

# Contribución de principales ríos tributarios a la contaminación y eutrofización del Lago de Maracaibo

*Zulay Rivas<sup>1</sup>, Rómulo Márquez<sup>1</sup>, Federico Troncone<sup>1</sup> José Sánchez<sup>1</sup>,  
Marinela Colina<sup>2</sup> y Paola Hernández<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Instituto para el Control y Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM).

<sup>2</sup>Universidad del Zulia, Facultad de Ciencias, Maracaibo – Venezuela. Apartado 302.

Recibido: 02-07-04 Aceptado: 13-01-05

## Resumen

Las diferentes actividades agrícolas, pecuarias, mineras e industriales desarrolladas en la cuenca del Lago de Maracaibo, han originando un proceso acelerado de eutrofización en el mismo. El objetivo de este estudio fue determinar los niveles de elementos eutrofizantes en los principales ríos tributarios de la zona sur del Lago de Maracaibo. Los muestreos se realizaron en los ríos Santa Ana, Catatumbo, Birimbay, Bravo, Escalante, Chama y Motatán, los cuales contribuyen con el 70% de agua dulce que entra al Lago. Se realizaron 8 muestreos con mediciones de caudal (168 aforos y 336 muestras de agua) desde Mayo 96-Agosto 98. Los análisis realizados fueron los siguientes: DBO<sub>5</sub>, DQO, fósforo total (Pt), nitrógeno total (Nt), sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes totales y fecales (NMP/100 mL). Los valores promedios, mínimos y máximos obtenidos durante el estudio variaron de la siguiente forma: Caudal: 148,52 m<sup>3</sup>/seg. (7 - 726); SST: 250 mg/L (19 - 2250); DBO<sub>5</sub>: 2,14 mg/L (0,28 - 7,25); DQO: 37,96 mg/L (5,92 - 104,21); NT: 1,55 mg/L (0,50 - 4,68), PT: 0,47 mg/L (0,26 - 2,22) mg/L, coliformes totales: 18946 NMP/100mL (617 - 158333) y coliformes fecales: 8211 NMP/100mL (33 - 102167). Los máximos valores promedios de caudal por río corresponden al Catatumbo (523,04 m<sup>3</sup>/seg.), seguido por Santa Ana (179,98 m<sup>3</sup>/seg.) y el Bravo (168,40 m<sup>3</sup>/seg.) (ANOVA, p<0,05, LSD). El mayor aporte de carga másica es realizado por el río Catatumbo: SST: 7619,73 Ton/día (46%); DBO<sub>5</sub>: 50,33 Ton/día (33%); DQO: 1954,60 Ton/día (51%); NT: 53,45 Ton/día (47%) y PT: 18,87 Ton/día (54%). Los resultados obtenidos indican un incremento del aporte en la carga másica de 1,06 veces para el NT y una disminución de 3,26 veces para el PT en relación a valores reportados anteriormente. Los aumentos en las concentraciones de algunos elementos como el NT y PT en los ríos, en comparación con estudios anteriores reflejan el incremento de las actividades antrópicas asociadas a la deforestación, utilización de agroquímicos, y otros, en las distintas subcuencas.

**Palabras clave:** Contaminación; eutrofización; nutrientes; río.

\* Autor para correspondencia: zrivas@iclam.gov.ve

# Contribution of Mean Tributary Rivers to Lake Maracaibo Contamination and Eutrophication

## Abstract

The different agricultural, cattle, mining and industrial activities developed on Lake Maracaibo basin have originated an intensive process of eutrophication. The aim of this study was to determine the levels of eutrophicant elements in the main tributary rivers of the south zone on Lake Maracaibo. The samplings were taken Santa Ana, Catatumbo, Birimbay, Bravo, Escalante, Chama and Motatán rivers, which contribute with 70% of the water that enters the Lake. Eight complete samplings and rivers, measurements of flow rate (168 appraisals and 336 water samples) were studied from May 96 to flow August 98. The performed analyses were the followings: BOD<sub>5</sub>, COD, total phosphorus (TP), total nitrogen (TN), suspended solid and total and fecal coliforms (NMP/100 ml). The average, minimums and maximums values obtained during the study changed as follow: Flow rate: 148.52 m<sup>3</sup>/seg (7 - 726); SST: 250 mg/L (19 - 2250); BOD<sub>5</sub>: 2.14 mg/L (0.28 - 7.25); COD: 37.96 mg/L (5.92 - 104.21); TN: 1.55 mg/L (0.50 - 4.68), TP: 0.47 mg/L (0.26 - 2.22) mg/L, total coliforms: 18946 NMP/100ml (617 - 158333) and fecal coliforms: 8211 NMP/100ml (33 - 102167). The average of the maximum values of flow rate corresponded to the Catatumbo river (523.04 m<sup>3</sup>/seg), followed by Santa Ana (179.98m<sup>3</sup>/seg) and Bravo (168.40 m<sup>3</sup>/seg) (ANOVA, p < 0.05, LSD). The major contribution of mass load was introduced by Catatumbo rivers: SST: 7619,73 Ton/d (46%); DOD<sub>5</sub>: 50,33 Ton/d (33%); COD: 1954.60 Ton/d (51%); TN: 53.45 Ton/d (47%) and TP: 18.87 Ton/d (54%). Results indicated an increase of mass load contribution of 1.06 times for TN and a decrease of 3.26 times for TP in relation to previously reported values. In comparison with previous studies, there is an increase of the concentrations of some elements such as TN and TP in rivers reflecting the increase of anthropogenic activities associated with deforestation, agrochemical and other uses for all rivers basins.

**Key words:** Eutrophication; nutrient; pollution; river.

## Introducción

El Lago de Maracaibo es de singular importancia debido a los recursos energéticos, la diversidad y al gran número de organismos acuáticos que en él se encuentran, los cuales representan una importante fuente económica para el país. Las diferentes actividades agrícolas, pecuarias, mineras e industriales desarrolladas en la cuenca del lago, han originado un proceso acelerado de eutrofización (1-3).

Diversos estudios se han realizado sobre las características físico-químicas

en las descargas industriales y domésticas que son vertidas al sistema, asimismo, se han hecho, monitoreos continuos de la calidad de agua del Lago de Maracaibo (4). Sin embargo, existe poca información sobre la calidad y el aporte al lago de los ríos afluentes (1, 5). El caudal drenado por los ríos al lago es el principal factor que controla la química del agua, principalmente por la dilución (6, 7), siendo los nutrientes originados por fuentes casi principalmente no puntuales (escorrentías) o una combinación de estas con fuentes puntuales (descargas y ríos) (8).

En el sistema del Lago de Maracaibo, son descargados grandes volúmenes de aguas residuales urbanas sin tratamiento previo, que sumada a las descargas de nutrientes por escorrentía y a los eventuales derrames petroleros, lo han convertido en un lago hipereutrofizado (9). Las condiciones de eutrofización y salinización del Lago, aunado a la entrada de elevadas concentraciones de nitrógeno (amoniaco), producto del lavado inicial de las áreas drenadas de la cuenca, al comienzo del período lluvioso, pueden favorecer el superdesarrollo de la especie *Lemna* sp, en este cuerpo de agua.

En la historia, las explosiones demográficas de especies de *Lemna* han sido multifactoriales, principalmente asociadas con la actividad antrópica y aparecen generalmente después de las primeras lluvias, luego de la estación seca (10). En el caso del Lago de Maracaibo la aparición masiva de *lemna* puede estar asociada a actividades antrópicas en las cuencas de los principales ríos tributarios, tales como los ríos Catatumbo, Santa Ana y Escalante y probablemente a la liberación de nutrientes procedentes del cono hipolimnético del centro del Lago (11).

Los ríos de la zona sur de la cuenca del Lago de Maracaibo constituyen descargas puntuales que contribuyen con una alta cantidad (70%) de agua dulce al mismo, siendo su caudal un factor importante en el movimiento de la masa de agua del lago, en el sentido contrario a las agujas del reloj (1). Sin embargo, estos ríos, llevan consigo elementos orgánicos e inorgánicos y nutrientes que se originaron en fuentes no puntuales (áreas de explotación agrícola y pecuaria, zonas boscosas, zonas pantanosas, etc.) o en fuentes puntuales (descargas de aguas servidas domésticas de poblaciones o descargas industriales). En el presente trabajo se determinaron los niveles de elementos eutroficantes en los ríos Catatumbo, Birimbay, Bravo, Motatán, Chama, Escalante y Santa Ana, para evaluar el aporte de los mismos al Lago de Maracaibo.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El área de estudio esta ubicada en la zona sur del Lago de Maracaibo entre los  $8^{\circ}57' - 9^{\circ}32'$  de LN y  $71^{\circ}01' - 72^{\circ}01'$  LO, en las desembocaduras de los ríos Santa Ana, Catatumbo, Birimbay, Bravo, Escalante, Chama y Motatán (Figura 1). Las cuencas de los ríos difieren grandemente en su naturaleza. En la zona occidental los ríos Santa Ana, Catatumbo, Birimbay, Bravo, Escalante son más extensos debido a la gran distancia y baja diferencias de altura entre las zonas montañosas y el Lago, drenando de zonas forestales y ganaderas, mientras que los

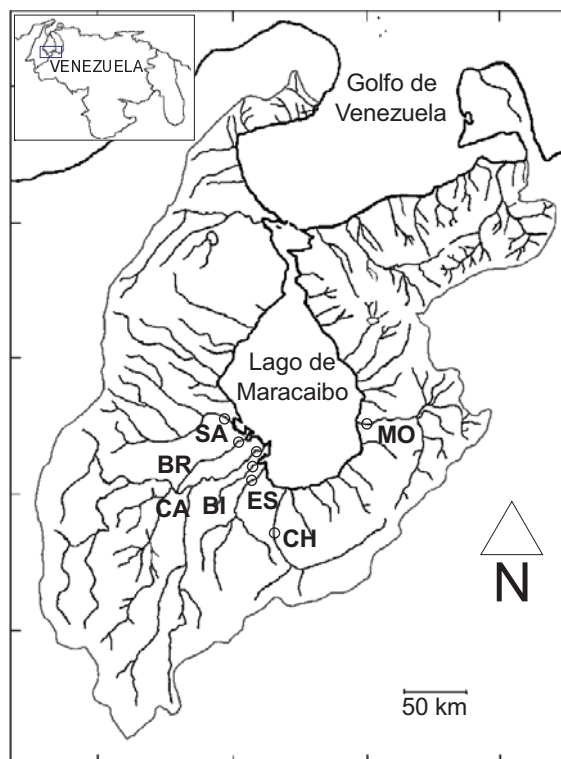


Figura 1. Área de estudio. Se muestra la ubicación nacional y regional de las estaciones de estudio. SA: Santa Ana, BR: Bravo, CA: Catatumbo, BI: Birimbay, ES: Escalante, CH: Chama, MO: Motatán.

ríos de la zona oriental Chama y Motatán presentan un menor desarrollo y mayor velocidad por la altura en la que nacen y la poca distancia que recorren, drenando áreas principalmente de páramo y dedicadas a la agricultura. La hidrología de la zona sur del Lago de Maracaibo se caracteriza por un alto flujo durante todo el año, debido a la elevada precipitación y humedad, presentándose un período seco relativamente corto de diciembre a marzo.

El sistema del Lago de Maracaibo posee una superficie aproximada de 121.823 km<sup>2</sup>, representa una de las fuentes de recursos de gran importancia económica para Venezuela por sus innumerables riquezas naturales, pero su importancia primordial radica en el uso de sus recursos hídricos formados por las fuentes de agua disponibles en las subcuencas hidrográficas y el Lago de Maracaibo. Este tiene una extensión aproximada de (12.958,42 Km<sup>2</sup> calculado por ICLAM) y está conformado por el Golfo de Venezuela, Bahía el Tablazo, Estrecho de Maracaibo, Lago propiamente dicho y Ríos Tributarios (12). El Lago de Maracaibo es una gran depresión rodeada de montañas, que desemboca en el Golfo de Venezuela (Mar Caribe), a través de un estrecho de 40 kilómetros de largo, 5 a 7 kilómetros de ancho y 15 metros de profundidad; esto último, como consecuencia del dragado del canal de navegación, a través del cual penetra agua salina a este cuerpo de agua (13).

**Ubicación de Estaciones:** Se ubicaron siete (7) estaciones de muestreo cerca de la desembocadura de los ríos al Lago (Figura 1), donde las aguas son limnéticas. Esto se comprobó, midiendo la salinidad en varios puntos; seleccionándose la estación que registró lecturas menores a 0,5 ‰. Las estaciones reflejan el aporte de contaminantes al Lago de Maracaibo.

**Muestreo:** Se realizaron 8 muestreos en las 7 estaciones durante el periodo de 1996-1998, tomando en cuenta las épocas de sequía y lluvia predominantes en la zona

(Sequía: enero-marzo y julio-agosto; y Lluvia: mayo-junio y octubre-noviembre). La duración del muestreo fue de un mes, debido a la distancia entre estaciones y al acceso por vía terrestre y fluvial. Los muestreos se realizaron en las fechas siguientes.

- 1<sup>er</sup> muestreo Mayo - Junio 1996, periodo de lluvia.
- 2<sup>do</sup> muestreo Noviembre-Diciembre 1996, periodo de lluvia.
- 3<sup>er</sup> muestreo del Febrero-Marzo 1997, periodo de sequía.
- 4<sup>to</sup> muestreo del Mayo-Junio 97, periodo de lluvia.
- 5<sup>to</sup> muestreo del Agosto-Septiembre 97, periodo de sequía.
- 6<sup>to</sup> muestreo del Noviembre 97, periodo de lluvia.
- 7<sup>mo</sup> muestreo del Mayo 98, periodo de lluvia.
- 8<sup>vo</sup> muestreo del Agosto 98, periodo de sequía.

**Recolección de Muestras:** En cada río se realizaron tres aforos y se capturaron tres muestras de agua por duplicado durante día y medio (mañana, tarde, mañana). Para un total de 6 muestras de agua compuestas (centro y los márgenes izquierda y derecha) e integradas (columna de agua), para un total de 168 aforos y 336 muestras de agua.

La estimación del caudal de agua (aforo) se realizó por el método de sección-velocidad (14); determinándose el área de la sección transversal del río, mediante mediciones de profundidades en diferentes distancias de la sección y la velocidad del agua que pasa por la misma, utilizando el correntímetro digital.

Las mediciones en sitio se realizaron con los equipos: medidor de salinidad y conductividad YSI Incorporated Modelo 33, medidor de oxígeno disuelto, YSI Incorporated Modelo 51B y medidor de Temperatura y pH,

marca Corning, modelo 313, las mediciones de caudal se realizaron con un equipo Marca Marsh-McBirney Inc. Modelo Flow-Mate 2000.

Los análisis físico-químicos se realizaron en el Laboratorio Ambiental del ICLAM, el cual está acreditado bajo la norma COVENIN 2534.

**DBO<sub>5</sub>:** Se analizó por el método de electrodo selectivo el cual consiste en ajustar el pH de la muestra entre 6,5 y 7,5 unidades de pH, realizándose tres diluciones de 50, 75 y 100%, respectivamente. Se determinó el oxígeno inicial y final (las muestras se incubaron a 20°C por 5 días) y luego se realizó el cálculo de la DBO<sub>5</sub>(15).

**DQO:** Se analizó por método refluo cerrado colorimétrico. Para ello se midieron 2,5 mL de muestra de agua y se vertieron en un tubo de digestión para luego adicionarle 1,5 mL de una solución digestora (10,216 gr ácido sulfúrico + 167 mL de dicromato de potasio + 35,3 gr de sulfato de mercurio en un litro de agua destilada), después se le agregó lentamente y con cuidado 3,5 mL del reactivo de ácido sulfúrico, colocándose los tubos de digestión en un bloque de digestión precalentado a 150°C. Se digirió por 2 horas a 150°C, dejando enfriar a temperatura ambiente. La concentración de la demanda química de oxígeno (DQO) en mg/L se calculó con la absorbancia obtenida en un espectrofotómetro a 600 nm y se preparó una curva de calibración con talato ácido de potasio (15).

**Nitrógeno total:** La concentración de Nitrogeno Total se obtuvo de la suma de nitrato más nitrógeno Kjeldahl (15).

**Nitrato:** Se realizó por colorimetría, se transfirió 25 mL de muestra de agua a un balón de 100 mL el cual se aforó con una solución de NH<sub>4</sub>Cl-EDTA concentrada. Esta solución se pasó a través de una columna de reducción de cadmio. Se recogieron 50 mL, transfiriéndolos a un erlenmeyer de 125 mL y se le adicionaron 2 mL de reactivo de color

(10 g de sulfanilamida + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 85% + 1 g de NED-dihidrocloreuro + agua); se espera entre 15 minutos a 2 horas y se lee en un espectrofotómetro a 543 nm. La concentración de nitrato en mg/L se determinó con la absorbancia obtenida y la curva de calibración de nitrato.

**Nitrógeno Kjeldahl:** Se tomaron 50 mL de muestra de agua, se transfirieron a un tubo de digestión y se le adicionaron 10 mL de reactivo de digestión (134 g de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 7,3 g de CuSO<sub>4</sub> + 134 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conc. + agua), el cual se digirió hasta obtener una digestión completa. Luego se destiló por arrastre de vapor utilizando un equipo de destilación/titulación TECATOR 1035. La concentración de Nitrógeno Kjeldahl en mg/L se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Nitrógeno Kjeldahl mg / L} = \frac{(A - B) \times 280}{\text{mL de muestra}} \quad [1]$$

donde:

A= volumen de solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,02 N usado en la titulación de la muestra.

B= volumen de solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,02 N usado en la titulación del blanco.

280= utilizar este factor cuando la concentración del ácido sea exactamente 0,02 N de lo contrario recalcularlo.

**Fósforo total:** Se realizó por el método de ácido ascórbico, para ello se tomaron 50 mL de muestra de agua y se transfirieron a un tubo de digestión para fósforo, se ajustó el pH de la muestra y luego se le adicionó 1 mL de ácido sulfúrico 11 N y 0,4 g de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>. Los tubos se taparon y digirieron en una autoclave TUTTNAUER a 121°C y 115 psi por 30 minutos. Después de la digestión se dejó enfriar y se ajustó el pH entre 6 y 7. Luego se le adicionaron 8 mL de reactivo combinado (ácido sulfúrico 50%, ácido ascórbico 30%, tartrato de antimonio y potasio 5% y molibdato de amonio 15%), realizando la lectura de absorbancia entre 10 y

30 min., en un espectrofotómetro a 880 nm. La concentración de fósforo se calculó a partir de la absorbancia de la muestra y la curva de calibración de fósforo (15).

La concentración de **sólidos suspendidos totales**, se realizó mediante el método gravimétrico. Se midieron 50 mL de muestra de agua y se filtraron a través de un filtro llevado previamente a peso constante, luego se colocó el filtro con la muestra, a secar en un horno a 103-105°C por 1 hora. Finalizada la hora de secado, el filtro se colocó en un desecador por 30 minutos y se pesó. La concentración de sólidos suspendidos totales, se calculó utilizando la siguiente ecuación (15):

$$SST \text{ (mg / L)} = \frac{(P1 - P2) \times 10^6}{\text{mL de muestra}} \quad [2]$$

donde:

P2 = es el peso del filtro con la muestra.

P1 = es el peso del filtro vacío.

La determinación de **Coliformes totales y fecales** se realizó por el método de tubos múltiples de fermentación. A cada muestra de agua de río se le realizan diluciones decimales consecutivas de 10 a 10<sup>-4</sup> mL, y se inocularon cada uno en series de cinco tubos de caldo lauril sulfato (CLS). Los tubos de CLS inoculados, fueron incubados a 35 ± 0,5°C por 24-48 horas y se procedió a la lectura de los tubos con presencia de crecimiento (turbidez) y dióxido de carbono (gas). De cada tubo por dilución inoculada con crecimiento y formación de gas se transfirió una asada a un tubo con caldo bilis verde brillante (BVB). Los tubos de BVB inoculados se incubaron a 35 ± 0,5°C por 24-48 horas y se procedió a cuantificar los tubos con presencia de crecimiento (turbidez) y dióxido de carbono (gas), por dilución. La combinación de números de tubos con crecimiento y formación de gas en BVB por dilución, se utilizó para determinar el Número más Probable de Coliformes totales en 100 mL de

muestras (NMP/100 mL). De cada tubo por dilución inoculada con crecimiento y formación de gas en BVB, se transfirió una asada a un tubo con caldo EC (CEC). Los tubos de CEC que se inocularon, se incubaron a 45 ± 0,5°C por 24 ± 3 horas y se cuantificaron los tubos con crecimiento y formación de gas por dilución inoculada. La combinación de números de tubos con crecimiento y formación de gas en CEC por dilución se utilizó para determinar el Número más Probable de Coliformes fecales en 100 mL de muestras (NMP/100 mL). Se reportó el NMP/100 mL de Coliformes totales y el NMP/100 mL de Coliformes fecales (15).

## Resultados y Discusión

Las diferencias fisiográficas entre los ríos evaluados afectan notablemente las características físicas y químicas de sus aguas. El promedio de la temperatura fue de 28,8 ± 1,84°C, las temperaturas más bajas fueron obtenidas en el río Chama, motivado a la mayor altura sobre el nivel del mar y la distancia recorrida por el río desde su nacimiento en el páramo hasta la desembocadura del Lago. Esta misma condición es determinante para el oxígeno disuelto siendo sus valores más altos en los ríos Chama y Motatán por la aereación que provoca la corriente rápida, en comparación con el resto, los cuales son de corriente lenta o abundante vegetación (Jacintos de Agua) y conexión con ciénagas, que pueden bajar el oxígeno disuelto en el río.

Los valores de pH en el agua variaron alrededor de la neutralidad en el intervalo 6,28 a 8,04. En la conductividad (161,15 ± 83,16 µmhos/cm), se observa una tendencia a valores bajos en los ríos que drenan la zona occidental de la cuenca con respecto a los que provienen de la zona oriental los cuales presentan los valores más altos. Esta variación se atribuye a la geología y la naturaleza de los suelos por donde transcurren sus cauces.

En la Figura 2 se presenta la distribución de los valores de los parámetros evaluados, durante el período de estudio, en los cuales se observa una variabilidad por río y por periodo de muestreo. En cuanto al caudal de agua se observa que los máximos valores promedio de caudal por río corresponden al río Catatumbo (523,04 m<sup>3</sup>/seg), Santa Ana (179,98 m<sup>3</sup>/seg) y Bravo (168,40 m<sup>3</sup>/seg) (ANOVA,  $p < 0,05$ , LSD). Los aportes promedio mínimos para el período de estudio corresponden a los valores de 29,49 y 42,67 m<sup>3</sup>/seg para los ríos Motatán y Esca-

lante, respectivamente, siendo la suma de los promedios por cada río (6,85 – 725,67 m<sup>3</sup>/seg) el aporte total: 1.188,15 m<sup>3</sup>/seg, aportada al lago. Los resultados obtenidos presentan poca diferencia con respecto al caudal derivado mediante la simulación de un modelo matemático de lluvia-escorrentía (Modelo National Weather Service River Forecasting System) desarrollado por ICLAM-CGR Ingeniería de 1.364 m<sup>3</sup>/seg (16). El caudal actual representa un aumento de 37,5% con relación a 1976-78 (1), lo cual puede ser atribuido a que los gastos ob-

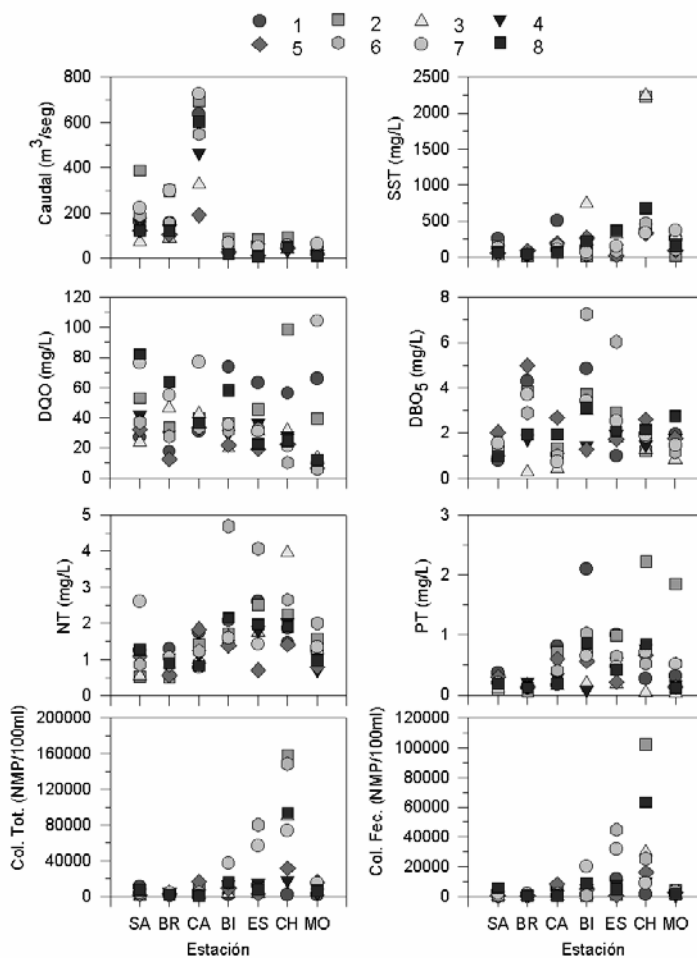


Figura 2. Valores promedio de Caudal, DBO<sub>5</sub>, DQO, Nitrógeno total (Nt) y Fósforo total (Pt) en ríos de la zona sur del Lago de Maracaibo (Edo. Zulia, Venezuela).

tenidos corresponden a muestreos puntuales y al volumen de agua retenido en las áreas de inundación, el cual no fue incluido en los cálculos de este estudio.

Para todos los ríos, el valor promedio global estimado de sólidos suspendidos totales (SST) fue de 250,03 mg/L (18,97 – 2249,67 mg/L). Estos niveles pueden ser considerados bajos para la mayoría de los ríos, siendo el río Chama el que presentó el más alto valor promedio (884,42 mg/L) (ANOVA,  $p < 0,05$ , LSD), principalmente debido a la gran actividad agrícola y el grado de deforestación, así como, a la alta pendiente en las montañas de los Andes Venezolanos Orientales, todo lo cual se conjuga para que se produzca remoción de suelos y sedimentos.

La  $DBO_5$  presentó una alta variabilidad entre muestreos. No se encontraron diferencias significativas entre los valores promedio (ANOVA,  $p < 0,05$ , LSD) en cada río. Las concentraciones de  $DBO_5$  en los ríos Motatán, Chama, Catatumbo y Santa Ana se encontraron por debajo de 2 mg/L indicando una baja concentración de materia orgánica clasificándolos como ríos no contaminados (6). Las diferencias entre los valores de  $DBO_5$  con relación al resto de los ríos por encima de 2 mg/L pueden ser explicados por la baja velocidad en los mismos, lo cual puede aumentar la acumulación de materia orgánica, así como, por las escorrentías naturales (Birimbay y Bravo) y las descargas municipales (Escalante); estimándose un promedio global de 2,14 mg/L (0,28 – 7,25 mg/L).

La DQO presentó valores altos (38,27 – 46,66 mg/L) para los ríos Birimbay, Catatumbo y Santa Ana, presentando el resto de los ríos valores intermedios (31,78 – 36,64 mg/L) (ANOVA,  $p < 0,05$ , LSD). La relación  $DBO_5$ /DQO en los ríos varió entre 0,006 a 0,394 indicando una alta cantidad de material biodegradable en el transporte.

El valor promedio global estimado para el nitrógeno total (Nt) fue de 37,96 mg/L (5,92 – 104,208 mg/L), con concentraciones promedio en el río Chama significativamente

mayores que los reportados para los ríos Birimbay y Escalante (ANOVA,  $p < 0,05$ , LSD), presentando el resto de los ríos valores intermedios.

El fósforo total (Pt) presentó diferencias significativas entre ríos, dada la alta variabilidad entre los mismos, siendo su promedio global de 0,47 mg/L (0,026 – 2,22 mg/L). El promedio global para la relación molar N/P en los ríos evaluados fue de 16,05 estando el 48% de los valores por río y época entre 5 – 10. Parra Pardi (1979), encontró valores entre 0,89 – 3,41 y 0,98 – 2,62 mg/L para el Nt y Pt respectivamente, con una relación molar N/P de 1,05 – 4,21 para los ríos Santa Ana, Escalante, Motatán, Chama y Catatumbo; indicando que el aumento en la cantidad de nitrógeno en el tiempo podría temporalmente aumentar la relación. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en este estudio los cuales representan un aumento promedio de 8,5 veces para el Nt y 2,5 para el Pt donde el nutriente limitante es el fósforo, e indica que la productividad del sistema es controlada principalmente por fósforo y no por nitrógeno.

Las concentraciones promedio de coliformes totales fueron de 18.946,3 NMP/100mL (617 – 158.333) y coliformes fecales: 8.210,82 NMP/100mL (33 – 102.167). Estos valores reflejan una contaminación microbiana en todos los ríos evaluados, siendo mayor para el río Chama (ANOVA, LSD,  $p < 0,05$ ), esta puede ser originada por las aguas de escorrentía y domésticas, las cuales están cargadas de una gran cantidad de bacterias.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de carga másica correspondiente a los parámetros en estudio en comparación con otros reportados. El mayor aporte es realizado por el río Catatumbo con un porcentaje total de 51% de Caudal; 47% de SST; 33% de  $DBO_5$ ; 51% de DQO; 47% de Nt y 54% de Pt.

Parra Pardi (1) encontró valores de 121.919 T/d de Nt y 132.624 T/d de Pt para los tributarios de la zona sur del lago de Ma-



Tabla 1  
Cargas tributarias (T/d) promedio calculadas por río para el período de estudio

Río	Caudal (m <sup>3</sup> /seg)	SST	DBO <sub>5</sub>	DQO	NT	PT
Motatán	29,49	554,52	3,88	119,34	3,37	1,57
Chama	51,08	4.606,51	7,76	189,01	9,65	4,26
Escalante	42,67	464,50	9,60	152,09	8,61	2,26
Birimbay	44,86	647,56	15,24	140,82	8,68	3,06
Catatumbo	523,04	7.619,73	50,33	1.954,60	53,45	18,87
Bravo	168,40	551,11	46,79	546,14	12,66	1,83
Santa Ana	179,98	1.958,02	20,10	767,98	18,63	3,15
Total		16.405,94	153,70	3.869,97	115,06	35,26

racaibo, observándose en la actualidad un incremento en la carga másica de 1,06 veces para el Nt y una disminución 3,26 veces para el Pt. Los aumentos en las concentraciones de algunos elementos como el Nt y Pt en los ríos en comparación con estudios anteriores reflejan el incremento de las actividades agrícolas y pecuarias. Moss (13) señala que la perturbación de la vegetación y suelos por agricultura lleva a una mayor pérdida de nitrógeno que de fósforo, principalmente debido a que este último es fijado fuertemente por reacciones químicas a los suelos, siendo los compuestos nitrogenados relativamente solubles y fácilmente arrastrados.

La deforestación de la cuenca incrementa el transporte de SST río abajo en las zonas de las cabeceras siendo éste eventualmente retenido en zonas planas, planicies de inundación y lagos (17). La alta cantidad de SST aportado actualmente por los ríos al sistema del lago, está asociada a la erosión de la tierra y al canal del río, así como al transporte de nutrientes y otros indicadores de calidad de agua los cuales son un factor a tomar en cuenta en las actividades de recu-

peración y manejo de los mismos, dado que los mismos contribuyen al proceso de eutrofización del sistema y el aporte de agua de los ríos es un factor importante en la hidrodinámica y ecología del lago.

### Conclusión

Los aportes promedios de DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrógeno total y fósforo total, representan cargas de nutrientes que aceleran la eutrofización del Lago, estos ríos aportan 1.188,15 m<sup>3</sup>/seg al Lago, siendo el río Catatumbo el mayor contribuyente.

El promedio de la relación molar N/P es igual a 16,05; indicando que el fósforo es el nutriente limitante.

El estudio estadístico demostró que los parámetros evaluados presentaron diferencias significativas entre los ríos ( $p < 0,05$ ).

Los ríos están contaminados bacteriológicamente.

El aporte de carga másica de los parámetros evaluados contribuyen en el proceso acelerado de eutrofización del Lago de Maracaibo.

## Referencias Bibliográficas

1. PARRA PARDI G. **Estudio Integral sobre la Contaminación del Lago de Maracaibo y sus afluentes. Parte II. Evaluación del Proceso de Eutrofización.** MARNR (Venezuela), pp. 222, 1979.
2. PARRA PARDI G. **La Conservación del Lago de Maracaibo. Diagnóstico Ecológico y Plan Maestro. Publicación de LAGOVEN S.A.,** Caracas (Venezuela), pp. 86, 1986.
3. PARRA PARDI G. **Recolección de Datos de Calidad de Aguas y Sedimentos del Lago de Maracaibo.** 1<sup>er</sup> Informe Trimestral de ESCAM para el ICLAM Contrato N° 94/02/02, 1994.
4. FUENMAYORA. **"Evaluación efectuada a los Sistemas de Tratamiento de Efluentes de Origen Industrial, ubicados en el Estado Zulia"** Informe Técnico ICLAM, pp. 24, 1989.
5. GUTIÉRREZ J. **Estudio de la distribución de nitrógeno y fósforo total en época de lluvia y época seca en aguas del Río Catatumbo** (Tesis de grado). La Universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela), pp. 70, 1995.
6. FRASER A., MEYBECK M., ONGLEY E. **"Water Quality of World River Basins"** Environmental Canada on behalf of UNEP and WHO. Nairobi, Kenya, 1995.
7. MARGALEF R. **Ecología**, Editorial Planeta, España, pp. 551, 1981.
8. CARPENTER S.R., CARAO N.F., CORRELL D.L. HOWARTH R.W., SHARPLEY A.N., SMITH V.H. **Ecological Applications** 8(3): 559-568, 1998.
9. GARDER W., CARALETTO J., BOOSTMA H., LAURENTYER P., TRONCONE F. **Limnol Oceanogr** 43 (8): 1918-1925, 1998.
10. PALMA B. **Distribución espacial de la flora y vegetación acuática y palustre del estero de Marga**- Marga en Chile Central." Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Chile, 1986.
11. DIAZ A. **Soluciones al Problema de la Lemna II.** Jornadas Científicas de la Facultad de Ingeniería, Maracaibo (Venezuela), Noviembre 2004.
12. HERMAN DE BAUTISTA S. **Proceso de Salinización en el Lago de Maracaibo.** ICLAM -CORPOZULIA, Venezuela, pp. 109, 1997.
13. SUTTON E., ET AL. **Study of Effects of Oil Discharges and Domestic and Industrial Wastewater in the Fisheries of Lake Maracaibo,** Venezuela. Vol I. Ecological Characterization and Industrial Wastes. (1974):Vol. II. **Fate and Effects of oil. Battelle Pacific North West Laboratories,** Washington (USA), W. L. Templeton, Editor, 1976.
14. GORDON N., MCMAHON A., FINLAYSON B. **Stream hidrology: An introduction for ecologist.** John Willey & Sons, Chichester, pp. 526, 1992.
15. APHA. **Standard Methods for the examination of Water and Wastewater.** 18<sup>th</sup>. Apha. Washington. DC (USA), pp. 1-5, 1995.
16. CRG INGENIERÍA. **Estudio de Balance Hidrológico del Lago de Maracaibo.** Informe Técnico ICLAM, pp. 106, 1994.
17. MOSS B. **Ecology of fresh water. Man and medium.** Blackwell Science Oxford, 2da ed., 1992.