

Variaciones espaciales de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en sedimentos costeros del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela

Cristian Polo¹, Julio César Marín^{1,*}, José Rojas², Elisabeth Behling¹, Marelis Meza¹, Andreina Fernández³ y Janett Flores³

¹Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Apartado postal 526, Maracaibo 4001-A, Zulia, Venezuela. Telefax: +58(0)261-4128743. *jmarin@fing.luz.edu.ve

²Centro de Estudios del Lago, Proyecto Investigaciones Ecológicas, Programa Investigación, Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt, Cabimas, Venezuela.

³Departamento de Hidráulica, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Apartado postal 526, Maracaibo 4001-A, Zulia, Venezuela.

Resumen

Se determinaron las variaciones espaciales de materia orgánica (% de materia orgánica y pigmentos fotosintéticos) y nutrientes (N y P) en sedimentos costeros del Lago de Maracaibo, considerando 11 sitios de muestreo seleccionados de acuerdo a las fuentes de contaminación y posible accesibilidad. También se realizaron las siguientes mediciones *in situ* en el agua superficial: salinidad, oxígeno disuelto, temperatura, pH, transparencia y profundidad, durante cuatro muestreos, realizados entre octubre de 2009 y marzo de 2010. Las concentraciones de nitrógeno total Kjeldahl (NTK) variaron entre 343,04 y 2702,90 mg/Kg peso seco, mostrando un gradiente creciente desde el Sur hasta el Norte del Lago, donde se presentaron los mayores valores en los sitios con influencia de poblaciones cercanas. El valor medio para la concentración de P-total fue de 530,56 mg/Kg peso seco. De manera general, se observó un bajo contenido de materia orgánica (media aritmética 1,39%); los niveles elevados obtenidos en algunas estaciones pueden estar relacionados con el transporte de detritus, resultante de las corrientes y mareas, provenientes de zonas de manglar adyacentes. Las bajas concen-

traciones de pigmentos fotosintéticos (0,01 mg/g peso seco para clorofila *a*, feofitina *a* y carotenoides), se relacionaron con el tipo de sedimento predominante (arenoso), la escasa vegetación y detritus observados en los sitios de estudio. Los resultados permiten inferir el estado eutrófico y el alto grado de fertilidad orgánica del sistema.

Palabras clave: Sedimento, eutrofización, Lago de Maracaibo, materia orgánica, nutrientes.

Spatial Variations Of Organic Matter, Nitrogen And Phosphorus In Coastal Sediments of Lake Maracaibo, Zulia, Venezuela

Abstract

The spatial variations of the organic matter (% of organic matter and photosynthetic pigments) and nutrients (N and P) in coastal sediments at Lake Maracaibo were determined, considering 11 sampling sites, selected according to the pollution sources and possible accessibility. The following *in situ* measurements were also made at the water surface: salinity, dissolved oxygen, temperature, pH, transparency and depth, during four sampling activities, carried out between October 2009 and March 2010. The total Kjeldahl nitrogen concentrations (TKN) changed between 343.04 and 2702.90 mg/Kg dry weight, showing an increasing gradient from the South up to the Northern parts of the Lake, where major values were shown on sites under the influence of nearby populations. The average value for the P-total concentration was 530.56 mg/Kg dry weight. In general, a low content of organic matter (arithmetic mean 1.39%) was observed; the high levels obtained, at some stations, seem to be related to transportation of detritus by currents and tides, coming from adjacent swamp zones. The low concentrations of photosynthetic pigments (0.01 mg/g dry weight for chlorophyll *a*, phaeophytin *a* and carotenoids) were related to the predominant sediment type (sandy), scanty vegetation and detritus observed at the study sites. The results obtained allow inferring the eutrophic condition and the high degree of organic fertility of the system.

Keywords: Sediment, eutrophication, Lake of Maracaibo, organic matter, nutrients.

Introducción

El Lago de Maracaibo es un estuario parcialmente mezclado e hipereutrófico que ha sufrido cambios en su composición química desde hace décadas como consecuencia de las actividades antropogénicas (desechos domésticos, agrícolas e industriales), en especial provenientes de la industria petrolera (Parra-Pardi 1979, Herman 1997).

El sedimento en los ecosistemas estuarinos constituye el sitio de recepción final de parte de los nutrientes (formas de N y P) y de la materia orgánica, por lo cual se puede obtener valiosa información acerca de su dinámica biológica e hidrológica (Rodríguez 2000). Así, la composición de la materia orgánica sedimentada es indicadora del estado trófico del ambiente acuático. Este componente suele provenir de tres fuentes principales como son: el agua marina proveniente de los océanos y mares, también del aporte de los ríos tributarios que arrastran detritus de plantas vasculares y microalgas de agua dulce y por último de materia orgánica compuesta por detritus de macroalgas sedimentado y de microfitoros (Fabiano y Danovaro 1994). Las fuentes de sedimentos al sistema del Lago de Maracaibo, están influenciadas por la acción de las mareas, construcción de diques y otras estructuras, aportes de ríos tributarios; principalmente el río Catatumbo, entre otros (Morales y Godoy 1996, Rivas *et al.* 2000, Medina y Barboza 2006).

