

Calidad del agua y sedimento en el lago de Maracaibo, estado Zulia

Giovany José-Bracho
José Quintín Cuador-Gil
Rosa Margarita Rodríguez-Fernández

Resumen

Se analizó el agua y el sedimento del lago de Maracaibo en seis estaciones de muestreo distribuidas de norte a sur del lago. Los parámetros físico-químicos y ambientales fueron determinados y establecidas las relaciones entre estos y las áreas afectadas por descargas de aguas residuales, depósitos de basura, residuos industriales líquidos y sólidos, actividad petrolera y agrícola y materiales orgánicos acarreados por ríos y drenajes pluviales. Se evidenció la contaminación por incremento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en las zonas influenciadas por los ríos y vertederos de agua residual y se validó la presencia de una cuña salina por la penetración al lago de las aguas del golfo de Venezuela. Las concentraciones de metales pesados están por debajo de los límites permisibles para el agua; en los sedimentos es muy heterogénea..

Palabras clave: lago de Maracaibo; calidad del agua; contaminación ambiental; metales pesados

Maracaibo lake water and sediment quality, Zulia State

Abstract

The Maracaibo Lake water and sediment were tested in six sampling stations distributed in the north and south of the lake. The physicochemical and environmental parameters were determined as well as the relation was established between these parameters and the areas affected by waste discharge, landfills, liquid and solid industrial wastes resulting from oil prospection and agricultural activities and organic material carry-overs in rivers and pluvial drainage. This shows a level of contamination caused by increased content of nutrients (nitrogen and phosphorus) in the areas adjacent to the rivers and residual water discharge. It was observed that a saline wedge was formed due to the penetration of lake waters coming from the Gulf of Venezuela. The concentration of heavy metal was below permissible levels in the water and very heterogeneous in the sediments.

Keywords: Maracaibo Lake; water quality; environmental contamination; heavy metals.

1. INTRODUCCIÓN

El lago de Maracaibo se conecta en su extremo norte con el golfo de Venezuela por un estrecho de 55 km. La entrada al lago de barcos de gran calado propicia un mayor intercambio de aguas entre el mar y el lago, aumentando su salinización (Ramírez 2004).

La cuenca de Maracaibo es una de las zonas de mayor riqueza petrolífera del mundo. La intensa explotación de este recurso llevó a decretar el 11 de julio de 1928 la "Ley de vigilancia para impedir la contaminación por petróleo de las aguas del lago", en la cual se reconocía el grave peligro que esta actividad le generaba al ambiente al deteriorar la capacidad de los ecosistemas acuáticos (Corona-Lisboa 2013). Hoy día se evalúa la calidad del agua a través del Decreto 883 "Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos" (Gaceta Oficial 1996).

Las operaciones petroleras en la cuenca del lago de Maracaibo iniciaron a mediados del siglo XX. La magnitud de estas operaciones hace inevitable algunas descargas de crudo a las aguas del lago, debido a rupturas de tuberías u otro tipo de accidente inherente a las operaciones de producción y transporte de petróleo, registrándose aproximadamente 1 800 derrames en los últimos diez años, según la asociación para la conservación del lago de Maracaibo (Castros 2007).

Desde 1924 las aguas del lago han venido experimentando un cambio en su composición química debido a la explotación petrolera. A partir de 1956 un incremento continuo en la concentración salina se ha venido produciendo a causa de la penetración de aguas desde el golfo de Venezuela, convirtiendo las aguas del lago en no aptas para el consumo humano, agrícola o industrial (Hidalgo 2009).

Con base en lo anterior se realizó un estudio, a través de la Gerencia de Operaciones Acuáticas, que coordina el plan de muestreo para evaluar la calidad del agua y los sedimentos del lago de Maracaibo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

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.

Se evaluó la calidad del agua y los sedimentos del lago de Maracaibo a través de seis puntos de muestreo con el objetivo de evaluar agua y sedimento en tres zonas del lago. Estas zonas se seleccionaron debido a que las mismas cubren tres ejes de interés hidrológico asociado al lago.

Zona I. Zona de intercambio de agua entre el golfo y el lago.

Zona II. Zona de influencia entre la bahía El Tablazo, el canal de navegación y el área de influencia del río Limón, caracterizada por ser un centro de operaciones de actividad petrolera en el lago, ubicada a 8 km de la desembocadura del río Palmar.

Zona III. Zona sur del lago correspondiente a las estaciones de mayor profundidad, donde se desarrolla la mayor actividad operacional petrolera. Constituye un delta donde convergen los ríos de Mérida, Táchira y Colombia que alimentan al lago, cercano a varias ciudades y pueblos, con gran actividad agropecuaria y pesquera, ubicada a 9 km de la desembocadura del río Catatumbo.

De la misma manera las estaciones de muestreo fueron seleccionadas debido a su cercanía con las zonas de influencia, condición de acceso y operación para embarcaciones y punto de referencia de fácil ubicación para muestreos futuros (Figura 1).

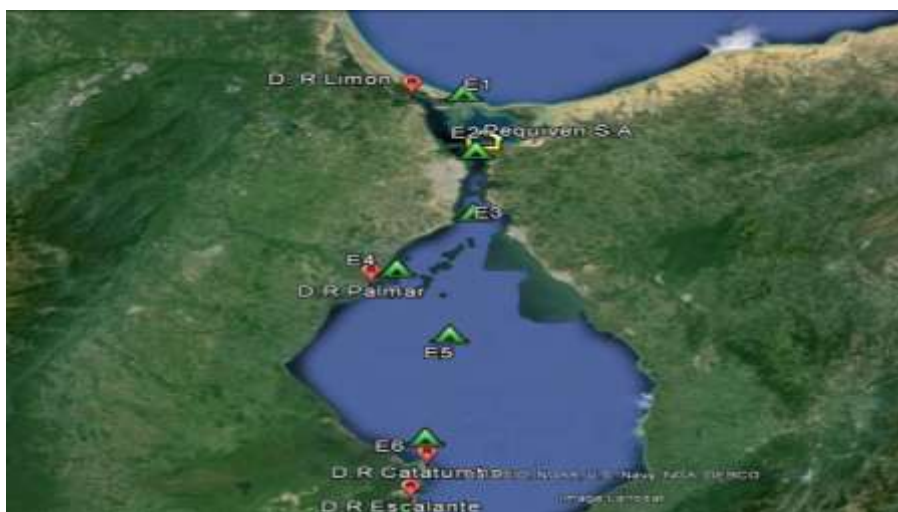


Figura 1. Ubicación geográfica de estaciones de muestreo y ríos.

2.1. Metodología de muestreo

Para la obtención de muestras de agua y sedimento se utilizaron los siguientes equipos:

- Una bomba de diafragma, para captar un total de dos muestras de agua en cada una de las seis estaciones de muestreo de la siguiente manera: una muestra de agua en superficie y otra a 0,5 m del fondo.
- Una Draga Ekman, donde en cada una de las seis estaciones se colectaron dos muestras en sedimento para determinar la cantidad de metales pesados.

Los parámetros medidos fueron: temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, salinidad y profundidad. Todos se determinaron a un metro, en la profundidad de la haloclina y a 0,5 m del fondo, mediante la utilización de una sonda Hydrolab H₂O, la cual registra la profundidad.

2.2. Análisis físico-químico en muestras de agua y sedimento

A las muestras de agua se les determinó en el laboratorio los siguientes parámetros: hidrocarburos totales (TPH), demanda química de oxígeno (DQO), fenoles, fósforo total, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos totales (ST), nitratos, nitritos, turbidez, bario, cromo, mercurio, plomo, zinc. A las muestras de sedimento se les determinó: TPH, As, Ba, Cr, Fe, Pb, Zn y V. Para los análisis se siguieron los procedimientos descritos en el "*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*" 20th Edition; mientras las muestras sedimento se analizaron siguiendo los procedimientos descritos en EPA (1997).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización físico-química de agua y sedimentos del lago

Los valores obtenidos, de los análisis realizados a las muestras de agua, (Tabla 1) permitieron determinar que todos los puntos de muestreo presentaron concentraciones de THP y fenoles mayores a los permitidos, lo que evidencia la contaminación por hidrocarburos debido a la estrecha relación entre ambos.

De igual manera, se demostró que las concentraciones de sólido disuelto fueron excedidas en las estaciones 1 y 4 en superficie y en fondo en la estación 4. También se observó que los nitratos y nitritos excedieron los límites en superficie en la estación 4 y en fondo en la 2. Finalmente, se detectaron niveles de oxígeno disuelto por debajo de los permisibles en la estación 5 y en la 6 en fondo. En referencia a los demás parámetros evaluados en los puntos de muestreo se mantuvieron por debajo de los límites permisibles del Decreto 883.

En referencia a los metales presentes en el agua se observan valores de concentraciones del Ba, B, Cr, Fe, Cd, Pb y Zn en todas las estaciones de muestreo (superficie y fondo) por debajo de los niveles permisibles por el Decreto 883 (Marcovecchio y Freije 2013).

Tabla 2. Resultados de análisis físico-químicos

Profundidad	Elemento, Compuesto o Parámetro	oxígeno disuelto	Demanda biológica de oxígeno mg/l	Demanda química de oxígeno mg/l	DBO/DQO	Fósforo totales mg/l	Sólido en suspensión mg/l	Sólido totales mg/l	Turbidez NTU	Temperatura °C	Conductividad mS/m	pH	Salinidad %
	Límites permisibles Decreto 883	>4,0 mg/L	---	---	---	---	---	---	<25	---	---	6,0-8,5	---
0	1	10,5	2,0	312	0,0064	0,06	80	6 920	1,02	27,50	13,99	7,30	8,43
0	2	9,8	2,0	16	0,125	0,08	26	3 054	1,82	28,17	6,17	7,76	3,80
12		8,3	2,0	16	0,125	0,09	2	2 960	1,82	28,50	6,40	7,67	3,20
0	3	8,9	2,0	22	0,091	0,09	38	2 350	1,02	29,59	4,71	7,58	2,40
10		7,8	2,0	22	0,091	0,09	38	2 416	1,02	31,30	4,82	7,80	2,43
0	4	6,7	5,00	22	0,223	0,09	4	1 866	2,61	29,5	4,40	7,88	2,30
10		5,4	6,00	22	0,273	0,09	4	2 369	1,82	29,33	4,50	7,88	2,36
0	5	5,7	4,00	27	0,148	0,14	6	3 320	<1	29,30	6,10	7,80	3,29
27		0,7	8,25	22	0,375	0,16	6	3 234	----	29,06	6,10	7,10	3,29
0	6	8,6	6,00	22	0,273	0,09	4	2 404	<1	29,90	3,80	7,74	1,88
27		2,7	7,10	16	0,444	0,10	6	2 178	1,82	29,30	4,70	7,63	2,50

En base a lo descrito anteriormente se puede apreciar que la salinidad y conductividad presentan una distribución uniforme de sus valores en el lago. Ese comportamiento se refleja de igual forma respecto a los sólidos disueltos totales y sólidos totales, los que mantienen un patrón de uniformidad en los valores de la columna de agua, donde solo se puede apreciar un aumento de sólido disuelto en el fondo de la estación 4, el cual se puede atribuir al centro de operación petroleras y al material arrastrado del río Palmar. Su desembocadura se encuentra a solo 8 km de la estación de muestreo.

Se obtiene la misma tendencia de uniformidad relacionada a la salinidad, conductividad, sólidos disueltos totales y sólidos totales. Respecto al comportamiento del pH, el mismo se encuentra en un rango permisible según el Decreto 883 que establece valores entre 6 y 8,5. El comportamiento de este indicador en el área se muestra en la Figura 2. En la estación 5 se reporta el valor máximo de acidez.

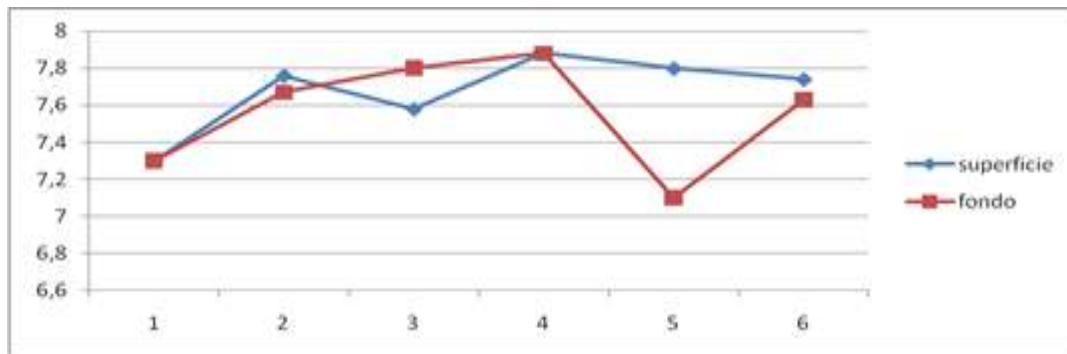


Figura 2. Comportamiento del pH.

Analizando la relación de pH y O_2 disuelto en superficie y fondo, en las estaciones de muestreo 1, 2 y 3 se observó un incremento del oxígeno disuelto con una disminución no significativa del pH. Este comportamiento se atribuye a la poca actividad fotosintética y a la influencia del sistema de oleaje de las aguas del golfo, mostrándose tanto para superficie y fondo un premezclado homogéneo hacia la desembocadura con la bahía El Tablazo y el golfo.

Al atender el comportamiento de estos parámetros en las estaciones de muestreo 4, 5 y 6 se observó un aumento no significativo del pH y disminución del oxígeno disuelto, lo que se atribuye a una máxima concentración de materia orgánica y por ende a mayores procesos biológicos. Este proceso se observa de manera similar tanto en superficie como en fondo, a excepción de la zona caracterizada por un delta donde convergen los ríos de Mérida, Táchira y Colombia, que alimentan al lago de Maracaibo.

Este comportamiento general se puede atribuir al incremento de oxígeno producto de la oxidación de materia orgánica concentrada en el sedimento arrastrado por los ríos Catatumbo y Escalante y a la estratificación de la columna de agua, debido a la diferencia de densidades que impiden que las aguas subsuperficiales sean oxigenadas por un recambio con las masa de agua superficiales oxigenada, tal como se puede apreciar en la Figura 3.

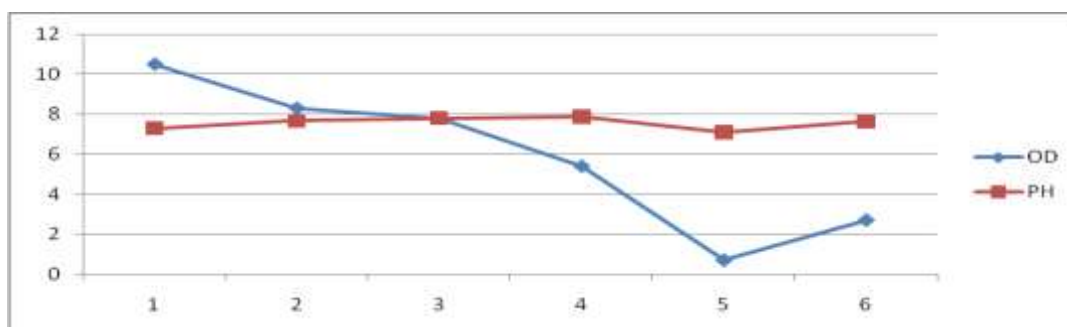


Figura 3. Relación pH-oxígeno disuelto en el fondo.

Al relacionar las variables temperatura y oxígeno disuelto se observó que están vinculadas de manera inversa, debido a que la oxidación biológica aumenta con la temperatura, producto de abundante cantidad de materia orgánica creciente del norte al sur, evidenciándose también en la relación oxígeno disuelto-pH debido a un medio reductor que produce una acidificación progresiva del medio.

Respecto a la relación fósforo total y oxígeno disuelto se puede inferir que la mayor cantidad de fósforo se deposita hacia el centro del lago resultado de la acumulación de materia orgánica a consecuencia de la falta de organismos (flora y fauna) que consuman estos nutrientes; en consecuencia, el fósforo total aumenta a medida que disminuye el O₂ disuelto, como se puede observar en las Figuras 4 y 5.

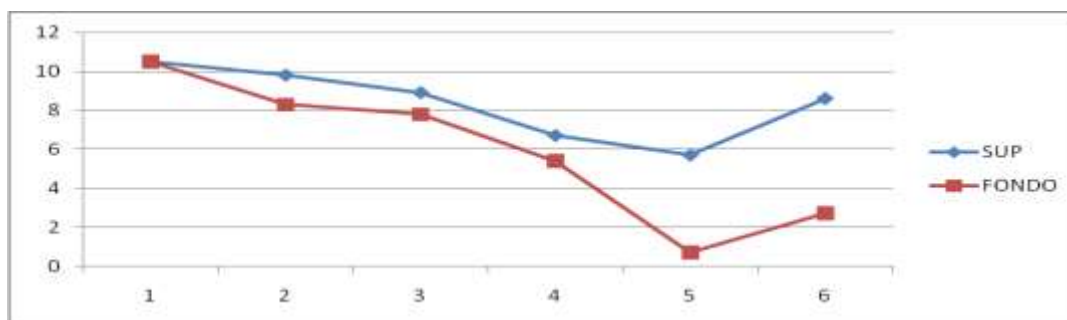


Figura 4. Comportamiento oxígeno disuelto.

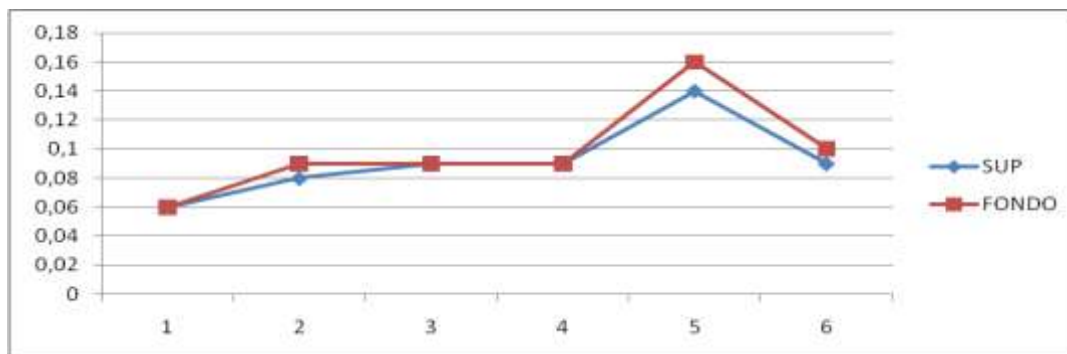


Figura 5. Comportamiento fósforo total.

Con base en los resultados de la demanda biológica de oxígeno (DBO) se puede observar en las estaciones 4, 5 y 6 (Figura 6) un incremento de los valores. Esto está relacionado con el aumento de la materia orgánica biodegradable, por lo que debe existir mayor cantidad de microorganismos que tengan la capacidad de oxidar metabólicamente la materia orgánica presente en el agua, quizás influenciada por numerosas instalaciones petroleras y el material arrastrado por los ríos Palmar y Catatumbo. Dichos ríos tienen sus desembocaduras a 8 y 10 km, respectivamente, de las estaciones 4 y 6, razón por la cual en las estaciones mencionadas existe mayor cantidad de materia orgánica biodegradable en el agua.

Por otra parte, en las estaciones 1, 2 y 3 se observa una mezcla homogénea con el intercambio de materia orgánica que está influenciada por el intercambio de aguas entre el lago y el golfo debido a su régimen de marea.

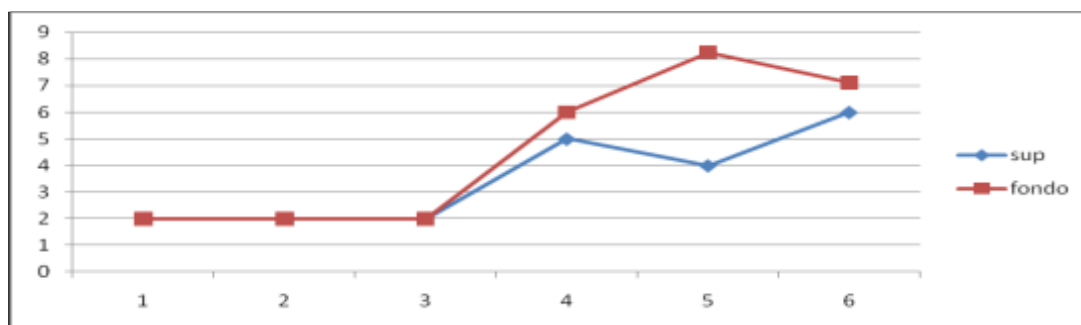


Figura 6. Comportamiento de la demanda biológica de oxígeno, DBO.

En referencia al comportamiento de la demanda química de oxígeno (DQO) se observa que, a excepción de la estación 1, los valores son bajos, debido a la actividad petrolera, con un ligero incremento en las estaciones 5 y 6.

Es importante mencionar que no existe normativa para valores de DBO y DQO para aguas superficiales. Sin embargo, para aguas estabilizadas biológicamente debe existir una relación $DBO/DQO < 0,12$, para permitir que dichos cuerpos de agua superficial, debido a su poder de autopurificación, puedan degradar la materia orgánica de los efluentes ya que, además, ocurre un proceso de dilución y de aireación.

Los parámetros obtenidos en las estaciones de muestreo revelaron valores de la relación DBO/DQO en superficie en el rango de 0,0064 en el norte hasta 0,273 hacia el sur; mientras que en el fondo la variación va de 0,0064 hasta 0,444, también de norte a sur. Ello indica la baja capacidad de autopurificación de las aguas del lago y la presencia de compuestos tóxicos o resistentes a la biodegradación desde la estación 2 hasta la 6. El comportamiento de la estación 1 está relacionado con la mayor circulación e intercambio del agua con el mar Caribe.

Con relación a los contenidos de hidrocarburo totales (TPH) en las estaciones de muestreo 3, 4, 5 y 6 y comparando con la demanda biológica de oxígeno (DBO) se puede evidenciar el aumento de materia orgánica en el agua, ya que los microorganismos presentes no tienen la capacidad de realizar el proceso de oxidación metabólica de los TPH. Es de acotar que los niveles de TPH exceden los niveles permisibles por el Decreto 883 en todas las estaciones de muestreo (Figuras 6 y 7).

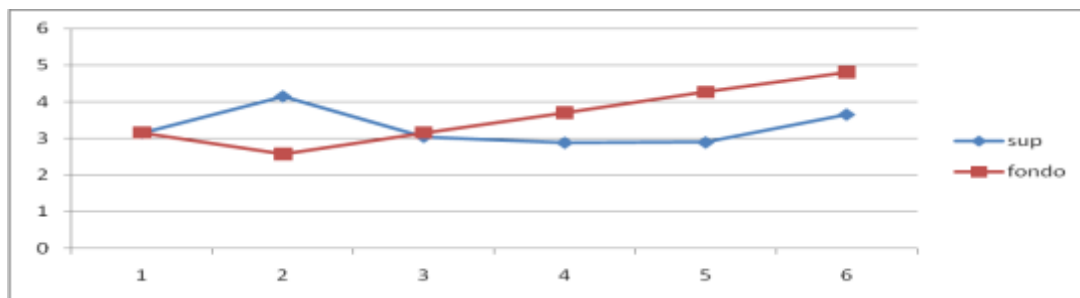


Figura 7. Comportamiento hidrocarburos totales de petróleo (TPH).

Respecto a los fenoles, los valores reportados por el laboratorio están por debajo de 0,05 mg/L, pero no especifican si son mayores o menores a 0,002 mg/L, límite máximo permisible en el Decreto 883. Es conocido que los fenoles son hidroxiderivados del benceno y de compuestos aromáticos polinucleares, los cuales suelen provenir de actividades industriales (plantas de coquización, refinerías, papeleras, etc.), degradación de productos fitosanitarios y de la descomposición de materia vegetal, por lo cual pueden tener estrecha relación con los parámetros de TPH, que sí están por encima de los límites permisibles en el decreto para calidad del agua.

Analizando el comportamiento de los nitritos y nitratos (Figura 8) en las diferentes estaciones de muestreo se observó que existen dos valores fuera del límite permisible, pertenecientes a las estaciones de muestreo 2 en fondo y la 4 en superficie. Los valores determinados en la estación 2 se deben principalmente a tres causas: las operaciones del complejo petroquímico de El Tablazo, el no funcionamiento de la planta de tratamiento de agua residuales Norte (5 000 L/s) y la cañada Fénix. Todo esto genera la acumulación de sales y nutrientes como fósforo y nitrógeno, tóxicos, bacterias y virus, productos de la descarga de aguas servidas, permitiendo la descomposición de los compuestos nitrogenados como las proteínas, la urea, etc.

En referencia a la estación 4 los valores altos en superficie son consecuencia de las numerosas instalaciones de operaciones petroleras ubicadas en la cercanías al punto de muestreo, las cuales no constan de plantas de tratamiento de aguas residuales, siendo drenadas al lago sin control de aguas efluentes.

Por otra parte, las muestras tomadas en estación 1 y 3 presentan niveles de nitratos muy cercanos del permisible, por lo que se deben monitorear. Estos últimos valores son consecuencia de los mismos factores declarados para la estación 2, aquí reducidos por el régimen de mareas que tiene mayor influencia hacia el norte que hacia el sur.

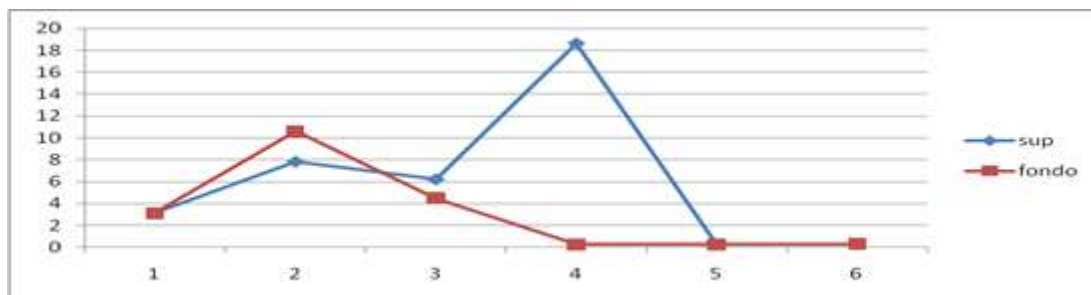


Figura 8. Comportamiento nitritos y nitratos.

En cuanto a los metales pesados presentes en el agua se determinó que las concentraciones de Ba, B, Cr, Fe, Cd, Pb y Zn presentaron, en todas las estaciones de muestreo de superficie y fondo, valores por debajo de los niveles permisibles por el Decreto 883.

3.3. Metales pesados en los sedimentos

No se pudo realizar una comparación con valores de concentración permisible debido a que la legislación venezolana vigente no establece esos límites de metales pesados en sedimentos para su disposición abierta en aguas costeras y marinas, existiendo un vacío legal al respecto. Sin embargo, se analizó el comportamiento entre las diferentes áreas de estudio y estaciones para definir cada punto de muestreo. Los resultados de las determinaciones se muestran en la Tabla 5.

En relación a lo anterior se pudo evidenciar que la zona del estrecho estación 3 se puede definir como una zona de baja concentraciones de metales y la zona sur está influenciada por numerosas instalaciones petroleras y descargas de ríos. La estación 5 se define como zona de alta concentración de metales. Así mismo se puede decir que la estación de muestreo 2, ubicada en la bahía El Tablazo, representa una zona de medianas a altas concentraciones de metales, influenciadas por la desembocadura del río Limón y Pequiven, presentando concentraciones de $As > V > Pb > Cr$, lo cual corrobora la contaminación por hidrocarburos.

