
NITRÓGENO Y FÓSFORO TOTALES DE LOS RÍOS TRIBUTARIOS AL SISTEMA LAGO DE MARACAIBO, VENEZUELA

ZULAY RIVAS, JOSÉ SÁNCHEZ, FEDERICO TRONCONE,
RÓMULO MÁRQUEZ, HILDA LEDO DE MEDINA, MARINELA COLINA
y ELIZABETH GUTIÉRREZ

RESUMEN

Los nutrientes primarios nitrógeno y fósforo son constituyentes de los fertilizantes, detergentes y de las descargas de aguas residuales domésticas e industriales. En Venezuela, esas descargas a los ríos y al Lago de Maracaibo causan enriquecimiento por nutrientes y minerales, originando una eutrofización secundaria en los ríos o en las aguas retenidas en las desembocaduras. El Sistema Lago de Maracaibo es una cuenca de singular importancia debido a sus recursos energéticos, biodiversidad y gran número de organismos acuáticos, los cuales representan un importante recurso económico para el país. Sin embargo, las actividades agropecuarias, mineras e industriales desarrolladas en la cuenca han modificado las características físicas, químicas y biológicas de sus aguas y suelos, originando un acelerado proceso de

eutrofización, así como la aparición de densas poblaciones de una macrófita invasora acuática, causando impactos sociales, ambientales y económicos. Fueron evaluadas las subcuencas de los ríos Limón, Palmar, Santa Ana, Catatumbo, Escalante, Chama, Motatán, Misoa, Machango y Pueblo Viejo. Estos aportan el 80% de agua dulce al Lago de Maracaibo, siendo que el Río Catatumbo aporta el 60% del caudal. El promedio de nitrógeno y fósforo totales de los ríos que drenan al lago fue 1,20 y 0,84mg·l⁻¹, respectivamente, contribuyendo significativamente con el proceso de eutrofización. Así mismo, la expansión de las fronteras agrícolas ha provocado deforestación, erosión y contaminación, afectando el paisaje y la disponibilidad de agua, y produciendo un aumento de los nutrientes en el Lago de Maracaibo.



na cuenca hidrográfica es un área de la superficie terrestre drenada por un único sistema fluvial; sus límites están formados por las divisorias de aguas que las separan de zonas adyacentes pertenecientes a otras cuencas fluviales. El tamaño y forma de la cuen-

ca viene determinado generalmente por las condiciones geológicas del terreno. El patrón y densidad de las corrientes y ríos que drenan este territorio no solo dependen de su estructura geológica, sino también del relieve de la superficie terrestre, el clima, el tipo de suelo, la vegetación y cada vez en mayor medida,

de las repercusiones de la acción humana en el medio ambiente de la cuenca (Bradford y Peters, 1987).

El caudal drenado por los ríos al lago es el principal factor que controla la química del agua, principalmente por la dilución (Fraser *et al.*, 1995; Margalef, 1981), siendo los nu-

PALABRAS CLAVE / Eutrofización / Lago de Maracaibo / Nutrientes / Ríos / Venezuela /

Recibido: 03/02/09. Modificado: 14/02/2009. Aceptado: 20/04/2009.

Zulay del Carmen Rivas Varela. Ingeniera Química, Universidad de los Andes (ULA), Venezuela. Master en Ingeniería Ambiental y en Química, La Universidad del Zulia (LUZ), Venezuela. Investigadora, Instituto para el Control y la Conservación del Lago de Maracaibo (ICLAM), Venezuela. Dirección: División de Calidad de Agua, ICLAM, Maracaibo, Venezuela. e-mail: zrivass@iclam.gov.ve

Federico Troncón. Licenciado en Biología Marina y M.Sc. en Ciencias Ambientales, LUZ, Venezuela. Jefe de la División Calidad de Agua, ICLAM; Venezuela. e-mail: ftroncone@iclam.gov.ve

José Sánchez. Licenciado en Química y M.Sc. en Ciencias Ambientales, LUZ, Venezuela. Profesional 1, ICLAM, Venezuela. e-mail: jsanchez@iclam.gov.ve

Rómulo Jesús Márquez Ríos. Estudiante de Biología, LUZ, Venezuela. Asistente, ICLAM, Venezuela. e-mail: rmarquez@iclam.gov.ve

Hilda Ledo de Medina. Licenciada en Química, Universidad Central de Venezuela. Postgrado en Ingeniería Ambiental, LUZ, Venezuela. Cursante de Doctorado, Universidad de Córdoba, España. Profesora, LUZ, Venezuela. e-mail: hild@cantv.net

Marinela Colina. Ingeniera Química (1979), M.Sc. en Ingeniería Ambiental, LUZ, Venezuela. Ph.D. en Química Analítica Ambiental, Sheffield Hallam University, RU. Profesora, LUZ, Venezuela. e-mail: mcolina@luz.edu.ve

Elizabeth Gutiérrez. Farmacéutica, ULA, Venezuela. M.Sc. en Química Analítica, University of Southern Mississippi, EEUU. Profesora, LUZ, Venezuela. e-mail: elizabethgutierrez4@hotmail.com

trientes originados por fuentes puntuales (explotación agrícola y pecuaria, zonas boscosas, pantanosas y sin uso), no puntuales (descargas domésticas, industriales) o bien una combinación de ellas (Parra, 1979).

El Sistema Lago de Maracaibo es una cuenca de singular importancia debido a sus recursos energéticos (petróleo, gas natural), la biodiversidad y el gran número de organismos acuáticos que en él se encuentran, en especial recursos pesqueros muy diversos tales como el camarón (entre los que se distinguen *Penaeus notialis* y *P. subtilis*); los peces de mayor importancia, que son la curvina (*Cynoscion acoupa*), lisa (*Mugil* sp.), bocachico (*Prochilodus reticulatus*), manamana (*Anodus laticeps*), los bagres: paletón (*Sorubim* sp.), toruno (*Perrunichthys perruno*), malarino (*Platysilurus malarino*), doncella, (*Ageniosus* sp.), mariana (*Doraps zuloagai*) y blanco (*Arius* sp.), así como también el cangrejo azul (*Callinectes* sp.), los cuales representan una importante fuente de recursos económicos para Venezuela (Parra, 1997). Sin embargo, las diferentes actividades agropecuarias, mineras (carbón) e industriales (lácteas y metal-mecánica, entre otros) desarrolladas en la cuenca del lago han originado un proceso acelerado de eutrofización (Parra, 1979).

Los ríos, lagos o embalses sufren eutrofización cuando sus aguas se enriquecen con nutrientes, siendo los fosfatos y nitratos los que más influyen en este proceso. En algunos ecosistemas el factor limitante es el fosfato, como sucede en la mayoría de los lagos de agua dulce. El límite para aguas no contaminadas para el fósforo total es de $0,005\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Wetzel, 1981). El concepto de nutriente limitante está basado en el crecimiento de plantas acuáticas y la relación molar N/P. El valor de esta relación la determina el nutriente limitante en el cuerpo de agua. Así el nutriente que controla la máxima cantidad de biomasa es aquel que se consume primero o que alcanza un mínimo antes que los demás nutrientes en la estequiometría de la reacción. Como regla general se considera que cuando la relación molar N/P es >16 , cabe esperarse que el P sea el factor limitante. Cuando $N/P = 16$ ninguno de los nutrientes es limitante; es decir, ambos elementos constituyen la proporción atómica en el fitoplancton, y cuando $N/P < 16$, el nutriente limitante debería ser el N; es decir, que el N es menos abundante que el P con respecto a la demanda metabólica del fitoplancton (Redfield, 1958).

Las subcuencas de los ríos que drenan al Lago de Maracaibo han presentado problemas tales como la contaminación de las fuentes de agua y suelos destinadas al uso urbano y agrícola, producto del uso excesivo de plaguicidas y del manejo inadecuado de aguas servidas, desechos sólidos y tóxicos. También han sufrido por la intervención de las cuencas altas y de las zonas protectoras, que han causado una disminución del caudal y la extensión de la frontera agrícola, provocando la extinción de flora y fauna, así como el desvío de las aguas. Los ríos Limón, Palmar, Apón, Santa Ana, Catatumbo, Escalante, Chama, los de la Panamericana, Motatán, Misoa, Machango y Pueblo Viejo, entre otros, constituyen descargas puntuales que contribuyen con el 80% de agua dulce al lago, 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 (Parra, 1979). El objetivo de esta investigación fue evaluar los aportes de N y P total de los ríos tributarios al Sistema Lago de Maracaibo, realizado en diferentes épocas (lluvia y sequía) y años, mediante la recopilación de información obtenida en investigaciones anteriores (Parra, 1979; Rivas, 1997; Troncone, 2005).

Área de Estudio

El Sistema del Lago de Maracaibo es de gran importancia económica para Venezuela por sus riquezas naturales y posee una superficie de $\sim 121823\text{km}^2$, 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 último tiene una extensión de $\sim 12958,42\text{km}^2$ y está conformado por el Golfo de Venezuela, la Bahía el Tablazo, el Estrecho de Maracaibo, el Lago propiamente dicho y los ríos tributarios (Parra, 1979; Herman de Bautista, 1997). El Lago de Maracaibo es una gran depresión rodeada de montañas y desemboca en el Golfo de Venezuela (Mar Caribe) a través de un estrecho de 40km de largo, 5-7km de ancho y 15m de profundidad; esto último, como consecuencia del dragado del canal de navegación, a través del cual penetra agua salina a este cuerpo de agua (Sutton, 1976).

El área de estudio está delimitada desde el Río Limón, siguiendo por la costa occidental hasta Pueblo Viejo, ubicado en la costa oriental, entre $10^{\circ}21'$ y $9^{\circ}58'N$, y entre

$72^{\circ}14'$ y $71^{\circ}12,7'O$. Las subcuencas de los ríos que drenan al Lago de Maracaibo son: Limón (drena a la bahía El Tablazo), Apón, Palmar, Santa Ana, Catatumbo, Escalante, Chama, Motatán, Misoa, Machango, Pueblo Viejo, entre otros. El caudal aportado por estos ríos es mayor en aquellos del sur del lago que en los de la zona norte. La captación de las muestras de agua se realizó en estaciones de muestreo ubicadas cercanas a la desembocadura de cada río al Lago (Figura 1).

Métodos

Los análisis de fósforo total fueron realizados por el método de ácido ascórbico, el análisis de nitrógeno total es la suma de los análisis de nitrato (reducción de la columna de Cd) y N-Kjeldahl (APHA, 1995). El caudal se determinó por el método de sección transversal (Gordon *et al.*, 1992).

Resultados y Discusión

La cuenca del Río Limón está ubicada en la parte noroccidental del estado Zulia, Venezuela, y abarca los municipios Mara y Páez. El río se forma por la unión de los ríos Guasare, Socuy y Cachirí. En su parte baja, el Río Limón forma un área cenagosa dando origen a una serie de lagunas, entre ellas la de Sinamaica, que desembocan en la Bahía de Urubá, al norte del Lago de Maracaibo. La Laguna de Sinamaica experimenta marcadas variaciones temporales en la salinidad, presentando aguas dulces durante el periodo de lluvia y aguas oligohalinas en periodo de sequía, así como también la reducción de su espejo de agua y una mayor intrusión de la cuña salina debido a la reducción del caudal de los ríos afluentes. El caudal promedio para el periodo 1974-1991 fue de $89,55\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ en la estación el Limón, ubicada en la población de Carrasquero. En la estación La Boquita (Laguna de Sinamaica) en 1990 las concentraciones de fósforo total y nitrato fueron de 0,02 y $0,04\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, respectivamente (ICLAM, 1991). En el periodo 1996-1997 (Barboza, 1999) la concentración se triplicó para el caso de fósforo total ($0,06\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) y para el caso de nitrato se duplicó ($0,08\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Los valores de P total sobrepasan en 12 veces los límites establecidos para aguas no contaminadas (Wetzel, 1981), lo cual puede estar relacionado con las descargas de aguas servidas de las poblaciones asentadas en el interior de la laguna. El nitrato esta relacionado con la presencia de es-

pecies de mangle, fitoplankton y otras macrófitas que permiten la absorción de este nutriente.

El *Río Guasare* nace en la parte alta de la cordillera montañosa de la Sierra de Perijá, en el sector Cerro Pintado, en el límite con Colombia. Es el principal afluente del Río Limón, con un área tributaria de 2095km² y un caudal medio de 52m³·s⁻¹. Nace a una altura de 3000msnm, posee una longitud de cauce de 191km, y se encuentra a unos 120km al noroeste de la ciudad de Maracaibo. En la cuenca del Río Guasare, existe un desarrollo minero-industrial para la explotación del carbón, el cual es de óptima calidad debido, entre otras razones, a su bajo contenido en cenizas y azufre, y a su alto contenido calórico. Las reservas de carbón de la zona están estimadas en 1,8×10⁸Tm. Esta cuenca presenta un aumento de la producción de sedimento por la intervención de las cuencas altas y medias, así como de un acelerado desarrollo agrícola (Soto, 1998). El caudal promedio para el periodo 1974-1991, fue de 159,42m³·s⁻¹, en la estación El Carbón, ubicada en el Campamento del MARN en el Río Guasare.

La subcuenca del *Río Palmar* forma parte de la altiplanicie de Maracaibo, al sur de la región noroccidental y forma sistemas aluviales. Posee un área de 2758km² y esta ubicada entre 72°23' y 72°45'O y entre 10°20' y 10°43'N. Su principal afluente es el Río Lajas. En el periodo 1974-1976 el Río Palmar presentó un caudal de 3m³·s⁻¹, con un promedio de fósforo total de 0,90mg·l⁻¹ y de nitrógeno total de 1,01mg·l⁻¹ (Parra, 1979). Los valores de P total sobrepasan 180 veces los límites establecidos para aguas no contaminadas (Wetzel, 1981), lo cual puede estar relacionado con la intensa actividad agropecuaria en la zona.

La subcuenca del *Río Apón* abarca un área de 1721km² y esta ubicada entre 72°04'-72°57'O y 9°50'-10°26'N. En el periodo 1974-1976 este río presentó un caudal de 4,0m³·s⁻¹ con una concentración de N y P totales de 0,67 y 0,65mg·l⁻¹, respectivamente. Para el año 1987 el caudal fue de 2,3m³·s⁻¹, con concentraciones de 3,25 y 0,19mg·l⁻¹ de N y P total, respectiva-

mente (Parra, 1979; ICLAM, 1987). Al comparar los resultados obtenidos en los dos periodos de muestreo se observa que los valores de nitrógeno total se han incrementado en un 336%, mientras que el caudal ha disminuido en un 58% y el fósforo en un 29%, con relación al periodo 1974-1976. Estos cambios son debidos probablemente a la intensa actividad agropecuaria que se desarrolla en la zona.

La subcuenca del *Río Santa Ana* está ubicada en la zona suroccidental del Lago de Maracaibo, constituida por planicies aluviales y cenagosas. Cubre un área de 2154km² y sus principales afluentes son los Ríos Aricuaia, Lora, Negro, Tocuro, Santa Rosa y Yasa. En la Tabla I se muestran los resultados obtenidos en muestras de agua en diferentes estudios, pudiéndose observar una variación de los mismos con el transcurrir del tiempo, con tendencia a disminuir el N total y a aumentar el P, que puede ser producto de las aguas de escorrentía proveniente de los ríos afluentes y de la Ciénaga de

Juan Manuel de Aguas Claras.

La subcuenca del *Río Catatumbo* es transfronteriza. Nace en la parte nororiental de Colombia y abarca 77% del área del Departamento del Norte de Santander, para luego cruzar el territorio colombiano y venezolano en dirección noreste hasta su desembocadura en el Lago de Maracaibo, abarcando parte de los estados Táchira y Zulia de Venezuela. Geográficamente se encuentra ubicada entre 72°45'00" y 73°26'19"O y entre 7°46'30" y 9°31'05"N. El sistema Catatumbo² abarca un área de 25565km², de los cuales 16243km² se ubican en Colombia y se divide en tres grandes subcuencas: la del Río Zulia, la de los ríos Tarra-Socuavo y la del Río Catatumbo (Rivas, 1997).

Esta cuenca presenta, en el sector venezolano, una serie de problemas que afectan su calidad entre los cuales están el uso excesivo e incontrolado de las aguas, la deforestación de la cuenca alta y media ocasionando una disminución del caudal del río, el desarrollo agroindustrial y el uso indiscriminado de plaguicidas, y los derrames de petróleo a través de los ríos Tarra y Catatumbo. Ello conlleva un descenso de la actividad pesquera y la contaminación de sus aguas. En la Tabla I se señalan los resultados obtenidos en el Río Catatumbo, en la estación ubicada en el sector Tasajera, en el periodo 1976-2004. Se puede observar una variabilidad de los resultados en el tiempo, con una tendencia a disminuir la concentración del P total y del caudal y a aumentar las concentraciones de N total. Los promedios para los valores de la tabla son de 537m³·s⁻¹ para el caudal, de 1,24 ±0,26mg·l⁻¹ para N total y de 0,59 ±0,51mg·l⁻¹ para P total. Este último es 118 veces el límite establecido para aguas no contaminadas (Wetzel, 1981).

El Río Catatumbo ha sido afectado por los derrames de petróleo provenientes de la voladura del oleoducto Caño Limón-Coveñas, desde 1988 hasta enero de 2006, ingresando a territorio venezolano ~161485bbl de petróleo a través de los ríos Tarra y Catatumbo, ocasionando daños a la población ribereña que se surte del río, así

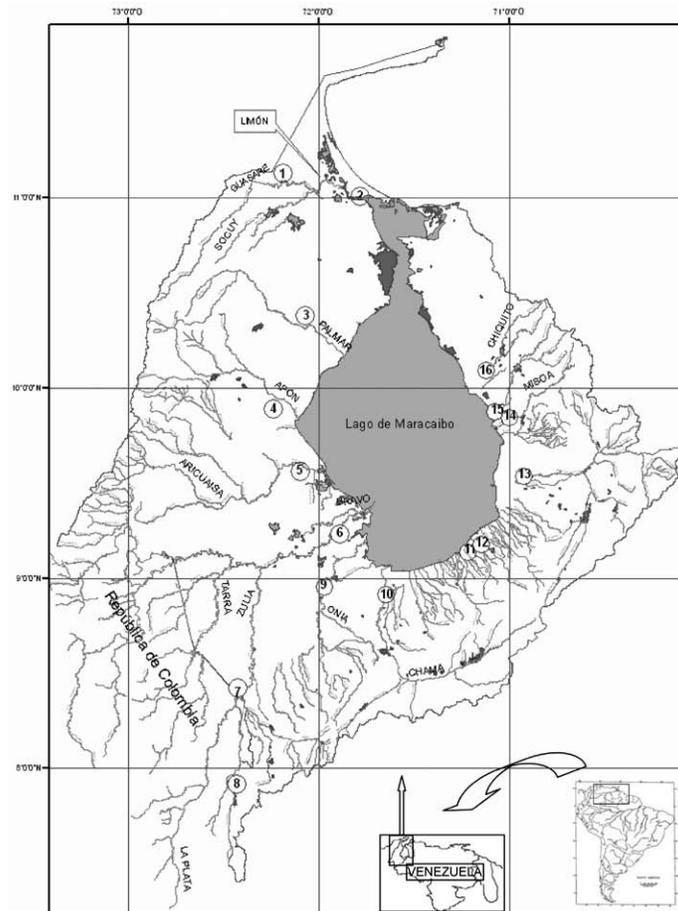


Figura 1. Ríos que drenan a la Cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela. 1: Guasare, 2: Sinamaica-La Boquita, 3: Palmar, 4: Apón, 5: Santa Ana, 6: Catatumbo, 7: Zulia, 8: Táchira, 9: Escalante, 10: Chama, 11: San Pedro, 12: Torondoy, 13: Motatán, 14: Misoa, 15: Machango, 16: Pueblo Viejo.

TABLA I
RESULTADOS PROMEDIO OBTENIDOS EN LOS
RÍOS SANTA ANA, CATATUMBO, ZULIA,
ESCALANTE, CHAMA Y MOTATÁN

Año	Caudal (m ³ ·seg ⁻¹)	Nitrógeno total (mg·l ⁻¹)	Fósforo total (mg·l ⁻¹)
Río Santa Ana ¹			
1976-78	71	0,98	0,89
1996	276	0,23	0,88
1997	136	0,22	0,92
1998	172	0,19	1,94
2004	*	0,22	2,35
Río Catatumbo ²			
1976-1978	636	1,50	1,56
1996	665	1,58	0,76
1997	381	1,30	0,36
1998	664	0,80	0,18
2001	481	1,09	0,26
2002	721	1,19	0,20
2004	445	1,42	0,24
Río Zulia ³			
1982	285	0,68	1,27
1987-1989	181,6	6,53	0,44
1997	95,4	2,04	0,46
2001	179,1	1,55	0,31
2002	102,6	1,21	0,18
Río Escalante ¹			
1976-1978	43	1,48	2,40
1996	74	2,55	0,99
1997	34	2,08	0,36
1998	28	1,69	0,44
2004	*	1,71	0,50
Río Chama ¹			
1976-1978	42	3,41	2,62
1996	68	1,85	1,24
1997	42	2,51	0,50
1998	52	1,89	0,78
2004	*	1,86	0,45
Río Motatán ¹			
1976-1978	21	1,83	2,62
1996	38	1,41	1,08
1997	22	1,19	0,21
1998	40	1,67	0,51
2004	*	1,20	<0,01

* No hay datos disponibles.

¹ Fuentes: Parra, 1979; Rivas, 1997; Rivas *et al.*, 2005b; Troncone (2005).

² Fuentes: Parra, 1979; Rivas, 1997; Rivas *et al.*, 2005b, 2006; Troncone (2005).³ Fuentes: ICLAM (1983); Vanegas (1992); Rivas (1998).

como a las actividades socio-económicas, agrícolas y pecuarias desarrolladas en la zona (Rivas *et al.*, 2005a).

Una consecuencia de los sucesivos derrames de petróleo en la cuenca del Río Catatumbo, es el deterioro ecológico progresivo del ecosistema de los ríos y por ende del Lago de Maracaibo, debido a que han alterado la calidad fisicoquímica de las aguas y el sedimento, afectando especies de peces comerciales (manamana,

bagre pintado, bagre paleón, bocachico, pánpano), siendo la actividad pesquera fuente de alimento y de trabajo para los pobladores de la zona. Así mismo, los derrames han causado un impacto de baja intensidad en la vegetación de la zona, afectando árboles tales como *Anacardium excelsum* (caracoli), *Hura crepitans* (jabillo) y *Bellucia grossularioides* (pomarosa) por presentar raíces muy cercanas al cauce. Las concentraciones de hidrocarburos, tanto en agua, sedimento y biota, indican un proceso de bioacumulación en el tiempo (Rivas *et al.*, 2005a).

El Río Zulia nace en la vertiente septentrional del Páramo de Santurbán, al oeste del Tamá, en Colombia, a 3500msnm y tiene un recorrido de 310km, el cual desemboca en el Río Catatumbo, en el sector denominado Boca del Grita. Entre sus principales afluentes se encuentran por su margen derecha los ríos Grita, Oropé, Táchira y Pamplonita, y por su margen izquierda el Río Peralonzo, Río Salazar, Caño Motilón, Caño Medio, Río Arboledas y Madre Vieja del Río Tarra. Las aguas servidas de las poblaciones que descargan al Río Zulia no cuentan con ningún tipo de tratamiento, siendo los ríos y las quebradas que cruzan el área los receptores de esas aguas servidas. El Río Táchira en primer lugar y los ríos Grita y Lobaterita atraviesan actualmente por un proceso de contaminación, generada por actividades humanas

que vienen deteriorando los recursos naturales, produciendo contaminación de las aguas por disposición de aguas servidas de origen doméstico e industrial, utilización de productos químicos (biocidas y fertilizantes), desechos sólidos, contaminación atmosférica, deterioro del suelo en las cuencas Altas, Medias y Bajas, y destrucción de vegetación (Mindefensa, 1994), lo cual constituye un aspecto importante para la Cuenca del Río Zulia. Considerando

lo anterior, en la Tabla I se presentan los resultados obtenidos en diferentes estudios del Río Zulia en puente Venezuela, en la cuenca media del Río Catatumbo. Se aprecian resultados variables en este río, con promedios de 168,7m³·s⁻¹ para el caudal, de 2,4mg·l⁻¹ para el N total y de 0,5mg·l⁻¹ para el P total (Rivas, 1997; ICLAM, 1983; Vanegas, 1992; Rivas, 1998). Esto es producto de las descargas de aguas domésticas provenientes de las poblaciones aledañas, especialmente la ciudad de Cúcuta en Colombia y de la actividad agropecuaria que se desarrolla en la zona (Mindefensa, 1994).

El Río Táchira, en la estación situada antes de la descarga al Río Pamplonita, en Colombia (7°55'50,1"N-72°28'57,3"O) presentó altas concentraciones de N total (11,45mg·l⁻¹) y P total (0,69mg·l⁻¹) en comparación a las obtenidas en el Río Zulia, del cual es afluente. Esto es consecuencia de un conjunto de problemas provenientes de las poblaciones fronterizas de Colombia y Venezuela, principalmente el uso inadecuado de la tierra y del recurso hídrico, que conlleva a la degradación de los suelos y la ocurrencia de una alta disminución del caudal en la época seca y desbordamiento en la época de lluvia. La actividad agrícola es uno de los factores que incide en la erosión de los suelos (Rivas, 1998).

La subcuenca del Río Escalante está ubicada en la parte suroccidental del Lago de Maracaibo, formada por planicies aluviales de desbordamiento y zonas de sedimentación, formando curvas y meandros, lo cual facilita la gran inestabilidad del río y los frecuentes cambios laterales de sus afluentes. Los principales afluentes son los ríos Onia y Morotuto, y los caños El Padre, Cañón, La Yuca y Umuquema. El río drena un área de 5070km² desde su nacimiento hasta la desembocadura al lago. En la Tabla I se presentan los resultados obtenidos, durante los diferentes estudios, siendo el promedio de los caudales de 44,8m³·s⁻¹, y los promedios de N y P totales de 1,9 y 0,9mg·l⁻¹, respectivamente.

La subcuenca del Río Chama está ubicada en la parte sur del Lago de Maracaibo. Nace en Piedras Blancas, recorre unos 200km a lo largo de la cordillera de los Andes hasta la desembocadura al Lago de Maracaibo, formada por sistemas aluviales muy particulares. Los principales afluentes son los ríos Mocotíes, Las González, Albarregas y Mucujún. Esta cuenca drena un área de 3552km². En la Tabla I también se muestran los resultados

obtenidos en el Río Chama de diferentes estudios. El promedio de los caudales es de $51\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ con un comportamiento uniforme a través del tiempo, y los promedios de N y P totales fueron de 2,3 y $1,1\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ respectivamente, con tendencia a disminuir.

El grupo de ríos de la Zona Panamericana está conformado por los ríos Mucujepe Capaz, Frío, Pino, San Pedro, Torondoy, Poco y Gaus. Los valores obtenidos en el periodo de 1974-1976 en los ríos San Pedro y Torondoy fueron de $0,48-0,69\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ para nitrógeno total y $0,43-1,25\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ para fósforo total (Parra, 1979). En el Río Torondoy los valores encontrados en 2005 fueron 1,40 y $0,17\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ para nitrógeno y fósforo totales, respectivamente (ICLAM, 2005a, b); para este último río tuvo lugar un aumento del 203% en el N total y una disminución del 14% en el P, con respecto al periodo 1974-1976.

La subcuenca del Río Motatán está ubicada en la parte suroccidental del lago, en el Estado Trujillo, Venezuela. Los principales afluentes son los ríos Monaquito, Jiménez, Momboy, Carache y Castán, y cubre un área de 4847km^2 entre los estados Mérida y Trujillo. El Río Motatán nace en el Páramo de Mucuchíes, a 4077msnm ; en su parte alta recorre un valle de origen glacial, desciende a 3000msnm y recibe las aguas del Río Momboy. Recorre 70km hasta alcanzar la población de Valera, donde incrementa sus aguas con la afluencia del río Escuque. En Agua Viva el río fue represado y recibe al río Monay o Carache, que desemboca en el embalse de Agua Viva. A partir de este embalse, el río Motatán se dirige directamente al Lago de Maracaibo, atravesando los llanos de El Cenizo, los cuales son un producto de aluviones, y recibe como tributario al Río Vichú. El Motatán desemboca en el lago a través de un área de ciénagas. En la Tabla I se presentan los resultados obtenidos en diferentes estudios en la estación Puente Hierro en el río Motatán, siendo los promedios para N y P totales de $1,53 \pm 0,28$ y de $1 \pm 1,05\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, respectivamente.

Los resultados obtenidos de los ríos Misoa, Machango y Pueblo Viejo, en la Costa Oriental del Estado Zulia, Venezuela, fueron 0,68; 1,55 y $1,64\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ para el N total, y 1,48; 1,08 y $0,84\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ para el P total

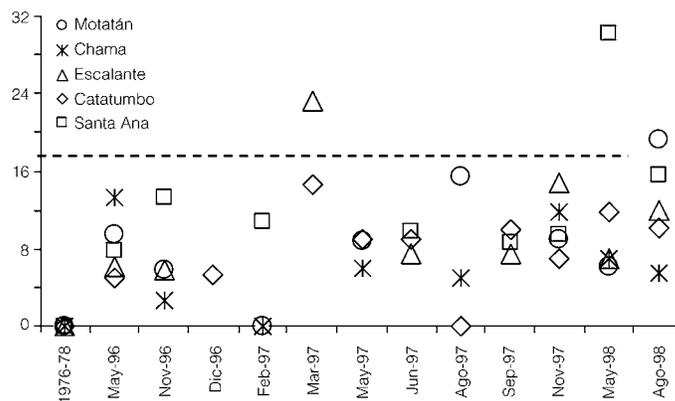


Figura 2. Relación temporal N/P en los ríos del Sistema Lago de Maracaibo.

(Parra, 1979). Los valores de P total superan entre 296 y 168 veces el límite de $0,005\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ establecido para aguas no contaminadas (Wetzel, 1981).

Relación nitrógeno/fósforo

En la Figura 2 se muestra la variación de la relación molar N/P en función del tiempo, tomando para ello los diferentes promedios por año de los principales ríos. Se observa que en el período 1976-1978 (Parra, 1979), en todos los ríos se encontró al nitrógeno como limitante e, igualmente, en la mayoría de los muestreos realizados en todos los ríos en 1996-1998, este elemento se mantuvo como nutriente limitante. En la gráfica se incluye una línea interrumpida para denotar la relación $\text{N/P} = 16$. La mayoría de los puntos se encuentran por debajo de esta línea, lo cual indica que el nitrógeno es el nutriente limitante. La relación N/P en el lapso 1996-1998 es mayor que en el lapso 1976-1978. Este incremento obedece principalmente al incremento en la concentración de nitrógeno y en la mayoría de las mediciones hubo disminución de la concentración de fósforo. El incremento en la

concentración de nitrógeno puede deberse a diferentes factores, tales como la extensión de la frontera agrícola, la deforestación y la pérdida de cobertura vegetal de los suelos, mientras que la disminución de fósforo se debe a su fijación por reacciones químicas a los suelos.

Los bosques de la planicie aluvial sirven de protección al cauce de los ríos, facilitando el escurrimiento superficial y deteniendo la carga contaminante que consiguen a su paso por las áreas agrícolas vecinas al cauce, que originan deterioro en la calidad físico-química de estas aguas. De igual forma la falta de estos bosques puede originar un proceso erosivo que trae como consecuencia el lavado de los suelos, lo cual lleva a altas concentraciones de nitrógeno en el agua, debido a la falta de vegetación que lo pueda fijar, al igual que sucede con otros contaminantes (Soto, 1998).

Coefficiente de exportación

Los ríos afluentes al Lago de Maracaibo drenan nutrientes cuyo origen puede estar en fuentes puntuales (explotación agrícola y pecuaria, zonas boscosas, pantanosas y sin uso) o no puntuales (descargas domésticas, industriales). En la Tabla II se observan los resultados obtenidos de los coeficientes de exportación para nitrógeno y fósforo total (Parra, 1979; Rivas *et al.*, 2005b). Al comparar los coeficientes de exportación se observa un aumento del coeficiente de 1,36 veces para el nitrógeno total y una disminución de 2,9 veces para el fósforo total. Estas variaciones en el tiempo pueden estar asociadas a factores naturales y los tipos de suelos. Por otra parte, el incremento de nutrientes en los ríos se

TABLA II
EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE EXPORTACIÓN
DE LOS PRINCIPALES RÍOS TRIBUTARIOS*

Ríos	Área drenada	% de uso de la tierra		Nitrógeno total ($\text{kg}\cdot\text{km}^2\cdot\text{año}^{-1}$)		Fósforo total ($\text{kg}\cdot\text{km}^2\cdot\text{año}^{-1}$)	
		Agropecuarias (%)	Bosques, pantanos y sin uso (%)	1974-1976	1996-1998	1974-1976	1996-1998
Catatumbo	25565	34	66	1387	763,1	1448	269,4
Santa Ana	2154	21	78	922	3156,9	1019	533,4
Chama	3552	21	78	1271	992,0	976	437,8
Escalante	5070	65	35	396	619,9	641	162,7
Motatán	4847	35	65	250	253,8	358	118,3
Suma				4226	5785,7	4442	1521,6

* Fuentes: Parra, 1979; Rivas *et al.*, 2005b.

TABLA III
CARGA MÁSCICA TOTAL DE LOS PRINCIPALES RÍOS TRIBUTARIOS*

Ríos	Año					
	1976-1978		1996-1998		2001-2002	
	Nitrógeno total	Fósforo total	Nitrógeno total	Fósforo total	Nitrógeno total	Fósforo total
	(T/día)					
Santa Ana	5,44	6,01	18,63	3,15	**	**
Catatumbo	82,22	85,8	53,45	18,87	71,41	13,44
Escalante	5,5	8,9	8,61	2,26	**	**
Chama	12,37	9,5	9,65	4,26	**	**
Motatán	3,32	4,762	3,37	1,57	**	**
Suma	108,85	114,972	93,71	30,11	**	**

* Fuentes: Parra, 1979; Rivas *et al.*, 2005b, 2006.

** Estos ríos no fueron muestreados para el periodo 2001-2002.

puede atribuir a los suelos del tipo cuaternario, los cuales por su característica geológica tienden a acumular compuestos formados por la producción primaria autóctona, así como la deforestación de las cuencas altas y las descargas provenientes de las aguas domésticas y escurrentía.

Cargas máscicas

En la Tabla III se presentan los resultados de las cargas máscicas de los principales ríos tributarios obtenidos en diferentes estudios. En el Río Catatumbo se observa variabilidad de las cargas, con tendencia a disminuir tanto en el nitrógeno como en el fósforo total. Al comparar las cargas máscicas de los principales ríos, se aprecia un aumento de la carga del nitrógeno total en los Ríos Santa Ana y Escalante y una disminución en la carga del fósforo total en todos los ríos. En general, la carga máscica tiende a disminuir en 0,86 y 0,27 veces en nitrógeno y fósforo total, respectivamente. Moss (1992) señaló que la perturbación de la vegetación y suelos por la agricultura lleva a una mayor pérdida de nitrógeno que de fósforo, principalmente debido a que este último es fijado a los suelos por reacciones químicas, siendo los compuestos nitrogenados relativamente solubles y de fácil movilización.

Relación con valores en el Lago de Maracaibo

Los valores promedio obtenidos en zonas cercanas a la desembocadura de los ríos, en el Lago de Maracaibo durante el periodo de 1996-2004 (Troncone, 2005) fueron de 0,77 \pm 0,11mg·l⁻¹ para el nitrógeno total y de 0,51 \pm 0,07mg·l⁻¹ para el fósforo total. El promedio de nitrógeno y fósforo to-

tal de los ríos es de 1,20 \pm 0,24mg·l⁻¹ y de 0,84 \pm 0,11mg·l⁻¹, respectivamente, siendo el Río Chama el que aportó más nitrógeno y el Río Santa Ana el que aportó más fósforo. Welzel (1981) establece que para ríos no contaminados el límite del fósforo total es de 0,005mg·l⁻¹, observándose que los valores obtenidos en los ríos y en el lago son altos con relación al límite.

Conclusiones

Los ríos tributarios, que aportan diariamente el 80% de agua dulce al Sistema Lago de Maracaibo, acarrearán importantes cantidades de nitrógeno y fósforo al lago, favoreciendo el desarrollo de las macrófitas invasoras y el proceso de eutrofización del lago.

La expansión de las fronteras agrícolas ha provocado procesos de deforestación, erosión y contaminación, alterando el paisaje y la producción de agua, así como un aumento de los nutrientes que drenan al lago.

REFERENCIAS

APHA (1995) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18ª ed. American Public Health Association. Washington, DC, EEUU.

Barboza F (1999) *Influencia de los Intercambios de Agua en el Ecosistema Manglar del Río Limón. Isla San Carlos*. Tesis. La Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. 85 pp.

Bradford ME, Peters RH (1987) The relationship between chemically analyzed phosphorus fractions and bioavailable phosphorus. *Limnol. Oceanogr.* 32: 1124-1137.

Fraser A, Meybeck M, Ongley E (1995) *Water Quality of World Rivers*. Unep Environment Library N° 14. UNEP / WHO. Nairobi, Kenya. 40 pp.

Gordon N, McMahon A, Finlayson B (1992) *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*. Wiley. Chichester, RU. 526 pp.

Herman de Bautista S (1997) *Proceso de Salinización en el Lago de Maracaibo*. ICLAM / CORPOZULIA. Maracaibo, Venezuela. 110 pp.

ICLAM (1983) *Informe sobre los Muestreos Exploratorios Realizados en la Cuenca del Río Catatumbo*. Informe Técnico. ICLAM. Maracaibo, Venezuela. 20 pp.

ICLAM (1987) *Informe sobre la Caracterización Efectuada a las Aguas del Río Apón*. Informe Técnico. ICLAM. Maracaibo, Venezuela. 17 pp.

ICLAM (1991) *Estudio Preliminar de la Laguna de Sinamaica*. Informe Técnico. Convenio CORPOZULIA - ICLAM. Maracaibo, Venezuela. 78 pp.

ICLAM (2005a) *Diagnóstico Ambiental de la Cuenca del Lago de Maracaibo en el Edo. Táchira*. Informe Técnico. ICLAM. Maracaibo, Venezuela. 5 pp.

ICLAM (2005b) *Inspección Ambiental y Evaluación Físicoquímica y Bacteriológica del Efluente Líquido Final de la Empresa Industria Láctea Torondoy (INLATOCA) y Aguas del Río Torondoy*. Municipio Sucre. Estado Zulia (IC-2005-04-035).

Margalef R (1981) *Ecología*. Planeta. Barcelona, España. 1005 pp.

Mindefensa (1994) *Estudio Geográfico de la Cuenca del Río Catatumbo (Área Venezolana)*. Ministerio de la Defensa. Caracas, Venezuela. 222 pp.

Moss B (1992) *Ecology of Fresh Water. Man and Medium*. 2ª ed. Blackwell. Oxford, RU. 369 pp.

Parra P (1979) *Estudio Integral sobre la Contaminación del Lago de Maracaibo y sus Afluentes. Parte II. Evaluación del Proceso de Eutrofización*. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Caracas, Venezuela. 222 pp.

Parra R (1997) *Situación actual de la pesca artesanal en el Lago de Maracaibo*. Fonaiap Divulga N° 57. Maracaibo, Venezuela. 30-31 pp.

Redfield AC (1958) The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.* 46: 206-221.

Rivas Z (1997) Calidad de agua de los principales ríos de la cuenca. IV Cong. Interam. sobre el Medio Ambiente. Caracas, Venezuela. p. 81.

Rivas Z (1998) *Diagnóstico de la Calidad de las Aguas del Río Táchira, Pamplonita y Zulia*. Informe Técnico. Venezuela. pp 19 pp.

Rivas Z, Troncone F, Colina M, Ledo de Medina H (2005a) Contaminación de los ríos venezolanos Catatumbo y Tarra por derrames de petróleo provenientes de la República de Colombia. I Jornadas Técnicas de Conservación Ambiental. Caracas, Venezuela. p. 17.

Rivas Z, Márquez R, Troncone F, Sánchez J, Colina M, Hernández P (2005b) Contribu-

- ción de principales ríos tributarios a la contaminación y eutrofización del Lago de Maracaibo. *Ciencia* 13: 68-77.
- Rivas Z, Sánchez J, Troncone F, Márquez R, Colina M, Ledo de Medina H (2006) Evaluación físico química y bacteriológica del agua del río Catatumbo y sus afluentes, estado Zulia-Venezuela. *Ciencia* 14(Núm. Esp. 2): 252-262.
- Soto M (1998) *Estudio de la Dinámica Sucesional de las Diferentes Comunidades Vegetales Afectadas por la Explotación Carbonífera del Guasare*. Informe Técnico. ICLAM. Maracaibo, Venezuela. 110 pp.
- Sutton EA (1976) Study of effects of oil discharges and domestic and industrial wastewater in the fisheries of Lake Maracaibo, Venezuela. En Templeton WL (Ed.) *Fate and Effects of oil*. Battelle Pacific Northwest Laboratories. Richland, WA, EEUU. 84 pp.
- Troncone F, Ochoa E, Márquez R, Rojas J, Rivas Z (2005) Estudio de calidad del agua en el Lago de Maracaibo en relación al crecimiento masivo de la maleza acuática. VI Congreso Venezolano de Ecología. Maracaibo, Venezuela. p 110.
- Vanegas S (1992) *Estudio de la Calidad del Agua del Río Catatumbo y sus Afluentes*. Informe Técnico. ICLAM. Maracaibo, Venezuela. 10 pp.
- Wetzel R (1981) *Limnología*. Omega. Barcelona, España. 679 pp.

TOTAL NITROGEN AND PHOSPHORUS FROM TRIBUTARY RIVERS TO THE LAKE OF MARACAIBO SYSTEM, VENEZUELA

Zulay Rivas, José Sánchez, Federico Troncone, Rómulo Márquez, Hilda Ledo de Medina, Marinela Colina and Elizabeth Gutiérrez

SUMMARY

Nitrogen and phosphorus are primary nutrients, common constituents of fertilizers, detergents, and domestic and industrial wastewater discharges. These unloadings to rivers and subsequently to Lake Maracaibo cause nutrient and mineral enrichment, producing a secondary eutrophication on rivers and detained waters at deltas. Lake Maracaibo system is a basin of extraordinary importance because of its energetic resources, biodiversity and the wide number of aquatic organisms, which represents an important economic source for the country. However, activities being developed on the basin such as agricultural, cattle raising, mining and industrials, have modified the physical, chemical and biological characteristics of both water and soil generating an accelerated eutrophication process, as well as, the appearance of dense populations of the aquatic

weed Lemna obscura, generating social, environmental and economic impacts. The following river basins were evaluated: Limón, Palmar, Santa Ana, Catatumbo, Escalante, Chama, Motatán, Misoa, Machango and Pueblo Viejo. These rivers contribute with 80% of the freshwater to the Lake Maracaibo system, being the Catatumbo river contribution 60% of the volume. Total nitrogen and total phosphorus average of rivers that drain to the Lake, was 1.20 and 0.84 mg l⁻¹, respectively, contributing significantly with the process of eutrophication, that combined with the expansion of the agricultural borders, have caused deforestation, erosion and contamination, altering landscape and water availability, as well as an important increase of nutrients in Lake Maracaibo.

NITROGÊNIO E FÓSFORO TOTAIS DOS RIOS TRIBUTÁRIOS AO SISTEMA LAGO DE MARACAIBO, VENEZUELA

Zulay Rivas, José Sánchez, Federico Troncone, Rómulo Márquez, Hilda Ledo de Medina, Marinela Colina e Elizabeth Gutiérrez

RESUMO

Os nutrientes primários nitrogênio e fósforo são constituintes dos fertilizantes, detergentes e das descargas de águas residuais domésticas e industriais. Na Venezuela, essas descargas aos rios e ao Lago de Maracaibo causam enriquecimento por nutrientes e minerais, originando uma eutrofização secundária nos rios ou nas águas retidas nas desembocaduras. O Sistema Lago de Maracaibo é uma bacia de singular importância devido a seus recursos energéticos, biodiversidade e grande número de organismos aquáticos, os quais representam um importante recurso econômico para o país. No entanto, as atividades agropecuárias, mineiras e industriais desenvolvidas na bacia têm modificado as características físicas, químicas e biológicas de suas águas e solos, originando um acelerado processo de eutrofização,

bem como a aparição de densas populações de uma macrófita invasora aquática, causando impactos sociais, ambientais e econômicos. Foram avaliadas as sub-bacias dos rios Limón, Palmar, Santa Ana, Catatumbo, Escalante, Chama, Motatán, Misoa, Machango e Pueblo Viejo. 80% da água doce do Lago de Maracaibo é atribuída a estes rios, sendo que 60% da vazão provém do Rio Catatumbo. A quantidade média de nitrogênio e fósforo totais dos rios que drenam ao lago foi de 1,20 e 0,84mg.l⁻¹ respectivamente, contribuindo significativamente com o processo de eutrofização. Da mesma forma, a expansão das fronteiras agrícolas tem provocado desflorestação, erosão e contaminação, afetando a paisagem e a disponibilidade de água, e produzindo o aumento dos nutrientes no Lago de Maracaibo.