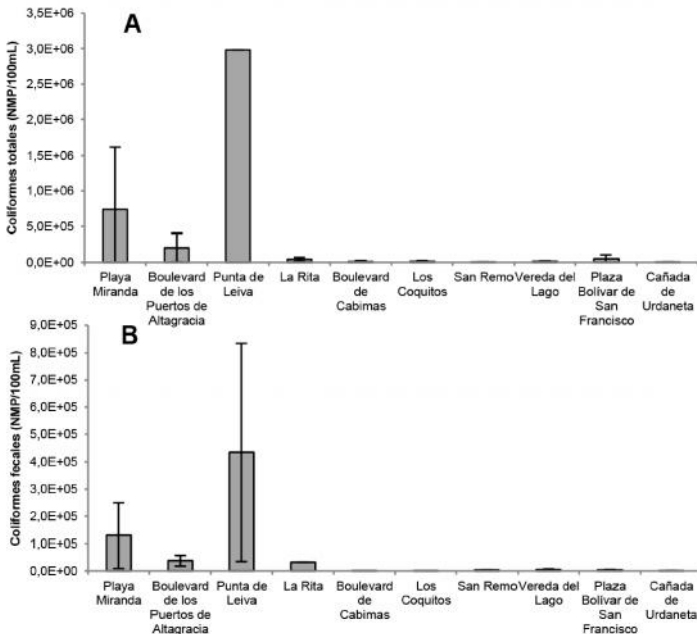


Figura 4. Parámetros microbiológicos monitoreados en aguas recreacionales del Lago de Maracaibo.

A: Coliformes totales, B: Coliformes fecales. Las barras verticales indican la media aritmética \pm desviación estándar para $n=6$.

Rodríguez (2012), estudió indicadores bacterianos en aguas recreacionales del Municipio Caroní (Venezuela), incluyendo el río Orinoco, y reportó valores inferiores a los observados en la presente investigación. En dicho estudio se establece que la contaminación bacteriana es producto de las descargas no controladas que se generan en los márgenes de los ecosistemas acuáticos estudiados. Por su parte, Montiel y col. (2005), también reportan valores inferiores de CT y CF para el caso de la Laguna de Sinamaica (Venezuela), lo que sugiere la intensa contaminación fecal que reciben las aguas del Lago de Maracaibo, producto de la descarga de aguas residuales domésticas de la ciudad de Maracaibo y otros asentamientos urbanos de la costa oriental del Lago.

En las Tablas 2 y 3 se muestran los coeficientes de correlación entre los parámetros fisicoquímicos y las densidades de bacterias CT y CF en los diferentes sitios de muestreo. En este sentido, se observó la influencia de algunos parámetros sobre la abundancia de estas bacterias, particularmente de la conductividad eléctrica, potencial redox y dureza total para las CT, y de la temperatura, oxígeno disuelto, potencial redox, conductividad eléctrica y alcalinidad total para las CF. La calidad fisicoquímica del agua influye sobre la supervivencia de las bacterias coliformes, considerando que son microorganismos mesófilos aerobios o facultativos, sin embargo, no condiciona la permanencia en el medio acuático debido a su origen entérico (Montiel y col. 2005, López y col. 2009, Zhen 2009).

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre las densidades de coliformes totales y los parámetros fisicoquímicos analizados en aguas recreacionales del Lago de Maracaibo, tomando $n=9$, $p < 0,05$ y $r_{teórico} = 0,632$.

Costa Oriental	T°	pH	OD	T	PR	CE	AT	DT	CF
Playa Miranda	NS	NS	-0,969	NS	-0,851	0,969	0,958	0,966	NS
Boulevard de los Puertos de Altigracia	NS	NS	NS	0,708	NS	0,966	0,944	0,947	0,733
Punta de Leiva	-0,920	NS	0,998	NS	NS	NS	-0,920	NS	0,996
La Rita	0,994	NS	0,671	NS	NS	NS	NS	0,732	NS
Boulevard de Cabimas	NS	0,667	NS	NS	-0,667	NS	NS	NS	NS
Costa Occidental									
Los Coquitos	NS	-0,985	NS	-0,667	0,975	0,947	NS	0,987	NS
San Remo	NS	-0,767	NS	-0,862	0,666	NS	-0,862	NS	NS
Vereda del Lago	0,803	NS	NS	NS	NS	0,981	NS	0,989	NS
Plaza Bolívar de San Francisco	NS	-0,933	NS	-0,696	0,942	NS	NS	NS	-0,805
Cañada de Urdaneta	0,991	NS	0,903	NS	NS	-0,698	NS	NS	-0,888

NS: no significativo, T°: temperatura, OD: oxígeno disuelto, T: turbidez, PR: potencial redox, CE: conductividad eléctrica, AT: alcalinidad total, DT: dureza total, CF: coliformes fecales.

Tabla 3. Coeficientes de correlación entre las densidades de coliformes fecales y los parámetros fisicoquímicos analizados en aguas recreacionales del Lago de Maracaibo, tomando $n=9$, $p < 0,05$ y $r_{\text{teórico}} = 0,632$

Costa Oriental	T°	pH	OD	T	PR	CE	AT	DT	CT
Playa Miranda	-0,776	0,987	NS	0,974	0,697	NS	NS	NS	NS
Boulevard de los Puertos de Altagracia	NS	0,798	0,708	0,867	-0,796	0,885	0,694	0,881	0,733
Punta de Leiva	-0,882	NS	0,992	NS	NS	NS	-0,886	NS	0,996
La Rita	NS	NS	NS	0,924	NS	1,000	-0,898	NS	NS
Boulevard de Cabimas	NS	0,979	-0,959	0,998	-0,979	0,991	-0,985	NS	NS
Costa Occidental									
Los Coquitos	0,918	NS	0,825	NS	NS	0,755	-0,945	0,635	NS
San Remo	NS	-0,946	0,985	NS	0,983	NS	NS	NS	NS
Vereda del Lago	-0,907	NS	0,933	0,960	0,703	NS	0,840	NS	NS
Plaza Bolívar de San Francisco	-0,780	0,964	NS	0,932	-0,958	-0,791	NS	-0,919	-0,805
Cañada de Urdaneta	-0,822	NS	NS	0,755	NS	0,786	NS	NS	-0,888

NS: no significativo, T°: temperatura, OD: oxígeno disuelto, T: turbidez, PR: potencial redox, CE: conductividad eléctrica, AT: alcalinidad total, DT: dureza total, CF: coliformes totales.

Calidad sanitaria de aguas recreacionales en el Lago de Maracaibo con base en la normativa vigente

Aguas Subtipo 4A: contacto humano total

Ninguna de las aguas recreacionales muestreadas en el Lago de Maracaibo cumplió con lo establecido por la normativa venezolana para contacto humano total, para las cuales se requiere: concentración de oxígeno disuelto $> 5,0$ mg/L; pH entre 6,5 y 8,5; contenido de CT menor a 1000 NMP/100 mL en el 90% de una serie de muestras consecutivas y menor a 5000 en el 10% restante, mientras que la densidad de CF debe ser menor a 200 NMP/100mL en el 90% de una serie de muestras consecutivas y menor a 400 en el 10% restante (Decreto 883 1995).

Si bien en Boulevard de Cabimas y Los Coquitos se cumplió con los límites permisibles para CF, los valores de pH, oxígeno disuelto y CT (Tabla 1), sobrepasaron los establecidos en la norma vigente. Estos resultados señalan que las aguas recreacionales de los sitios estudiados en el Lago de Maracaibo, no son aptas para ser usadas por bañistas u otras actividades que requieran contacto humano total, ya que representan un problema de salud potencial para los usuarios, pudiendo provocar enfermedades relacionadas con la piel, las vías respiratorias y digestivas, entre otras (Mora y Calvo 2010, Vergaray y col. 2011, Casanovas-Marrana y Blanch 2013).

Aguas Subtipo 4B: contacto humano parcial

En cuanto a las aguas destinadas a contacto humano parcial, la legislación estipula que la concentración de oxígeno disuelto debe ser $>5,0$ mg/L; el pH entre 6,5 y 8,5; el contenido de CT menor a 5000NMP/100mL en el 80% de una serie de muestras consecutivas y menor a 10000 en el 20% restante, y para CF menor a 1000 NMP/100 mL en la totalidad de las muestras (Decreto 883 1995). De igual manera, los sitios Boulevard de Cabimas y Los Coquitos estuvieron dentro de los valores establecidos por la legislación con relación al contenido de CF, pero incumplieron los límites de pH, oxígeno disuelto y CT (Tabla 1), lo cual las hace inadecuadas para el contacto humano parcial (deportes acuáticos, pesca deportiva, otros).

Conclusiones

La caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas recreacionales del estrecho del Lago de Maracaibo (costa oriental y occidental), mostró marcadas variaciones espaciales, influenciadas por el agua marina proveniente del Golfo de Venezuela (Norte) y el agua dulce aportada por los ríos tributarios (Sur).

El análisis de la calidad sanitaria de las aguas recreacionales considerando la normativa legal vigente, reveló que los sitios estudiados no cumplen con los criterios establecidos para contacto humano total ni parcial (aguas Tipo 4), debido particularmente a los valores de pH, oxígeno disuelto y coliformes, tanto totales como fecales. No obstante, las muestras colectadas en el Boulevard de Cabimas y Los Coquitos exhibieron los menores valores de coliformes fecales, llegando a ubicarse por debajo de los límites máximos permisibles para el contacto humano parcial y total.

Las aguas recreacionales de los sitios estudiados en el Lago de Maracaibo representan un problema de salud potencial para los usuarios, pudiendo provocar problemas relacionados con la piel, las vías respiratorias y digestivas, entre otros, como resultado principalmente de la contaminación fecal originada por la descarga de aguas residuales domésticas no tratadas en las riberas de este cuerpo de agua.

Referencias bibliográficas

- Acuña, J., García, J., Gómez, E., Vargas, J. y Cortés, J. (2008). Parámetros físico-químicos en aguas costeras de la Isla del Coco, Costa Rica (2001-2007). **Revista de Biología Tropical** 56(2), 49-56.
- Acuña, N., Meyer, R., Haye, M. y Lerman, B. (1998). Contaminación bacteriana en aguas recreacionales factores intervinientes. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). Lima-Perú.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition. Washington: American Public Health Association.
- Bautista, S. (1997). Proceso de salinización en el Lago de Maracaibo. **Maracaibo: Instituto para el Control y la Conservación del Lago de Maracaibo**. p.p. 109.

- Brastad, K. S. y He Z. (2013). Water softening using microbial desalination cell technology. *Desalination* 309, 32-37.
- Brenniman, G. R., Rosenberg, S. H. y Northrop, R. L. (1981). Microbial sampling variables and recreational water quality standards. *American Journal of Public Health* 71, 283-289.
- Casanovas-Marrana, A. y Blanch, A. (2013). Characterization of microbial populations associated with natural swimming pools. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 216(2), 132-137.
- Decreto 883. República de Venezuela (1995). Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. *Gaceta Oficial* Nº 5021. Venezuela.
- Espigares-García, M. y Fernández-Crehuet, M. (1999). **Calidad del agua para consumo público: Caracteres físico-químicos.** Pérez-López. J. A. y Espigares-García M. (editores): Estudio sanitario del agua. (p.p. 85-114). Granada.
- Esteves, F. (1988). **Fundamentos de Limnología. Rio de Janeiro:** Editora Interciência. p.p.574.
- Fuentes, F. y Massol-Deyá, A. (2002). Manual de laboratorios. Ecología de microorganismos. Puerto Rico: Universidad de Puerto Rico (documento en línea). Disponible en: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/>(consulta: 2013, agosto 15).
- John Bosco U., Nnaji A. O. y Ejimaduekwu, P. I. (2011). Preliminary assessment of some physicochemical parameters during dredging of Nworie River, Owerri. **Pakistan Journal of Nutrition** 10 (3), 269-273.
- Kevern, N.R., Elliot, R. F., Flaherty, M. J., Jennings, H. E. y Zafft, D. J. (1989). A limnological survey of Paradise Lake, Emmett and Cheboygan counties. Department of Fisheries and Wildlife. **Michigan State University.** p.p. 120.
- López, P., Salazar, S., Figueroa, Y., López, J. y Fuentes, J. (2009). Calidad bacteriológica y fisicoquímica de aguas y sedimentos de cuatro playas de las costas del estado Nueva Esparta. **Ciencia** 17(4), 271-280.
- López-Martínez, L., Paredes-Giménez, A., Alcaraz-Oliver, N. y Gilabert, J. (2009). Análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos en las aguas costeras de la región de Murcia. España: **Universidad Politécnica de Cartagena.** p.p. 132.
- Marcó, L., Azario, R., Metzler, C. y García, M. C. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). **Higiene y Sanidad Ambiental** 4, 72-82.
- Marín-Galván, R. (2003). Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. **Tratamiento y control de calidad de aguas.** Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A. p.p. 311.
- Medina, E. y Barboza, F. (2006). Lagunas costeras del Lago de Maracaibo: distribución, estatus y perspectivas de conservación. **Ecotropicos** 19(2), 128-139.
- Montiel, M., Zambrano, J. L., Castejón, O., Oliveros, C. y Botero, L. (2005). Indicadores bacterianos de contaminación fecal y colifagos en el agua de la Laguna de Sinamaica, Estado Zulia, Venezuela. **Ciencia** 13 (3), 292-301.

- Mora, J. y Calvo, G. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. **Tecnología en Marcha**, Número Especial 23(5), 34-40.
- Morillo, G., Jonte, L., Araujo, I., Angulo, N., Herrera, L. y Morales, E. (2010). Efectos del nitrógeno y cloruros en la dinámica del fitoplancton del Lago de Maracaibo, **Venezuela. Ingeniería** 35(8), 575-580.
- Parra-Pardi G. (1979). Estudio integral sobre la contaminación del Lago de Maracaibo y sus afluentes. Parte II. Evaluación del proceso de eutroficación. Caracas: **Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables**. p.p. 235.
- Pérez-Guzzi, J., Zamora, A. S., Folabella, A. M., Isla, F. I. y Escalante, A. (2006). Situación sanitaria de la zona balnearia de la ciudad de Mar del Plata, Argentina. I Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. Córdoba - Argentina.
- Pérez-Petitón, J., López-Seijas, T., Hernández-Cuello, G. y González-Robaina, F. (2009). Modelo matemático para determinar la calidad del agua en dos puntos del arroyo Guachinango. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias** 18(3), 19-23.
- Rincón, N., Dupont, J. y Díaz-Borrego, L. (2007). Bacterias y protozoarios ciliados de muestras de agua de la costa oriental del Lago de Maracaibo. **Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas** 41(3), 309-322.
- Rodríguez, C. (2012). Calidad de cuerpos de agua: municipios Heres y Caroní del estado Bolívar, Venezuela, marzo-abril 2010. **Universidad, Ciencia y Tecnología** 16 (62), 3-11.
- Rodríguez, G. (2000). El Sistema del Lago de Maracaibo. Segunda edición. Caracas: **Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)**. p.p. 264.
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L. y Parkin, G. F. (2001). **Química para ingeniería ambiental**. Cuarta edición. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana S. A. p.p. 713.
- Segnini, S. y Chacón, M. M. (2005). Caracterización fisicoquímica del hábitat interno y ribereño de ríos andinos en la Cordillera de Mérida, Venezuela. **Ecotropicos** 18(1), 38-61.
- Vázquez-Gutiérrez, F., King-Díaz, R., Aguilar-Morales, J. y Arenal-Capetillo, R. (1984). Evaluación del proceso de autopurificación química y biológica del río Duero. Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Morelia - México.
- Vergaray, G., Méndez, C., Morante, H., Gamboa, R. y Fernández, K. (2011). Calidad microbiana del agua de playas de Lima y su relación con focos de contaminación. **Revista del Instituto de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica** 14(27), 73-79.
- Zanoli, M., Di Bari, M., Condé, C., Truzzi, A., Coelho, M. y Hachich, E. (2005). Sanitary quality of sands from marine recreational beaches of São Paulo, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology** 36(4), 321-326.
- Zhen, B. (2009). Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008. Tesis de Maestría. **Universidad Estatal a Distancia**. p.p. 185.