Tabla 5. Resultados de los análisis de metales pesados en el sedimento, mg/kg

Estación de muestreo	TPH	Arsénico	Bario	Cromo	Pb	Zinc	Vanadio
1	0,61	9,61	261	17,00	08,63	78	29,00
2	1,34	7,19	162	18,00	13,00	87	28,00
3	0,06	1,00	466	01,26	03,00	29	01,75
4	0,70	6,77	027	05,20	05,18	24	21,00
5	0,62	4,00	309	12,00	21,00	107	34,00
6	0,56	2,68	058	10,00	06,00	51	18,00

El análisis realizado sobre las diferentes propiedades físico-químicas de las aguas del lago de Maracaibo ha permitido identificar los principales contaminantes que en él se presentan, así como las posibles fuentes que dan lugar a esa contaminación (Tabla 6).

Tabla 6. Principales tipos de contaminantes y fuentes emisoras

Principales contaminantes	
Residuos	Fuente
Petroleros	Ocasionados por derrames debidos a fracturas en las tuberías y en las actividades de extracción y transporte de crudo.
Petroquímicos	Los cuales se generan en el área de El Tablazo, muchos de ellos de tipo eutroficantes o de acción tóxica y persistente, como fenoles, mercurio, compuestos fosfatados y nitrogenados.
Orgánicos y Fertilizantes	Acarreados por los ríos y drenajes pluviales de las áreas agropecuarias de la región sur del lago.
Líquidos y Sólidos Industriales	Descargas directas al lago, provenientes de industrias localizadas en los márgenes y de otras que drenan sus residuos en los ríos de la hoya hidrográfica del lago.
Líquidos y Sólidos Domésticos	Descargados directamente al lago o mediante las principales cañadas de la ciudad, entre ellas Morillo y Fénix.

A partir de esos resultados se deben promover controles ambientales dirigidos a las principales fuentes de contaminación que se identificaron durante este trabajo, entre ellos hidrocarburos y vertederos de aguas residuales.

4. CONCLUSIONES

La hidrografía en la cuenca y la hidrodinámica del sistema lago de Maracaibo influyen de manera directa en la distribución de los parámetros evaluados, razón por la cual se observa un comportamiento heterogéneo entre los puntos de muestreo. Se evidenció la contaminación por incremento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en las zonas influenciadas por los ríos y vertederos de agua residual. La presencia de una cuña salina debido a la penetración de las aguas del golfo de Venezuela al lago de Maracaibo quedó validada por los valores de la relación salinidad–conductividad. Los límites permisibles para concentraciones de metales pesados en el agua no son sobrepasados por los valores obtenidos. La concentración de metales pesados en sedimentos es muy heterogénea.

5. REFERENCIAS

- CASTROS, G. 2007: El informe técnico diseño y monitoreo frente a derrames de hidrocarburos. UBV.
- CORONA-LISBOA, J. L. 2013: Contaminación antropogénica en el lago de Maracaibo, Venezuela. *Biocenosis* 27.
- EPA. 1997: Test Methods for Evaluating Solid Waste: Physical/Chemical Methods SW-846.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE VENEZUELA. 1996: Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos. Decreto 883: 50-62.
- HIDALGO, J. 2009: Efecto de los derrames petroleros sobre los hábitats marinos. *Revista Ciencia Ahora*.
- MARCOVECCHIO, J. & FREIJE, R. 2013: Procesos químicos en Estuarios. Universidad Tecnológica Nacional.
- RAMÍREZ, A. 2004: La Lenteja de Agua–Lemna en el lago de Maracaibo. *PlaniGestión*, C. A.

Giovany José-Bracho, giovanybracho@gmail.com

Máster en Ciencias Geológicas, Universidad Bolivariana de Venezuela,

José Quintín Cuador-Gil, cuador@upr.edu.cu

Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Departamento de Física,
Universidad de Pinar del Río, Cuba,

Rosa Margarita Rodríguez Fernández, rosamarina1942@gmail.com

Profesora Titular, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba