

Evaluación de la calidad físico-química de las aguas y sedimentos en la costa oriental del lago de Maracaibo

Jorge Luis Moronta-Riera
Amalia Beatriz Riverón-Zaldivar

Resumen

Esta investigación tuvo como propósito determinar la composición físico-química de las aguas y sedimentos del lago de Maracaibo en tres puntos de muestreo ubicados en Tía Juana, Lagunillas y Ceuta, para conocer el grado de contaminación y valorar la calidad del agua según los límites permisibles por el decreto 883. Se obtuvo concentraciones de hidrocarburos totales en el agua y los sedimentos mayores a las permisibles y se concluye que la principal causa de contaminación del lago es la actividad petrolera.

Palabras clave: lago de Maracaibo; calidad del agua; sedimentos; contaminantes.

Assessment of water and sediment physico-chemical composition in the west coast of Maracaibo lake

Abstract

The objective of this investigation was to determine the physical and chemical composition of the water streams and sediments of the Maracaibo Lake in three sampling areas located in Tía Juana, Lagunillas and Ceuta in order to know the level of contamination and assess water quality based on permissible values established by the 883 Decree. The results indicate that the overall hydrocarbon concentrations in the water and sediments are above permissible levels. It is concluded that petroleum prospection is the root cause of the lake contamination.

Keywords: Maracaibo Lake; water quality; sediments; pollutants.

1. INTRODUCCIÓN

El sistema del lago de Maracaibo está conformado por el golfo de Venezuela, bahía El Tablazo, estrecho de Maracaibo, lago propiamente dicho y ríos tributarios. Las aguas del lago de Maracaibo han sufrido un cambio en su composición química desde 1938, cuando comienza una mayor intervención del hombre al sistema debido a las actividades de explotación petrolera. A partir del año 1956 se produce un incremento continuo en la concentración salina, a causa de la penetración de agua salina desde el golfo de Venezuela, convirtiendo las aguas del lago en no aptas para el consumo humano, riego o usos industriales.

Los principales problemas ambientales en el lago de Maracaibo están relacionados con la explotación económica de los recursos naturales (Morillo *et al.* 2010; Corona-Lisboa 2013). Los procesos de refinación y extracción del petróleo y gas natural (Carvajal & Oletta 2012) liberan desechos tóxicos altamente contaminantes, a lo que se suma el vertido de grandes cantidades de sustancias químicas y orgánicas que perturban las funciones ecológicas del estuario, reducen la biota, dañan el ecosistema acuático y contaminan los ríos tributarios (Benítez-Díaz & Miranda-Contreras 2013).

Estudios realizados en el sistema lago de Maracaibo indican que la presencia y concentraciones de metales pesados en los sedimentos provienen de fuentes que descargan directa o indirectamente en el sistema (Hermoso-Márquez & Márquez-Urdaneta 2005; López-Samper 2010). Las industrias petroleras contribuyen a la contaminación por metales pesados, pero también intervienen desechos de los grandes asentamientos humanos (González-Rojas 2009) de las ciudades de Maracaibo, San Francisco, Cabimas y Lagunillas.

El objetivo fue determinar la composición físico-química de las aguas y sedimentos de la costa oriental del lago de Maracaibo para evaluar el grado de contaminación. El estudio se realizó en la zona costera del lago, a partir de tres estaciones de muestreo, distribuidas en Tía Juana (1), Lagunillas (2) y Ceuta (3), las cuales coinciden espacialmente con las áreas de intensa actividad petrolera, agroindustrial, agropecuaria, comercial y humana, que se desarrollan en la zona.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En la presente investigación se utilizó la información de la campaña de muestreo de aguas y sedimentos en tres estaciones objeto de estudio: Tía Juana (1), Lagunillas (2) y Ceuta (3), realizada durante el mes de febrero 2011, en el período seco; llevada a cabo por la Gerencia de Operaciones Acuáticas y Dirección Ejecutiva de Ambiente, que incluye los

análisis físicos y químicos de las muestras, tanto de agua como de sedimentos.

Los datos aportados (Medina y Barboza 2006) fueron procesados en correspondencia con las relaciones y comportamiento de los parámetros físicos y químicos obtenidos, que permite determinar elementos contaminantes al comparar los valores obtenidos de cada elemento con los máximos permisibles, según el decreto 883 "Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos".

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados de las determinaciones físicas y químicas de las muestras de agua y sedimentos han permitido establecer la existencia de contaminantes en estos medios físicos.

