

## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CARBONO, NITRÓGENO Y FÓSFORO EN LA LAGUNA LAS PEONÍAS

Spatial distribution of C, N y P into Las Peonías lagoon

**Andreina Fernández<sup>1,2,3</sup>, Julio Marín<sup>1,\*</sup>, Johan Stella<sup>1</sup>,  
Janett Flores<sup>3</sup>, Elisabeth Behling<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Venezuela\*. <sup>2</sup>Centro de Investigación del Agua (CIA), Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Venezuela. <sup>3</sup>Departamento de Hidráulica, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Venezuela  
jmarin@fing.luz.edu.ve

### RESUMEN

Las lagunas costeras representan un hábitat natural para numerosas especies biológicas y una fuente de agua alternativa para la población humana. Usualmente, en sus cuencas se desarrollan una serie de actividades antropogénicas que reducen la calidad de sus aguas, mediante el vertimiento de grandes cantidades de nutrientes inorgánicos, como nitrógeno (N) y fósforo (P). El objetivo de esta investigación consistió en describir la distribución espacial de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), N-total y P-total en agua superficial de la laguna Las Peonías, considerando 10 estaciones de muestreo, distribuidas en el espejo de agua, caño Araguato y en las adyacencias de las cañadas Fénix e Iragorri, para dos muestreos realizados en el año 2016 (agosto y septiembre). Las muestras se colectaron manualmente y se analizaron de acuerdo con los métodos estandarizados. Los resultados muestran diferencias espaciales significativas ( $p < 0,05$ ) para DQO (118,52-2.074,07 mg/L) y P-total (1,01-4,23 mg/L), como consecuencia de fuentes contaminantes puntuales, particularmente provenientes de la cañada Iragorri. Los niveles de nutrientes encontrados son característicos de cuerpos de agua eutróficos, debido a la descarga de residuos asociados a actividades antropogénicas de su cuenca, lo cual repercute sobre la calidad de las aguas y limita su posible utilización.

**Palabras clave:** Eutroficación, Lago de Maracaibo, laguna costera, nutrientes, relación N/P.

### ABSTRACT

The coastal lagoons represent a natural habitat for many biological species and an alternative source of water for the human population. Usually, in its basins a series of anthropogenic activities are developed that reduce the quality of its waters, through the dumping of large amounts of inorganic nutrients, such as nitrogen (N) and phosphorus (P). The objective of this investigation was to describe the spatial distribution of biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), N-total and P-total in surface water of the Las Peonías lagoon, considering 10 sampling stations, distributed in the water mirror, Araguato pipe and in the vicinity of the Fénix and Iragorri glens, for two samplings carried out in 2016 (August and September). The samples were collected manually and analyzed according to standardized methods. The results show significant spatial differences ( $p < 0.05$ ) for COD (118.52-2.074.07 mg/L) and P-total (1.01-4.23 mg/L), as a consequence of point pollutant sources, particularly from the Iragorriglen. The levels of nutrients found are characteristic of eutrophic water bodies, due to the discharge of waste associated with anthropogenic activities in their watershed, which affects the water quality and limits its possible use.

**Keywords:** Coastal lagoon, eutrophication, Lake Maracaibo, nutrients, ratio N/P.

Recibido: 01/07/2017. Aceptado: 18/10/2017

## INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras son depresiones en la zona costera que tienen una conexión permanente o efímera con el mar, pero del cual están protegidas por algún tipo de barrera. Su conformación estructural resulta de la interrelación de varios ecosistemas como el manglar, el río, el mar, los manantiales y la vegetación acuática sumergida, entre otros. Reciben y acumulan en abundancia materia orgánica y nutrientes que provienen de diversas fuentes y son transportados por el mar, los ríos y las aguas subterráneas. Por esta razón, entre las condiciones fundamentales para conservar la biodiversidad de estos ecosistemas, está el mantenimiento de la conexión natural de sus fuentes de agua dulce y marina, la cual les confiere una alta variabilidad ambiental que a su vez se traduce en una alta productividad biológica, variedad de escenarios ambientales y alta biodiversidad (Esteves *et al.* 2008, Herrera-Silveira y Comín 2000).

La laguna Las Peonías pertenece a la zona costera del sistema Lago de Maracaibo, representa un componente vital para el área protegida del Parque Metropolitano Las Peonías, que ampara una alta diversidad de fauna y flora. Sin embargo, este cuerpo de agua ha sufrido un acelerado proceso de contaminación debido a la descarga continua de aguas residuales y desechos tóxicos producto de criaderos de animales, locales comerciales, entre otros (ICLAM 1988). Además, las aguas servidas de la mayor parte de la zona Noroeste de la ciudad de Maracaibo son descargadas en la laguna a través de varias cañadas, sin ser tratadas, por lo que se considera una zona amenazada por la actividad humana (ICLAM 2000, 2004).

La eutrofización como proceso de origen antropogénico va deteriorando la calidad del agua, añadiendo mayores cantidades de nutrientes que son elementos esenciales para el crecimiento de organismos, principalmente N, P y materia orgánica; lo cual enriquece a estos sistemas pero limita el oxígeno. Este proceso se lleva a cabo naturalmente en todo ecosistema acuático cerrado o semi-cerrado, cuya afluencia de elementos nutritivos sea superior a la salida de los mismos (Moreno *et al.* 2010, Spiro y Stigliani 2004). La distribución de la carga de nutrientes en el cuerpo de agua dependerá de los aportes de fuentes puntuales (fábricas e instalaciones industriales y comerciales, plantas de tratamiento, aguas residuales no tratadas, otros) y no puntuales (escorrentía urbana y agrícola, lluvia car-

gada de emisiones atmosféricas, otros), que influyen sobre su cuenca hidrográfica, determinando el grado de afectación y las diferencias de tipo y magnitud de cada contaminante (Almanza-Marroquín *et al.* 2016, Parra-Pardi 1979, Spiro y Stigliani 2004).

En el presente trabajo se describe la distribución espacial de carbono (DBO y DQO), N-total y P-total en agua superficial de la laguna Las Peonías, con énfasis en las posibles fuentes puntuales de contaminación y que contribuyen al proceso de eutrofización de este cuerpo de agua costero.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio y muestreo

El área de estudio estuvo comprendida geográficamente entre las coordenadas huso 19N, proyección UTM 1191049,27; 210319,57 de latitud Norte y 1189178,13; 193657,96 de longitud Oeste, en el sector Noroeste del Estrecho de Maracaibo, entre los municipios Maracaibo y Mara del estado Zulia (Venezuela), conformando parte de la cuenca hidrográfica del sistema Lago de Maracaibo (Figura 1). En ella se encuentra ubicado el sistema lagunar costero, conocido actualmente como laguna Las Peonías. El área superficial de la laguna es de aproximadamente 639 ha, con una longitud máxima de 5.900 m y una anchura máxima de 2.200 m. El relieve del área es primordialmente plano, con altitudes que varían entre los 0 a 2 m sobre el nivel medio de las aguas. La laguna presenta una profundidad media de 65 cm, su vaso hidráulico incluye un volumen de agua aproximado a los  $4,15 \times 10^6$  m<sup>3</sup> (ICLAM 1988, González *et al.* 2007).



**Figura 1. Área de estudio: laguna Las Peonías, estado Zulia (Venezuela), indicando la ubicación de las estaciones de muestreo**

Se realizaron dos muestreos aleatorios simples (agosto y septiembre de 2016) de agua superficial

en 10 estaciones distribuidas espacialmente en la laguna, a modo de obtener una representación de todas las zonas de la misma (Tabla 1). Las muestras se colectaron manualmente desde una em-

barcación en envases plásticos de 1 L, se almacenaron en una cava con hielo y se transportaron al laboratorio para los análisis correspondientes.

**Tabla 1. Referencia geográfica de las estaciones de muestreo ubicadas en la laguna Las Peonías**

Estación	Zona	X	Y
E1	Caño Araguato	-73.634	10.739
E2	Caño Araguato	-71.632	10.739
E3	Caño Araguato	-71.639	10.737
E4	Espejo de agua	-71.648	10.739
E5	Espejo de agua	-71.653	10.746
E6	Espejo de agua	-71.653	10.752
E7	Espejo de agua	-71.666	10.764
E8	Espejo de agua	-71.672	10.760
E9	Descargacañada Irragorri	-71.680	10.764
E10	Descarga cañada Fénix	-71.667	10.749

Fuente: Elaboración propia. (2017)

#### **Análisis de las concentraciones de C, N y P**

Se analizaron las concentraciones de DBO y DQO como indicadores del contenido de carbono (materia orgánica) en las muestras, usando los métodos de las diluciones y volumétrico (previa digestión a 150°C por dos horas), respectivamente. El contenido de N-total se estimó mediante la sumatoria de las concentraciones de nitrógeno total Kjeldahl (método volumétrico, previa digestión a 450°C y destilación por arrastre de vapor), nitrito y nitrato (métodos colorimétrico y de reducción en la columna de cadmio, respectivamente). En cuanto a P-total, el mismo fue cuantificado por el método colorimétrico del ácido vanadomolibdofosfórico, previa digestión con persulfato de amonio (APHA *et al.* 2005).

#### **Análisis estadístico de datos**

Se calculó la estadística descriptiva usando el programa Microsoft Excel para Windows 2010. También se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y la prueba *a posteriori* de Tukey con el programa IBM SPSS Statistics Ver. 20, para

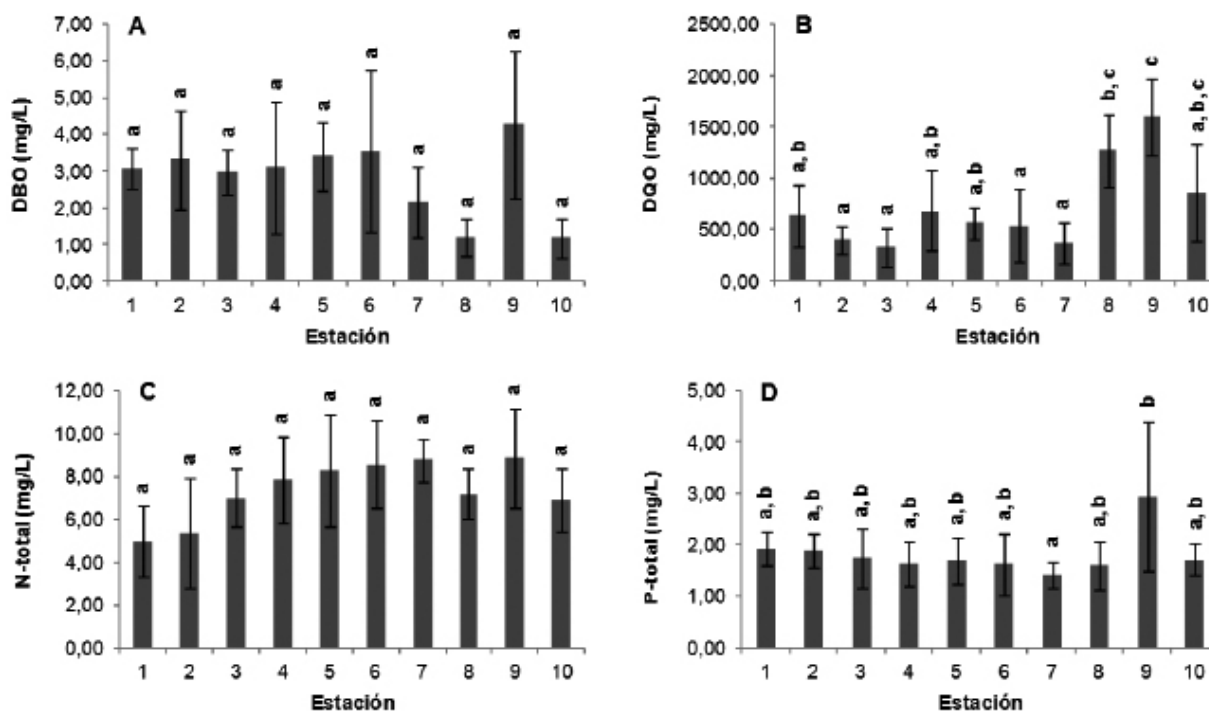
determinar las diferencias significativas de las concentraciones de C, N y P entre las estaciones de muestreo (distribución espacial). En la serie de datos se comprobaron tanto la homogeneidad de las varianzas (test de Levene), como la distribución normal de los residuos (test de Shapiro-Wilk), requiriéndose una transformación matemática de los mismos para cumplir con los supuestos estadísticos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Carbono**

Las concentraciones de DBO y DQO exhibieron medias aritméticas de  $2,82 \pm 1,01$  y  $725,29 \pm 414,36$  mg/L, con valores mínimos y máximos de 0,70 (E10)-6,55 (E6) y 118,52 (E6)-2.074,07 (E9) mg/L, respectivamente. No se observaron diferencias significativas de las concentraciones de DBO entre las estaciones de muestreo ( $p > 0,05$ ), pero las de DQO difirieron espacialmente, con tres grupos distintivos, según prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 2A y 2B).

Figura 2. Distribución espacial de C, N y P en la laguna Las Peonías. A) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), B) Demanda química de oxígeno (DQO), C) N-total y D) P-total. Las barras verticales indican la media aritmética  $\pm$  desviación estándar para  $n=2$ . Letras iguales para un mismo parámetro indican que no hay diferencias significativas entre las estaciones, según prueba de Tukey ( $p<0,05$ ).



Fuente: Elaboración propia. (2017)

La distribución de materia orgánica en la laguna obedeció a los aportes de las diferentes fuentes en su cuenca. Las mayores concentraciones de DBO y DQO se obtuvieron en la E9; adyacencias de la cañada Iragorri, por lo que se puede considerar la entrada de materia carbonada, tanto de origen biodegradable como no, por esta vía, afectando el ecosistema debido a los requerimientos de oxígeno disuelto durante los procesos de degradación de estas sustancias (Moreno *et al.* 2010, Spiro y Stigliani2004).

Las concentraciones de DBO obtenidas en el presente estudio resultan menores a las presentadas por De la Lanza *et al.*(2008) para la laguna de Tres Palos (México), con valores entre 43,6 y 116,0 mg/L, indicado una mayor carga de materia orgánica biodegradable en esta última. Por su parte, Montalvo *et al.* (2008) señalaron valores de 0,55 a 4,79 mg/L de DBO, para cuerpos de aguas interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey (Cuba), los cuales resultan comparables a los de la laguna Las Peonías.

En cuanto a los niveles de DQO obtenidos en el presente estudio, los mismos se encuentran por encima de los reportados por Mora (2009), quien

en un estudio previo en este cuerpo de agua mostró un rango entre 6 y 48 mg/L, pero expresado como DQO soluble. Asimismo, las concentraciones son menores a las obtenidas por De la Lanza *et al.* (2008) para la laguna de Tres Palos (México), quienes encontraron de 96 a 476 mgDQO/L, como resultado de fuentes locales de contaminación. En consecuencia, las altas concentraciones de materia orgánica (DQO) detectadas en las laguna Las Peonías, pueden tener su origen en el vertido de compuestos químicos de uso doméstico, tales como detergentes aniónicos, insecticidas y otras sustancias que afectan la calidad del agua, aunado al escurrimiento superficial y a los drenajes de las comunidades establecidas alrededor o cerca de la cuenca, según lo expresado por Rosado y Castro (2011).

### Nitrógeno

Las concentraciones de N-total estuvieron entre 2,51 (E1) y 11,50 (E9) mg/L, con una media de  $7,37 \pm 1,37$  mg/L. No se observaron diferencias significativas de las concentraciones entre las estaciones de muestreo ( $p>0,05$ ) (Figura 2C), develando una contribución homogénea de las fuentes de contaminación o un patrón de distribución similar para

las formas químicas de este elemento en el agua superficial.

Aubriot *et al.* (2005) reportaron concentraciones de N-total entre 0,19 y 1,70 mg/L para la laguna Rocha (Uruguay); un ecosistema escasamente impactado, mientras que Mora (2009), señaló valores de 0,2 a 2,3 mg/L para la laguna Las Peonías; siendo mucho menores a los observados durante los muestreos realizados para el presente estudio. Esta diferencia puede ser debida a condiciones particulares asociadas al muestreo y análisis de las muestras, o a eventos ambientales durante las épocas estudiadas.

Las altas concentraciones de N encontradas durante este trabajo, determinan la condición eutrófica del cuerpo de agua y la limitación de su uso para fines particulares, de acuerdo con la legislación ambiental vigente (Decreto 883. 1995).

### Fósforo

El contenido de P-total del agua superficial presentó un valor medio de  $1,82 \pm 0,42$  mg/L, con un mínimo de 1,01 (E6) mg/L y otro máximo de 4,23 (E9) mg/L. Se observó diferenciación espacial de estas concentraciones, con dos grupos distintivos, según prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 2D).

La E9 reflejó la mayor concentración de P-total, con una media aritmética de  $2,94 \pm 1,46$  mg/L; asociado a las descargas provenientes de la cañada Iragorri, como en el caso de la materia orgánica (Figura 2A y 2B). De acuerdo a lo indicado por el ICLAM (2005), las áreas adyacentes a las cañadas Fénix e Iragorri, reciben las mayores cantidades de fósforo en la cuenca de esta laguna.

Estas concentraciones de P-total, si bien son relativamente altas, resultan menores a las obtenidas por Rivas (1989), quien en su estudio sobre calidad de las aguas de la laguna Las Peonías, reportó valores entre 0,43 y 17,80 mg/L, concluyendo que la laguna se encontraba en un estado avanzado de eutrofización, asociado particularmente a los residuos líquidos procedentes de granjas porcícolas ubicadas en las márgenes de este ecosistemas, las cuales han prácticamente desaparecido en la actualidad, reduciendo su impacto sobre el ecosistema.

Los niveles de C, N y P observados en la laguna Las Peonía son típicos de ecosistemas eutrofizados, incrementando directamente la productividad biológica y repercutiendo sobre la estabilidad de parámetros fisicoquímicos determinantes como pH

y oxígeno disuelto (Moreno *et al.* 2010, Parra-Pardi 1979, Spiro y Stigliani 2004). Esta situación amerita de la formulación e implementación de planes de saneamiento y recuperación ambiental, a fin de minimizar los efectos adversos sobre los organismos acuáticos, además de garantizar las condiciones favorables para el desarrollo de la recreación y el turismo.

## CONCLUSIONES

Las concentraciones de carbono orgánico (DBO y DQO), N-total y P-total encontradas son características de cuerpos de agua eutróficos, las cuales se originan del vertimiento de residuos asociados a las actividades antropogénicas de su cuenca, repercutiendo sobre la calidad de las aguas y limitando su posible utilización.

La distribución espacial de DQO y P-total fue significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) en la laguna, debido a los aportes de contaminantes procedentes de fuentes puntuales, particularmente originados por las descargas de la cañada Iragorri.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almanza-Marroquín V., Figueroa R., Parra O., Fernández X., Baeza C., Yañez J., Urrutia R. (2016). Bases limnológicas para la gestión de los lagos urbanos de Concepción, Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 44 (2), 313-326.
- APHA, AWWA, WEF. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21<sup>th</sup> edition. Washington D.C.: American Public Health Association. p.p. 1560.
- Aubriot L., Conde D., Bonilla S., Hein V., Britos A. (2005). Vulnerabilidad de una laguna costera en una reserva de biosfera: indicios recientes de eutrofización. I. Villa, J. Pizarro (eds.): *Taller Internacional de Eutrofización de Lagos y Embalses*. CYTED XVIIIB. Patagonia Impresores Chile. (p.p. 65-85). Santiago de Chile.
- Decreto 883. (1995). Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. *Gaceta Oficial de la República de Venezuela* Nro. 5.021. Extraordinario.
- De la Lanza G., Alcocer J., Moreno J., Hernández S. (2008). Análisis químico-biológico para determinar el estatufrístico de la Laguna de Tres Palos, Guerrero, México. *Hidrobiológica* 18 (1), 21-30.

- Esteves F., Caliman A., Santangelo J., Guariento R., Farjalla V., Bozelli R. (2008). Neotropical coastal lagoons: an appraisal of their biodiversity, functioning, threats and conservation management. *Braz. J. Biol.* (4, suppl.), 967-981.
- González M., Aldana G., Fuenmayor A. (2007). Mecanismos de variación de la concentración de los nutrientes y del sedimento en la laguna Las Peonías. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia* 30 (especial), 25-31.
- Herrera-Silveira J. A., Comín F. A. (2000). An Introductory account of the types of aquatic ecosystems of Yucatan Peninsula (SE Mexico). M. Munawar, S. G. Lawrence, I. F. Munawar, D. F. Malley (eds.): *Ecovision World Monographs Series. Aquatic Ecosystems of Mexico: Status & Scope*. Backhuys Pub. Leiden, (p.p. 213-227) Netherlands.
- ICLAM. (1988). Estudio sobre el comportamiento hidrodinámico de la laguna Las Peonías. Informe técnico. Instituto para la Conservación de la Cuenca Hidrográfica del Lago de Maracaibo (ICLAM). Maracaibo. p.p. 46.
- ICLAM. (2000). Problemática ambiental del parque Las Peonías. Informe técnico. Instituto para la Conservación de la Cuenca Hidrográfica del Lago de Maracaibo (ICLAM). Maracaibo. p.p. 7.
- ICLAM. (2004). Inspección y toma de muestras de agua de la laguna Las Peonías (sector Los Pescadores) y la fosa Los Compatriotas (sector Monte Claro), Municipio Mara, estado Zulia. Informe técnico IT-2004-09-053. Instituto para la Conservación de la Cuenca Hidrográfica del Lago de Maracaibo (ICLAM). Maracaibo. p.p. 6.
- ICLAM. (2005). Evaluación de la calidad de las aguas en caño Araguato, laguna Las Peonías y cañada Fénix, municipio Maracaibo, estado Zulia. Informe técnico IT-2005-02-005. Instituto para la Conservación de la Cuenca Hidrográfica del Lago de Maracaibo (ICLAM). Maracaibo. p.p. 12.
- Montalvo J., García I., Loza S., Esponda S., César M., González R., Hernández L. (2008). Oxígeno disuelto y materia orgánica en cuerpos de aguas interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Serie Oceanológica* 4, 71-84.
- Mora R. (2009). Variaciones en la composición, abundancia y biomasa del fitoplancton de la laguna de Las Peonías (Edo. Zulia, Venezuela). Trabajo de ascenso. Universidad del Zulia. Maracaibo. p.p. 103.
- Moreno D., Quintero J., López A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS* 78, 25-33.
- Parra-Pardi G. (1979). Estudio integral sobre la contaminación del Lago de Maracaibo y sus afluentes: Parte 2. Evaluación del proceso de eutroficación. Caracas: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Dirección General Sectorial de Información e Investigación del Ambiente. p.p. 225.
- Rivas Z. (1989). Determinación de la calidad físico-química del agua de la laguna Las Peonías. Tesis de Maestría. Universidad del Zulia. Maracaibo. p.p. 96.
- Rosado V., Castro E. (2011). Comportamiento de las variables físico-químicas en los diferentes recursos hídricos del departamento de La Guajira. Primera edición. Bogotá: Editorial Gente Nueva. p.p. 73.
- Spiro T., Stigliani W. (2004). *Química medioambiental*. Segunda edición. Madrid: Pearson Educación S. A. p.p. 504.