Algunos estudios han mostrado el alto contenido de nutrientes en sedimentos del Lago de Maracaibo, particularmente en las zonas profundas del cono hipolimnético y en los ríos tributarios (Rivas *et al.* 2000, Ledo *et al.* 2003); sin embargo, las concentraciones de estos elementos en los sedimentos costeros son poco conocidas, representando una fuente importante de información a ser considerada en los estudios ecológicos y los balances de masa que se requieren desarrollar para el entendimiento de los ciclos biogeoquímicos en este ecosistema (Parra-Pardi 1979, ICLAM 2001, Ledo *et al.* 2003). Dicho planteamiento se fundamenta en el hecho de que en el Lago existen 1485,2 km de línea de costa (Flores 2008), lo cual constituye una amplia área de interacción con el terreno circundante.

El objetivo de este trabajo consistió en determinar las variaciones espaciales de la materia orgánica y los nutrientes (formas de N y P), en sedimentos costeros de tres zonas del sistema Lago de Maracaibo:

Bahía El Tablazo, Estrecho y Lago de Maracaibo propiamente dicho (saco), considerando las distintas fuentes de contaminación.

Materiales y métodos

Área de estudio

El Lago de Maracaibo es un estuario parcialmente mezclado e hipereutrófico, ubicado en el Occidente de Venezuela, Estado Zulia, entre los $70^{\circ}30'W$ y $73^{\circ}24'W$ longitud, y los $09^{\circ}00'N$ y $10^{\circ}30'N$ latitud. Tiene un área superficial de 12000 km^2 y 95923 km^2 de drenaje, presentando una profundidad promedio de 20 m y una máxima de 34 m (Parra-Pardi 1979, Herman 1997). Este ecosistema presenta una salida al mar a través del Golfo de Venezuela (Norte), mientras que los principales ríos tributarios se encuentran al Sur, entre los que destacan: Catatumbo, Santa Ana, Bravo, Birimbay, Escalante, Chama y Motatán.

Muestreo

Las muestras de sedimento fueron colectadas manualmente a unos 50 m de la orilla (en función de la profundidad de la columna de agua), específicamente en 11 localidades separadas en tres grandes zonas: Bahía El Tablazo (Norte), Estrecho del Lago de Maracaibo y Lago de Maracaibo (saco) (Sur) (Figura 1). Los sitios de muestreo fueron seleccionados considerando la distribución espacial, influencia antropogénica y accesibilidad, mostrando cada uno características locales distintivas.

Las coordenadas geográficas de las estaciones, fueron las siguientes:

1. El Moján: $10^{\circ} 58' 13,9''N - 71^{\circ} 44' 20,8''W$
2. Playa APUZ: $10^{\circ} 51' 47,6''N - 71^{\circ} 42' 26,8''W$
3. Punta Capitán Chico: $10^{\circ} 42' 23,6''N - 71^{\circ} 35' 21,3''W$
4. Curarire: $10^{\circ} 16' 38,1''N - 71^{\circ} 48' 56,8''W$
5. Barranquitas: $09^{\circ} 58' 09,7''N - 72^{\circ} 01' 43,1''W$
6. Bobures: $09^{\circ} 14' 18,0''N - 71^{\circ} 11' 07,9''W$
7. San Timoteo: $09^{\circ} 47' 22,5''N - 71^{\circ} 04' 30,9''W$
8. El Ahorcado: $10^{\circ} 01' 38,3''N - 71^{\circ} 13' 49,2''W$



Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio y de las estaciones de muestreo en el Lago de Maracaibo (Venezuela).

- 9. Los Puertos: $10^{\circ} 37' 49,5''\text{N} - 71^{\circ} 31' 22,8''\text{W}$
- 10. Las Palmas: $10^{\circ} 47' 49,7''\text{N} - 71^{\circ} 35' 09,2''\text{W}$
- 11. Ancón de Iturre: $10^{\circ} 47' 37,1''\text{N} - 71^{\circ} 26' 10,3''\text{W}$

Se realizaron cuatro muestreos puntuales, entre octubre de 2009 y marzo de 2010. Las muestras de sedimentos superficiales estuvieron conformadas por 3 discos (20 cm de diámetro) de los 5 primeros centímetros del sedimento, las cuales fueron mezcladas, conservadas en bolsas plásticas debidamente identificadas y refrigeradas con hielo para su transporte al laboratorio.

Parámetros fisicoquímicos

Durante cada muestreo se determinaron *in situ* los siguientes parámetros fisicoquímicos en agua: salinidad (ups) con un salinómetro-refractómetro ATAGO Hand-Held-Refractometer; oxígeno disuelto (mg/L) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) con un oxímetro marca YSI modelo 55 Handheld Dissolved, pH con un pH metro marca YSI modelo Eco Sense, transparencia (cm) con un disco Secchi de 20 cm y profundidad (cm) con una vara graduada.

Nutrientes

Se determinó nitrógeno total Kjeldahl (NTK) por el método volumétrico estándar, mediante la digestión de las muestras con H_2SO_4 , K_2SO_4 y $CuSO_4$, destilación por arrastre de vapor y titulación con ácido mineral valorado. Para fósforo total (P-total) se aplicó el método colorimétrico del ácido ascórbico, previa digestión ácida con persulfato de amonio, realizando las lecturas de absorbancia a 880 nm (APHA et al. 2005). Los resultados se expresaron en mg/Kg peso seco, estimando la humedad de los sedimentos por secado a 105°C durante 24 h, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de humedad} = (\text{peso húmedo (g)}) / (\text{peso seco (g)})$$

Materia orgánica

El contenido de materia orgánica (MO) en sedimentos se determinó utilizando el método de incineración en mufla (IBP 1971, Páez et al. 1984). Los resultados obtenidos se expresaron como porcentaje (%) de materia orgánica por cada estación y muestreo, según la siguiente ecuación:

$$\% \text{ materia orgánica} = \left(\frac{(\text{g muestra seca} - \text{g muestra incinerada})}{\text{g muestra seca}} \right) \times 100$$

La determinación de pigmentos (clorofila *a*, feofitina *a* y carotenoides) presentes en los sedimentos, se realizó aplicando el análisis espectrofotométrico, mediante extracción secuencial con acetona 90% (Egerton y Murphy 1969, Parra-Pardi 1979). Los resultados se expresaron en mg/g peso seco, usando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Clorofila } a \text{ (mg/g peso seco)} = 26,7 (B-A) V / C \times L$$

$$\text{Feofitina } a \text{ (mg/g peso seco)} = 26,7 ((1,7 \times A) - B) V / C \times L$$

$$\text{Carotenoides (mg/g peso seco)} = D \times 4 \times V / C \times L$$

donde:

A: absorbancia a 665 nm después de la acidificación.

B: absorbancia a 665 nm antes de la acidificación.

C: peso del sedimento seco después de la extracción (g).

D: absorbancia a 480 nm.

V: volumen de acetona 90% utilizada en la extracción (mL).

L: longitud del trayecto óptico de la celda (1,4).

Pigmentos totales: sumatoria de las concentraciones de clorofila *a*, feofitina *a* y carotenoides.

Análisis estadístico

Se calcularon las medias aritméticas y las desviaciones estándares empleando el programa Excel para Windows 2007. Se utilizó el programa SPSS versión 10 para realizar un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, con la finalidad de determinar las diferencias significativas entre los parámetros fisicoquímicos con respecto al sitio de estudio y los muestreos; antes de realizar el ANOVA se comprobaron, tanto la homogeneidad de las varianzas (Test de Bartlett) como la distribución normal de los residuos (Test de Kolmogorov-Smirnov), cumpliendo con dichos preceptos sin requerir transformación matemática.

Resultados y discusión

Parámetros fisicoquímicos

La Figura 2 muestra los valores medios obtenidos de las variables fisicoquímicas en las estaciones de muestreo monitoreadas. La salinidad fue de $6,7 \pm 5,2$ ups (1,5-14,5 ups) y la temperatura de $31,4 \pm 2,1$ °C (29,4-33,9 °C); el pH osciló entre 7,4 y 8,9 (media aritmética $8,1 \pm 0,6$), el oxígeno disuelto entre 4,32 y 8,50 mg/L (media aritmética $7,47 \pm 2,56$ mg/L), la transparencia entre 15,5 y 73,5 cm (media aritmética $43,3 \pm 20,4$ cm) y la profundidad entre 20,5 y 88,0 cm (media aritmética $65,0 \pm 25,3$ cm). El ANOVA para los parámetros fisicoquímicos monitoreados mostró diferencias significativas ($p < 0,001$) de los valores de pH, oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, transparencia y profundidad entre los diferentes sitios de estudio, los muestreos y la interacción de ambas variables (sitio/muestreo).

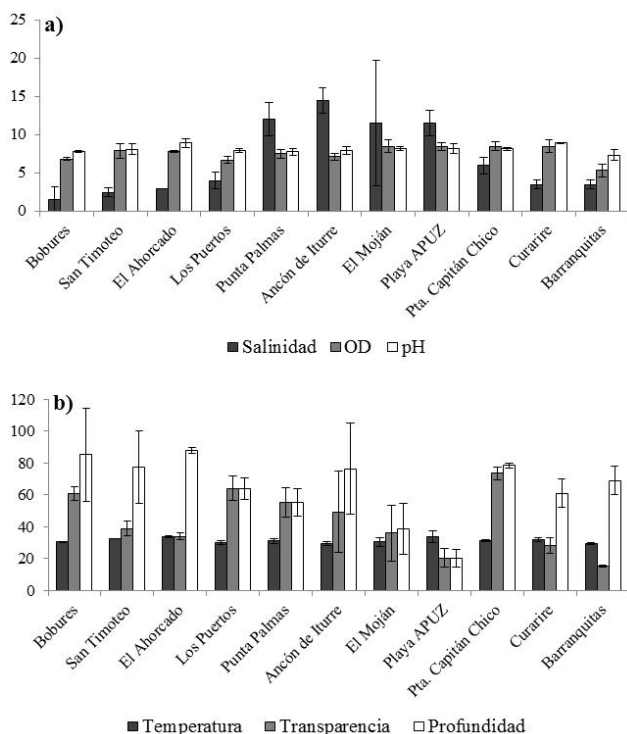


Figura 2. Distribución de las variables fisicoquímicas en las estaciones de muestreo en el Lago de Maracaibo. a) salinidad (ups), oxígeno disuelto (OD) (mg/L) y pH; b) temperatura (°C), transparencia (cm) y profundidad (cm). Las barras verticales indican la media aritmética \pm desviación estándar para $n=4$.

De forma general, la salinidad en este estudio presentó el patrón regular para este cuerpo de agua. Los valores más elevados se obtuvieron en la porción Norte del sistema (Punta de Palmas, Ancón de Iturre, El Moján, Playa APUZ), y los más bajos se observaron en las estaciones ubicadas al extremo Sur (Bobures, San Timoteo, El Ahorcado, Curarire y Barranquitas) (Figura 2a), como resultado de la apertura al mar por el Golfo de Venezuela y la caña salina al Norte, y los ríos tributarios al Sur. Este comportamiento coincide con lo reportado en estudios anteriores para el Sistema Lago de Maracaibo (Parra-Pardi 1979, Herman 1997, Rodríguez 2000, ICLAM 2001, Ávila 2003).

Con relación al oxígeno disuelto, los mayores valores se registraron en las estaciones donde la presencia de vegetación acuática y fitoplancton fueron visualmente las más elevadas (El Moján, Punta Capitán

Chico, Playa APUZ y Curarire) (Figura 2a). Es común que en ambientes con altos niveles de eutroficación, los niveles de oxígeno se encuentren relativamente altos durante el día, como consecuencia de su producción por parte del fitoplancton. Sin embargo, es de hacer notar que estas concentraciones puede sufrir marcadas fluctuaciones, como resultado de diversos factores, entre los que se pueden mencionar: las tasas respiratorias y fotosintéticas, el enriquecimiento orgánico, el flujo de agua dulce y marina, entre otras (Kennish 2002).

Los valores de pH fueron similares en los sitios estudiados, registrando una tendencia cercana a la neutralidad (Figura 2a), como resultado del sistema buffer dióxido de carbono-carbonato-bicarbonato (Wetzel 1981). En la estación El Ahorcado, se obtuvo un leve incremento hacia la basicidad, lo cual parece mostrar la influencia de fenómenos locales específicos.

La temperatura mostró cambios leves entre las estaciones y los muestreos, con valores cercanos a la media aritmética ($31,4 \pm 2,1$ °C) (Figura 2b). Los valores ligeramente elevados encontrados para este ecosistema son propios de ambientes tropicales y corresponden a aguas someras, desprovistas de vegetación y expuestas a los rayos solares, por lo cual tienden a calentarse con mayor facilidad, respondiendo más rápidamente a la temperatura del aire (Kennish 2002).

La transparencia registró su menor valor con relación a la profundidad en las estaciones ubicadas al Sur del ecosistema (Barranquitas 15,5 cm y Curarire 28,5 cm) (Figura 2b). Esto pudo deberse al abundante fitoplancton presente en el sector, lo cual impide la penetración de la luz. También pudo estar relacionado con la alta carga de material particulado en suspensión. Dicho comportamiento ha sido registrado en estudios anteriores sobre el Lago de Maracaibo (Esclapés y Galindo 2000, Ávila 2003).

Nitrógeno y fósforo

La media aritmética para la concentración de NTK en los sedimentos costeros durante este estudio fue de $893,84 \pm 398,34$ mg/Kg peso seco, con valores que oscilaron entre 343,04 y 2702,90 mg/Kg peso seco. El valor más bajo se registró en la estación Bobures, al Sur del sistema, con una media de $493,92 \pm 44,36$ mg/Kg peso seco y el más alto, en la es-

tación El Moján, al Norte, con una media de $1522,97 \pm 953,59$ mg/Kg peso seco (Figura 3). El análisis de varianzas mostró diferencias significativas entre las concentraciones de NTK para los sitios de estudio ($p < 0,01$; F de Fisher = 3,652), pero no entre los muestreos ($p > 0,05$; F de Fisher = 0,251), ni para la interacción sitio/muestreo ($p > 0,05$; F de Fisher = 0,204).

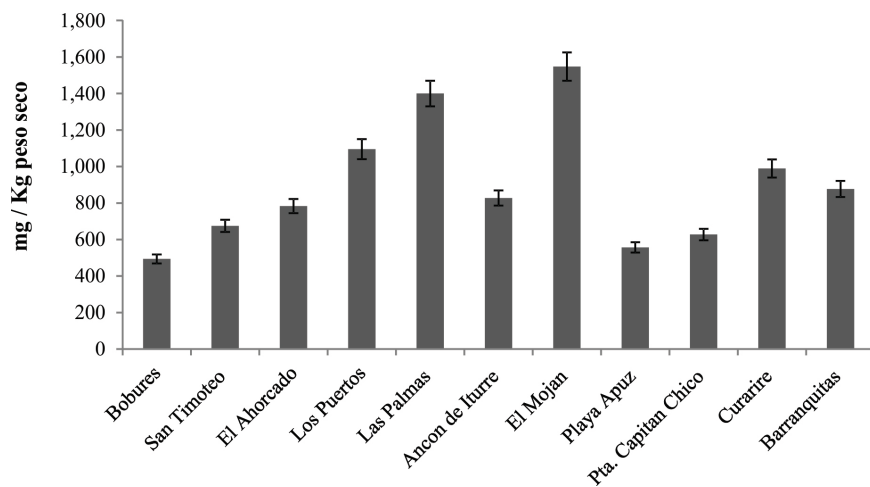


Figura 3. Variaciones espaciales de las concentraciones de NTK en sedimentos costeros del Lago de Maracaibo. Las barras verticales indican la media aritmética \pm desviación estándar para $n=4$.

La dinámica del nitrógeno en los sedimentos del Lago de Maracaibo ha sido poco estudiada. Sin embargo, se presume que la mayor cantidad del mismo se encuentra inmovilizado y absorbido a partículas orgánicas (Esclapés y Galindo 2000). En estudios realizados en este cuerpo de agua se estableció que las concentraciones de N son mayores (entre 10 y 1000 veces) en el agua intersticial que en el sedimento, debido a la presencia de una concentración más elevada de compuestos solubles del nitrógeno (Esclapés y Galindo 2000). Los valores obtenidos en el presente estudio son consistentes con los reportados en otros trabajos para este mismo sistema, aunque se evidencian concentraciones ligeramente mayores, producto posiblemente del aumento del grado de eutrofización que experimenta el Lago (Esclapés y Galindo 2000, Rodríguez 2000, Ledo et al. 2003).

Los valores de NTK presentaron un gradiente creciente, tanto en la costa Oriental como Occidental, desde las estaciones al Sur del siste-

ma hasta las ubicadas al Norte, observándose de forma general que las concentraciones fueron mayores en los sitios con poblaciones cercanas, como en el caso de la estación El Moján, donde se obtuvo el valor mayor (Figura 3). Se ha comprobado que en las zonas donde existen descargas de efluentes domésticos a ecosistemas acuáticos, se tienen altos niveles de nitrógeno en los sedimentos (Jorcin 2000, Liang *et al.* 2013), como resultado de las actividades humanas. No obstante, este aumento puede amortiguarse por dilución cuando las características de circulación y corrientes locales lo permiten, como resultado de la geomorfología, condiciones pluviales y fluviales (De la Lanza y Cáceres 1994).

Por otra parte, la concentración media de P-total en los sedimentos fue de $530,56 \pm 239,71$ mg/Kg peso seco, con valores que oscilaron entre 191,06 y 1259,10 mg/Kg peso seco. El valor más bajo se obtuvo en la estación El Ahorcado (media de $369,62 \pm 178,98$ mg/Kg peso seco) y el más alto en Barranquitas (media de $979,38 \pm 214,17$ mg/Kg peso seco), ambas zonas ubicadas al Sur del sistema, en el área denominada Lago de Maracaibo (saco) (Figura 4). El análisis de varianzas mostró diferencias significativas entre las concentraciones de P-total para los sitios de estudio ($p < 0,01$; F de Fisher = 6,077), pero no entre los muestreos ($p > 0,05$; F de Fisher = 1,123), ni para la interacción sitio/muestreo ($p > 0,05$; F de Fisher = 0,579).

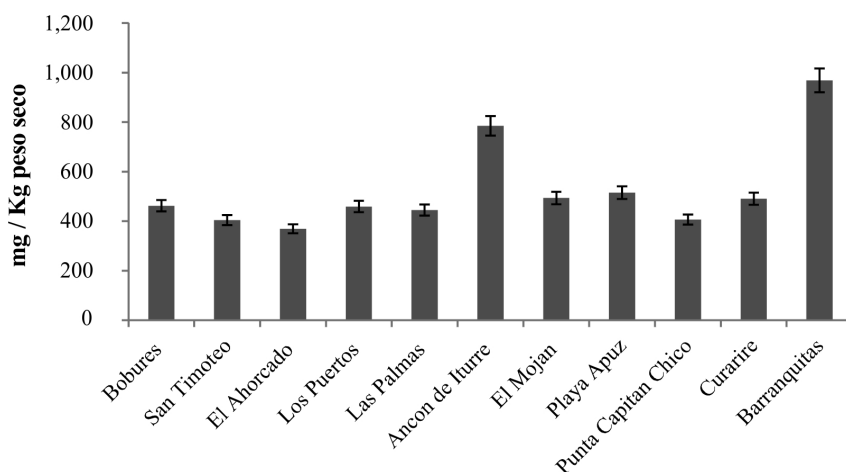


Figura 4. Variaciones espaciales de las concentraciones de P-total en sedimentos costeros del Lago de Maracaibo. Las barras verticales indican la media aritmética \pm desviación estándar para $n=4$.

La información sobre el fósforo sedimentario en el Lago de Maracaibo es escasa, debido a que la dinámica de este elemento en sedimentos es un proceso altamente complejo que envuelve un gran número de mecanismos (Wetzel 1981, Margalef 1983, Rodríguez 2000). La cantidad de fósforo en los sedimentos depende de varios factores, entre los que destacan la topografía, la vegetación circundante, el grado de contaminación y los intercambios que ocurren entre éstos y la columna de agua (Rivas *et al.* 2000, Gunduzet *al.* 2011). En el presente estudio, las concentraciones de fósforo se caracterizaron por presentar valores semejantes en casi todas las estaciones de muestreo, tanto al Norte como al Sur del sistema. Así también, todas las concentraciones encontradas fueron notoriamente inferiores a las obtenidas para NTK, lo cual permite inferir la existencia de cierto grado de fertilidad orgánica (Parra-Pardi 1979). Esto coincide con lo señalado en la literatura donde se establece que en la mayoría de los ambientes de agua dulce o estuarinos, como el Lago de Maracaibo, el fósforo en algunas de sus formas constituye el factor limitante, por encontrarse generalmente en niveles inferiores, en los sedimentos y en la columna de agua (Wetzel 1981).

Materia orgánica

El contenido de materia orgánica en sedimentos costeros del Lago de Maracaibo mostró un valor medio de $1,39 \pm 0,75\%$, con niveles que oscilaron entre 0,39 y 3,14%. El contenido más bajo se registró en la estación Bobures, al Sur del sistema, con una media de $0,44 \pm 0,11\%$ y el más alto en la estación Ancón de Iturre con un valor medio de $2,77 \pm 0,68\%$ (Figura 5). El ANOVA mostró diferencias significativas entre las concentraciones de materia orgánica para los sitios de estudio ($p < 0,01$; F de Fisher = 45,675), pero no entre los muestreos ($p > 0,05$; F de Fisher = 0,976), ni para la interacción sitio/muestreo ($p > 0,05$; F de Fisher = 1,807).

Los sedimentos representan un registro de los procesos que se desarrollan en la columna de agua, debido a que funcionan como el reservorio final para la acumulación de los aportes de materia orgánica alóctona y autóctona (Fabiano y Danovaro 1994). El contenido de materia orgánica en los sedimentos fue relativamente bajo ($1,39 \pm 0,75\%$), lo cual pudo estar relacionado con el tipo de sedimento (Jorcin 2000, Rodríguez 2000, Plaster 2000) (principalmente lomo-arcilla y arena

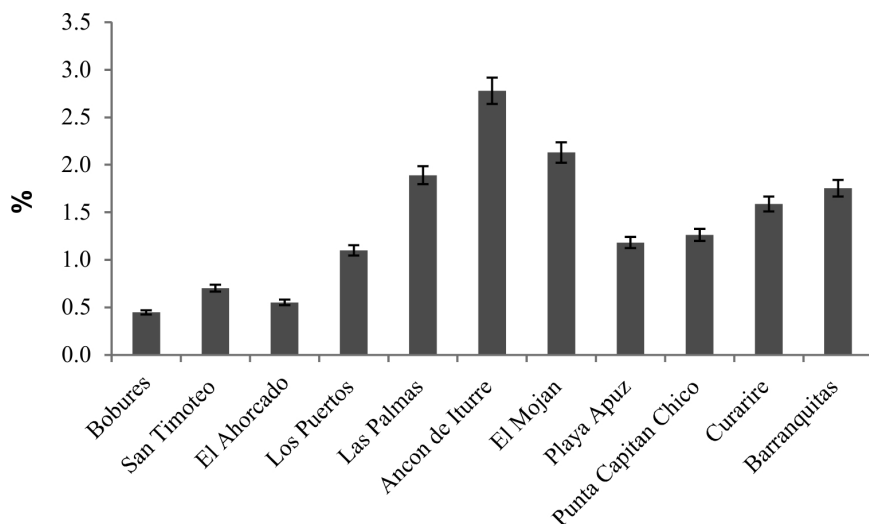


Figura 5. Contenido de materia orgánica en sedimentos costeros de las estaciones de muestreo evaluadas en el Lago de Maracaibo. Las barras verticales indican la media aritmética \pm desviación estándar para $n=4$.

fina, en todas las estaciones) y con la ubicación de las estaciones de muestreo, ya que en la mayoría no se observó vegetación cercana, ni presencia de detritus. Sin embargo, cabe destacar que los valores más altos se registraron en aquellos sitios adyacentes a zonas de manglar, como fue el caso de la estación Ancón de Iturre (Figura 5), situada cerca de la Ciénaga de los Olivitos, donde las mareas, el aporte de hojarasca y/o detritus provenientes de esta gran área de manglar, podrían contribuir al aumento de la materia orgánica. Por otra parte, los valores relativamente altos de MO en la estación El Moján (Figura 5), podrían responder a la presencia de la gran cantidad de plantas macrófitas observadas en el agua (*Pistia* sp., *Eichhornia* sp., otras), además de los posibles aportes provenientes de las actividades antropogénicas (principalmente descarga de efluentes no tratados) en esta zona altamente intervenida.

En cuanto a las concentraciones de pigmentos fotosintéticos, los valores más bajos de pigmentos totales se encontraron en las estaciones Bobures ($0,04 \pm 0,02$ mg/g peso seco) y San Timoteo ($0,05 \pm 0,02$ mg/g peso seco), ubicadas al Sur del sistema, mientras que los mayores se presentaron en las estaciones Las Palmas ($0,80 \pm 0,21$ mg/g peso seco) y El Moján ($0,77 \pm 0,36$ mg/g peso seco), las cuales se encuentran en la

zona del Estrecho-Bahía El Tablazo (Norte) (Figura 6), área altamente impactada por la descarga de aguas residuales no tratadas (Herman 1997, ICLAM 2001).

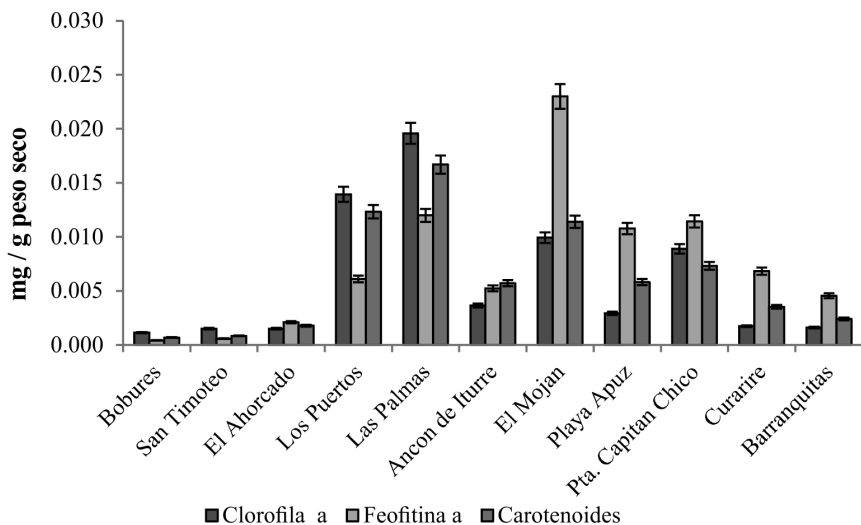


Figura 6. Pigmentos fotosintéticos en sedimentos de las estaciones evaluadas en el Lago de Maracaibo. Las barras verticales indican la media aritmética \pm desviación estándar para $n=4$.

De forma general, se observaron bajas concentraciones de pigmentos en los sedimentos muestreados, en comparación a otros estudios similares (Marín et al. 1997, Rajesh et al. 2001, Moreno y Niell 2004), particularmente de clorofila *a*. Los valores de feofitina *a* y carotenoides siempre estuvieron por encima de los correspondientes a clorofila *a*, con excepción de las estaciones Bobures, San Timoteo, Los Puertos y Las Palmas (Figura 6). El ANOVA evidenció diferencias significativas ($p < 0,001$) de las concentraciones de los pigmentos fotosintéticos, únicamente entre las estaciones de muestreo estudiadas, debido posiblemente a las contribuciones locales de materia orgánica (Figura 5).

Las bajas concentraciones de pigmentos en los sedimentos costeros del Lago de Maracaibo, están directamente relacionadas con el bajo contenido de materia orgánica observado en las estaciones de muestreo estudiadas (Figura 5). Cabe destacar que en los ambientes acuáticos cuando las células vegetales mueren, la clorofila es casi inmediatamente transformada a feofitina, y como esta materia vegetal que

se deposita en el sedimento está parcial o totalmente descompuesta, es lógico encontrar la clorofila en forma de feofitina, explicando claramente el patrón obtenido en este estudio (Margalef 1983, Sun *et al.* 1993, Kowaleska 2005, Fagherazzi *et al.* 2014). Los carotenoides por su parte, por estar presentes en los tejidos de las plantas y ciertas bacterias fotosintéticas, son muy abundantes en la naturaleza, también pueden encontrarse en algunas bacterias no fotosintéticas y hongos, lo cual los convierte en un buen indicador de la cantidad de materia orgánica que se deposita en el sedimento (Kowaleska 2005).

Conclusiones

Las variables fisicoquímicas mostraron diferencias espaciales marcadas, especialmente la salinidad, el oxígeno disuelto, el pH y la temperatura, como resultado de eventos locales e hidrodinámica del sistema (intercambio con agua de mar, corrientes, mareas, vientos, descarga de efluentes, entre otros).

Las concentraciones relativamente altas de nutrientes (NTK y P-total), permitieron inferir el estado eutrófico y el grado de fertilidad orgánica del sistema.

Los bajos niveles de pigmentos fotosintéticos (clorofila *a*, feofitina *a* y carotenoides) correspondieron con el bajo contenido de materia orgánica en los sedimentos, y se relacionan probablemente con el tipo de sedimento, la escasa vegetación y detritus en los sitios estudiados.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias y al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES-LUZ), por la subvención aportada para la realización de esta investigación.

Literatura citada

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) Y WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition, American Public Health Association, Washington, D.C. USA.
- ÁVILA, H. 2003. Distribución de metales pesados en sedimentos del sistema del Lago de Maracaibo. Trabajo de Grado. División de Estudios para Graduados, Facultad de Ingeniería, Univ. del Zulia, Maracaibo, 72 p.
- DE LA LANZA, G. Y C. CÁCERES. 1994. Lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur (eds.). México. 497 p.
- EGERTON, D. Y M. T. MURPHY. 1969. Organic Geochemistry. Springer-Verlag. Berlin. 269 p.
- ESCLAPÉS, M. Y I. GALINDO. 2000. Calidad de las aguas del Lago de Maracaibo. En: El Sistema de Maracaibo (Editor G. Rodríguez). 2^a Edición. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Caracas. pp. 125-146.
- FABIANO, M. Y R. DANOVARO. 1994. Composition of organic matter in sediments facing a river estuary (Tyrrhenian Sea): relationships with bacteria and microphytobenthic biomass. *Hydrobiologia*. 277: 71-84.
- FAGHERAZZI, S., G. MARIOTTI, A. T. BANKS, E. J. MORGANA Y R. W. FULWEILER. 2014. The relationships among hydrodynamics, sediment distribution, and chlorophyll in a mesotidal estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 144: 54-64.
- FLORES, J. 2008. Influencia del aumento del nivel medio del mar sobre el Sistema Lago de Maracaibo. Tesis de Doctorado. División de Estudios para Graduados, Facultad de Ingeniería, Univ. del Zulia, Maracaibo, 212 p.
- GUNDUZ, B., I. AYDIN Y C. HAMAMCI. 2011. Study of phosphorus distribution in coastal surface sediment by sequential extraction procedure (NE Mediterranean Sea, Antalya-Turkey). *Microchemical Journal* 98: 72-76.
- HERMAN, S. 1997. Proceso de salinización en el Lago de Maracaibo. Instituto para el Control y la Conservación del Lago de Maracaibo (ICLAM). Maracaibo, Venezuela. 109 p.
- IBP. 1971. Methods for the study of marine benthos. Handbook N° 16. Edited by Holme, N. A. Holme and A. D. McIntyre. Great Britain. 334 p.
- ICLAM. 2001. Monitoreo ambiental regional del Lago de Maracaibo (tercera evaluación). Informe Técnico. Instituto para el Control y la Conservación del Lago de Maracaibo (ICLAM). Maracaibo, Venezuela, 81 p.
- JORCIN, A. 2000. Physical and chemical characteristics of sediment in the estuarine region of Cananéia (SP), Brazil. *Hydrobiologia* 431: 59-67.
- KENNISH, M. 2002. Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environmental Conservation* 29:78-107.

- KOWALESKA, G. 2005. Algal pigments in sediments as a measure of eutrophication in the Blaticenviroment. *Quaternary International*. 130: 141-151.
- LEDO DE M., H., J. C. MARÍN, E. GUTIÉRREZ Y J. MORALES. 2003. Nitrogen mobility at the sediment-water interface of Lake Maracaibo, Venezuela. *Water, Air, and Soil Pollution* 145: 341-357.
- LIANG, D., X. WANG, B. N. BOCKELMANN-EVANS Y R. A. FALCONER. 2013. Study on nutrient distribution and interaction with sediments in a macro-tidal estuary. *Advances in Water Resources* 52: 207-220.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 1005 p.
- MARÍN L., J. C., M. E. ROMERO G., M. COLINA DE V. Y H. LEDO DE M. 1997. Determinación de pigmentos en sedimentos de un cuerpo de agua tropical. *Revista Técnica de Ingeniería* 20(2): 87-93.
- MEDINA, E. Y F. BARBOZA. 2006. Lagunas costeras del Lago de Maracaibo: distribución, estatus y perspectivas de conservación. *Ecotropicos* 19 (2): 128-139.
- MORALES, F. Y G. GODOY. 1996. Sediment distribution in el Tablazo Bay, Maracaibo System, Venezuela. *OCEANS '96. MTS/IEEE. Conference Proceedings*. Volume 3, pp. 1492-1496.
- MORENO, S. Y F. X. NIELL. 2004. Scales of variability in the sediment chlorophyll content of the shallow Palmones River Estuary, Spain. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 60: 49-57.
- PÁEZ, F., M. FONG Y H. FERNÁNDEZ. 1984. Comparación de tres técnicas para analizar materia orgánica en sedimentos. *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México* 11(1): 257-264.
- PARRA-PARDI, G. 1979. Estudio sanitario integral sobre la contaminación del Lago de Maracaibo y sus afluentes. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). Dirección de Investigación del Ambiente. Venezuela. 225 p.
- PLASTER, E. 2000. *La ciencia del suelo y su manejo*. Editorial Thomson. Madrid, España pp. 32-53.
- RAJESH, K. M., G. GOWDA, M. R. MENON Y A. P. NAZARETH. 2001. Distribution of sediment chlorophyll-*a* and phaeopigments in the brackishwater ponds along the Nethravathi estuary, India. *Indian J. Fish* 48(2): 145-149.
- RIVAS, Z., H. LEDO DE M., J. GUTIÉRREZ Y E. GUTIÉRREZ. 2000. Nitrogen and phosphorus level in sediment from tropical Catatumbo River (Venezuela). *Water, Air, and Solid Pollution* 117: 27-37.
- RODRÍGUEZ, G. 2000. *El Sistema del Lago de Maracaibo*. Segunda edición. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Caracas (IVIC). Caracas, Venezuela 264 p.

- SUN, M. Y., C. LEE Y R. ALLER. 1993. Anoxic and oxic degradation of ^{14}C -labeled chloropigments and ^{14}C -labeled diatom in long island Sound sediments. *Limnol. Oceanogr* 38(1): 1438-1451.
- WETZEL, R. 1981. *Limnología*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España 679 p.