3.1 Agua

Los parámetros físicos de las muestras de agua captadas a diferentes profundidades en las tres estaciones de muestreo establecen las siguientes relaciones:

3.1.1 Salinidad vs. conductividad

El comportamiento de la salinidad (Tabla 1) en las tres estaciones de muestreo evidencian uniformidad en las concentraciones salinas de las muestras superficiales y de fondo de las estaciones de Tía Juana (1) y Lagunillas (2), con mayor salinidad de la primera respecto a la segunda, pues la estación está más próxima a la entrada de agua salada en el lago a través del canal de navegación. Sin embargo, la salinidad más alta se encuentra en la zona de Ceuta (3). La conductividad mostró un comportamiento similar a la salinidad.

3.1.2 pH vs. Oxígeno disuelto

El pH es mayor a 7; en las estaciones de muestreo Tía Juana y Lagunillas aumentó el oxígeno disuelto y hubo una pequeña disminución del pH tanto en las muestras de fondo como de superficie, debido a la poca actividad fotosintética y al oleaje en las zonas. En la estación Ceuta existe una notable disminución del oxígeno disuelto respecto al pH, por el aumento considerable de materia orgánica y de la actividad fotosintética.

Tabla 1. Valores del muestreo en la costa oriental del lago de Maracaibo

Estación	Profundidad, m	Temperatura, °C	pH	Conductividad, mS/V	O ₂ disuelto	Salinidad, ‰
Tía Juana	0	30,8	8,03	4,47	8,3	2,36
	8	31,2	8,03	4,39	5,3	2,31
Lagunillas	0	30,4	7,64	4,344	8,3	2,29
	7	31,1	7,41	4,336	7,8	2,28
Ceuta	0	29,9	7,77	5,199	7,3	2,77
	30	32,5	7,2	10,34	0,7	5,8

3.1.3 Fósforo total vs. oxígeno disuelto

En la zona de Ceuta la mayor concentración de fósforo coincide con la menor concentración de oxígeno disuelto en el agua (Tabla 2), lo que evidencia una acumulación de materia orgánica producto de la falta de microorganismos que puedan eliminar el nutriente. En consecuencia esto hace que disminuya el oxígeno disuelto.

3.1.4 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO)

La Tabla 2 muestra valores constantes en las estaciones Tía Juana y Lagunilla. En Ceuta los valores de DBO y DQO son de 103 mg/L y 361 mg/L, respectivamente; indicando presencia de materia orgánica biodegradable, que no se elimina porque no existen suficientes microorganismos que oxiden metabólicamente la misma, por la influencia de las instalaciones petroleras. El elevado valor de la DQO en el fondo de Ceuta se debe a la presencia de materia orgánica con sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas.

3.1.5 Hidrocarburos totales vs. demanda bioquímica de oxígeno

Los valores de hidrocarburos totales en las estaciones de muestreo 1, 2 y 3 (Tabla 2) se encuentran por encima de los rangos permitidos en la norma de calidad de los cuerpos de agua. Se nota mayor presencia de hidrocarburos en la estación 3, que coteja con el aumento de la demanda biológica de oxígeno de esa zona, producto de la existencia de materia orgánica y de escasez de microorganismos capaces de llevar a cabo el proceso de oxidación metabólica de los hidrocarburos presentes en el medio.

Tabla 2. Resultados de los análisis de las muestras de agua

Límite o rango máximo admisible para cada elemento según el decreto 883					
	0,3 mg/L	---	---	< 1 mg/L	---
Estación	TPH (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DET (mg/L)	P Total (mg/L)
1	3,09	2	11	<0,05	0,12
	2,65	<2,00	11	<0,05	0,11
2	2,92	2	12	<0,05	0,11
	3,54	2	11	<0,05	0,11
3	3,8	2	16	<0,05	0,11
	3,3	103	361	<0,05	1,58
Límite o rango máximo admisible para cada elemento según el decreto 883					
	3 000 mg/L	---	---	< 0,002 mg/L	10 mg/L
Estación	SDT (mg/l)	ST (mg/l)	SS (mg/L)	Fenoles (mg/L)	NO ₃ + NO ₂ (mg/L)
1	2 230	2 280	4	< 0,05	10,48
	2 224	2 350	4	< 0,05	3,09
2	2 254	2 274	6	< 0,05	24,05
	2 258	2 316	8	< 0,05	3,52
3	2 676	2 696	4	< 0,05	2,87
	5 748	6 500	32	< 0,05	2,63

3.1.6 Nitritos y nitratos

Al analizar el comportamiento de estos parámetros (Figura 1) en las diferentes estaciones de muestreo se observan dos valores medidos en superficie fuera del límite y rango establecido en el decreto 883, correspondiente a las estaciones de muestreo de Tía Juana y Lagunillas, lo cual evidencia aporte de materia orgánica en ambas zonas (Restrepo-Bermúdez y Contreras-Barajas 2005). Estos valores se atribuyen a la contaminación ocasionada por las descargas de aguas residuales generadas por los poblados de Cabimas, Tía Juana(1), Ciudad Ojeda(2) y Lagunillas(3), acotando la falta capacidad de manejo desde las plantas de tratamiento de Cabimas y Ciudad Ojeda, con capacidades de manejo de 1 100 L/s y 800 L/s, respectivamente.

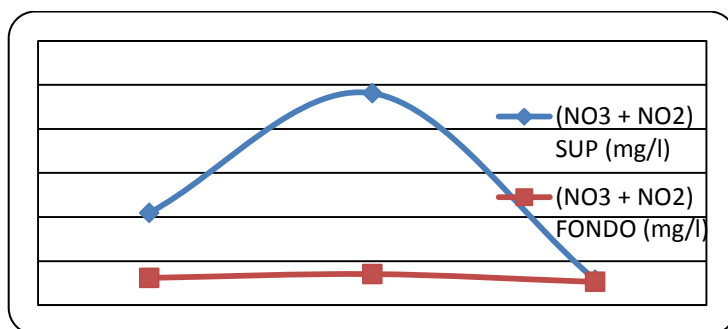


Figura 1. Comportamiento de nitritos+nitratos en superficie y fondo.

Entre los contaminantes que llegan a los cuerpos de agua se puede mencionar los metales pesados (cobre, mercurio, vanadio, plomo, cromo, entre otros), petróleo y sus derivados (fenoles, kerosene, diesel, gasolina, entre otros) y detergentes (Tabla 3).

Al revisar las concentraciones de metales pesados en agua y comparar con el decreto 883 se pudo evidenciar que la mayoría de elementos presenta valores dentro de los rangos permisibles, con excepción de las concentraciones de hierro y plomo encontradas en las medidas de fondo de las estaciones de muestreo Ceuta y Tía Juana, cuyos valores exceden los límites.

Tabla 3. Determinación de metales pesados en agua

		Límite o rango máximo admisible para cada elemento según el decreto 883						
		1,0 mg/L	0,75 mg/L	0,05 mg/L	1,0 mg/L	0,01 mg/L	0,05 mg/L	5,0 mg/L
Estación	Profundidad, m	Ba	B	Cr	Fe	Hg	Pb	Zn
1	0	0,027	<0,30	<0,001	0,027	<0,001	0,007	<0,001
	8	0,03	<0,30	0,003	0,067	<0,001	0,208	0,057
2	0	0,03	<0,30	<0,001	0,046	<0,001	0,004	<0,001
	7	0,03	<0,30	<0,001	0,047	<0,001	0,007	<0,001
3	0	0,027	<0,30	<0,001	0,011	<0,001	0,004	<0,001
	30	0,1	0,729	0,005	1,64	<0,001	0,02	0,016

3.2 Sedimentos

3.2.1 Concentraciones de metales pesados

A continuación se presentan los porcentajes en peso de hidrocarburos totales obtenidos en cada estación de muestreo (Tabla 4), así como también la cantidad de miligramos por kilogramo de sedimento de cada metal pesado analizado.

Tabla 4. Resultados de la determinación de metales pesados en sedimento

	% en peso	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Estación	TPH	As	Ba	Cr	Pb	Zn	V
1	0,69	1,8	29	23	7	86	41
2	0,23	<1,0	126	2,8	3,46	103	2,75
3	0,31	4,55	269	16	26	149	32

Al revisar las concentraciones de metales presentes en el sedimento se pueden establecer las siguientes relaciones:

Estación 1 Tía Juana: En lo relativo a los sedimentos vale destacar los niveles más bajos de bario en sedimentos, que contrastan con los más altos reportados para el cromo y vanadio.

Estación 2 Lagunillas: En cuanto a los sedimentos existen diferencias notables en relación a la estación de Tía Juana, ya que los niveles de cromo y vanadio resultaron más bajos, a diferencia del zinc y el bario que reportaron niveles relativamente altos en comparación con las demás estaciones.

Estación 3 Ceuta: En cuanto a los metales en sedimentos también se presentaron los registros más altos de zinc (149 mg/kg) y plomo (25 mg/kg) en la fracción sólida.

Los resultados de los análisis de las muestras de agua tomadas en cada punto de muestreo determinaron que las concentraciones mayores de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, fósforo total y sólidos totales se presentan en el fondo de la estación Ceuta. Así mismo, se detectaron concentraciones de nitritos+nitratos por encima de los límites permisibles en las zonas de Tía Juana y Lagunillas.

En lo que respecta a la presencia de metales en agua se detectaron concentraciones de hierro y plomo en fondo, las cuales exceden los límites establecidos para la calidad del agua. Por otro lado, las mayores concentraciones de los metales: arsénico, bario, plomo y zinc se encontraron en las muestras de sedimento del área de Ceuta. De igual manera, las máximas concentraciones de cromo y vanadio se detectaron en la estación ubicada en Tía Juana.

Los resultados de TPH obtenidos en las tres estaciones de muestreo exceden las concentraciones máximas permitidas en las normas de calidad del agua así como la presencia de metales pesados en el agua, lo cual se atribuye a la explotación y extracción de hidrocarburos en la zona de la costa oriental del lago.

También la investigación permitió definir las causas de estos contaminantes pues, en el caso de la zona de Tía Juana, representa un área de gran actividad para la extracción y procesamiento de petróleo en la costa oriental del lago; existe un alto desarrollo urbano e industrial que genera altos niveles de polución en las descargas litorales, las cuales en su mayoría carecen de sistemas de tratamiento adecuado.

Por otro lado, Lagunillas se encuentra en el centro del eje de la costa oriental del lago y, al igual que Tía Juana, posee una alta actividad petrolera e industria; existe una gran cantidad de instalaciones, muchas de ellas abandonadas por las empresas transnacionales que operaron largo tiempo en la zona, lo que las ha convertido en pasivos ambientales.

La región de Ceuta es considerada como el sumidero del lago, debido a que allí se depositan la mayoría de los productos de desecho que arrastran las corrientes lacustres y es donde se presentan las mayores profundidades (alrededor de 34 m). En esta área existe una masa de agua, denominada como hipolimnético, que se caracteriza por condiciones de anoxia y altas salinidades debido a que el agua de mayor densidad limita la circulación vertical y, por tanto, el intercambio de oxígeno.

4. CONCLUSIONES

- En las tres estaciones de muestreo las concentraciones de TPH son mayores a las permisibles y los niveles de nitritos y nitratos superan los 10 mg/L, evidenciándose contaminación por vertido de aguas residuales al lago.
- Los resultados físico-químicos demuestran que la principal causa de contaminación del lago de Maracaibo es la actividad petrolera en su costa oriental y el alto desarrollo urbano e industrial de sus áreas aledañas, que genera altos niveles de polución en las descargas litorales que, en su mayoría, carecen de sistemas de tratamiento adecuado.

5. REFERENCIAS

BENÍTEZ-DÍAZ, P. & MIRANDA-CONTRERAS, L. 2013: Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de

- Latinoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29: 7-23
- CARVAJAL, A. C. & OLETTA, L. J. F. 2012: Derrames petroleros y sus efectos sobre la ecología y la salud humana. *Noticia Epidemiológica* Nº 35: 40 p. Red de Sociedades Científicas Médicas Venezolanas.
- CORONA-LISBOA, J. L. 2013: Contaminación antropogénica en el lago de Maracaibo, Venezuela. *Biocenosis* 27(1-2).
- GONZÁLEZ-ROJAS, G. J. 2009: *El ecodiseño en el marco de un modelo de gestión ambiental para el manejo de efluentes industriales y domésticos en el lago de Maracaibo, estado Zulia-Venezuela*. Tesis doctoral. Tecana American University. 123 p.
- HERMOSO-MÁRQUEZ, D. & MÁRQUEZ-URDANETA, M. G. 2005: *Evaluación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces del Río Catatumbo y sus afluentes*. José Ferrer y Miriam Sánquiz (Tutores). Tesis de grado. Universidad Rafael Urdaneta. 116 p.
- LÓPEZ-SAMPER, A. M. 2010: *Relación bacterias hidrocarbonoclasticas/bacterias heterótrofas totales como índice del impacto ambiental por hidrocarburos en el estrecho del lago de Maracaibo*. Luz Marina Soto (Tutora). Tesis de maestría. Universidad del Zulia. 51 p.
- MEDINA, E. & BARBOZA, F. 2006: Lagunas costeras del lago de Maracaibo: distribución, estatus y perspectivas de conservación. *Ecotrópicos* 19(2): 128-139.
- MORILLO, G.; JONTE, L.; ARAUJO, I.; ANGULO, N.; HERRERA, L. & MORALES, E. 2010: Efectos del nitrógeno y cloruros en la dinámica del fitoplancton del lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia* 35(8): 575-580.
- RAMÍREZ-YANES, A. M. 2004: La Lenteja de Agua-Lemna en el lago de Maracaibo. PlaniGestión, C.A.: 18 p.
- RESTREPO-BERMÚDEZ, A. & CONTRERAS-BARAJAS, J. A. 2005: *Determinación de los aportes de nitrógeno y fósforo de los efluentes líquidos de las empresas del sector alimenticio, vertidos al lago de Maracaibo*. José Ferrer (Tutor). Tesis de grado. Universidad Rafael Urdaneta. 109 p.

Jorge Luis Moronta-Riera, jmoronta@hotmail.com

Profesor. Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo, Venezuela.

Amalia Beatriz Riverón-Zaldivar, briveron@ismm.edu.cu

Máster en Ciencias. Ingeniera Geóloga. Profesora Auxiliar.
Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba.