

CONCENTRACIONES DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN SEDIMENTOS RECIENTES DE LA LAGUNA LOS PATOS, ESTADO SUCRE, VENEZUELA.

¹ARISTIDE MÁRQUEZ, ¹WILLIAM SENIOR, ¹GREGORIO MARTÍNEZ Y ²ÁNGEL GONZÁLEZ

¹*Departamento de Oceanografía, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente.
aristd@gmail.com*

²*Instituto Limnológico, Universidad de Oriente, Caicara, Venezuela*

RESUMEN: En esta investigación se estudió la presencia del nitrógeno y fósforo total en el sedimento de la laguna de Los Patos, estado Sucre, Venezuela. Adicionalmente se muestran los primeros estudios de especiación de fósforo en el sedimento de este ecosistema. Los resultados muestran niveles altos de nitrógeno y fósforo total que alcanzan valores de 1380,63 mg/kg y 950,63 mg/kg, específicamente en las inmediaciones de la planta de tratamiento de aguas servidas, situada en extremo sur de la laguna. Esta evidencia cuestiona la eficiencia del tratamiento de las aguas servidas que están siendo descargadas en el interior de la laguna. Se determinó que el fósforo se encuentra principalmente como fósforo orgánico ligado a minerales fosfatados de calcio (48,53%) y en segundo término a coexistir en orden secuencial como: fósforo muy lábil o absorbido (13,89%), fosfato de hierro (13,54%), fósforo moderadamente lábil (7,35%) y por último en forma refractaria (6,87%). Las relaciones nitrógeno/fósforo, las cuales alcanzan valores de 9,58, en conjunto con los altos porcentajes de fósforo orgánico, revelan una fertilidad de tipo orgánico dentro de la laguna.

Palabras claves: Sedimentos, laguna litoral, especiación.

ABSTRACT: The concentration of total nitrogen and phosphorus in sediments from Los Patos Lagoon, in Cumana, state of Sucre, Venezuela, was studied. Additionally, the first phosphorus speciation study was made for sediments of this ecosystem. Results showed high levels of total nitrogen and phosphorus, which reached 1380.63 mg/kg and 950.63 mg/kg, respectively, specifically in the vicinity of the sewage treatment plant located at the south end of the lagoon. This evidence brings into question the efficacy of the sewage treatment of the waters being discharged into the lagoon. Phosphorus was mainly found as organic-P bound to calcium phosphoric minerals (48.53%) and, in descending order as: very labile or absorbed phosphorus (13.89%), iron phosphate (13.54%), moderately labile phosphorus (7.35%), and phosphorus in refractory form (6.87%). The nitrogen/phosphorus ratio reached 9.58, which, together with the high percentage of organic phosphorus, shows high organic fertility within the lagoon.

Key words: Sediments, littoral lagoon, speciation

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas marino-costeros son ambientes dinámicos con alta variabilidad en el tipo de sedimentos, hábitat biológico y procesos de transporte y deposición, que se encuentran frecuentemente impactados por muchas actividades antropogénicas dentro de las cuales se encuentran los asentamientos humanos, industrias y deposición de aguas servidas. La laguna Los Patos fue definida como Parque Litoral (300ha) por decreto presidencial N° 2992 del 12 de diciembre de 1978. En la

década de 1960, representaba una zona de interés económico, debido a que era utilizada como una zona de pesca artesanal de especies de peces de alto valor económico como *Mugil curema*, *Mugil liza* y crustáceos como el cangrejo *Callinectes boucorti* (LAREZ, 1966). Actualmente algunas de estas especies han desaparecido debido al deterioro que ha experimentado la laguna debido principalmente a la descarga de aguas negras provenientes de algunas urbanizaciones de la ciudad como: Bolivariano, Brasil y La Llanada. En los últimos años el problema se ha intensificado debido al asentamiento de caseríos aledaños

a los márgenes de la laguna, los cuales vierten en sus aguas, desechos de tipo sanitario, así como una gran variedad de sustancias líquidas contaminantes dentro de las que están incluidas las nitrogenadas y fosforadas. Estas descargas han afectado el ecosistema y han puesto en peligro a las variedades de aves, mamíferos y peces que habitan en él. El nitrógeno y el fósforo son requeridos por los organismos, y actúan como nutrientes limitantes controlando la producción de los ecosistemas, sin embargo, las actividades antropogénicas han roto el equilibrio en los últimos años, generando problemas de eutrofización en las zonas marino-costeras (MOKAYA *et al.* 2004). El contenido de fósforo orgánico e inorgánico por otra parte es uno de los factores de mayor importancia para evaluar los procesos de tratamientos de aguas residuales y la calidad del agua de los ecosistemas acuáticos (ZHAO & LIN 1999).

Las investigaciones sobre contenido de nitrógeno y fósforo en el sedimento de laguna Los Patos son escasas y en el caso de especiación de fósforo inexistentes. Por esta razón, en esta investigación se plantearon como objetivos, determinar los niveles de nitrógeno y fósforo total y verificar al mismo tiempo, los orígenes del fósforo mediante un estudio de especiación en los sedimentos.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

La laguna Los Patos, forma parte de una serie de albuferas litorales comunicadas entre sí, que se localizan al sur-oeste de la ciudad de Cumaná, en el estado Sucre, Venezuela. (Fig. 1). Ocupa un área total de 1,5 Km², con una profundidad que varía entre 0,40 a 1,00 m. El fondo de la laguna es de tipo arenoso-limoso, arcilloso, de color gris oscuro y de textura gelatinosa. La laguna tiene conexión con el mar en playa San Luís. En la década de los años 40, la construcción de la carretera que comunica a las ciudades de Cumaná y Barcelona (estado Anzoátegui), produjo un drenaje transversal insuficiente que interceptaba las aguas provenientes del drenaje natural del terreno y del excedente del sistema de riego del río Manzanares, dando origen a un cuerpo de agua con poca circulación, que induce al crecimiento de manglares en su interior (RAMÍREZ & ROA, 1994).

Recolección y preparación de las muestras

Se recolectaron dieciséis muestras de sedimento (Fig. 1) durante una salida de campo realizada en marzo del 2004

(época de sequía). La toma de muestras abarcó toda la laguna incluyendo la entrada cerca de playa San Luís, el centro de la laguna y el sector sur (adyacencias de la urbanización la Llanada-Autopista Antonio José de Sucre), donde está ubicada la planta de tratamiento de aguas residuales y domésticas. Para la ubicación geográfica de cada estación se utilizó un sistema de posicionamiento global (GPS) marca Garmin 12XL (EUA).

Los sedimentos se recolectaron utilizando una draga tipo Eckman de 0,02 m² de área (EUA). Con el apoyo de una paleta plástica las muestras se colocaron en frascos de polipropileno de 250 ml de capacidad previamente rotulados y lavados con una solución ácida (HCl 1 mol/L; Merck) y agua desionizada, calidad Nanopure de conductividad de 18 MΩ/cm. Las muestras luego se preservaron bajo congelación a -20 °C. Los sedimentos preservados fueron descongelados y secados a 60 °C en una estufa hasta obtener un peso constante, luego se tamizaron para obtener la fracción menor a 2 mm y se pulverizaron en un mortero de porcelana, para luego ser almacenados en envases de polietileno herméticamente cerrados hasta los análisis.

Análisis de nitrógeno y fósforo.

Las concentraciones de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) se analizaron por el método de digestión simultánea (VALDERRAMA, 1981). El método consiste en la oxidación simultánea del nitrógeno y el fósforo total con una solución de persulfato de potasio. Para la oxidación de los compuestos nitrogenados se utilizó un medio alcalino, mientras que la oxidación de los compuestos de fósforo se realizó en medio ácido. En la oxidación simultánea la reacción comienza a pH 9,7 y finaliza a pH a 5,0-6,0. Estas condiciones son obtenidas utilizando el sistema ácido bórico-hidróxido de sodio. Para el nitrógeno total, la precisión oscila alrededor de 4% y la del fósforo alcanza 0,2%.

Se pesaron por triplicado en botellas de vidrio de 250 ml de capacidad, 50 mg de muestra, utilizando una balanza analítica con precisión de 0,0001g. Se adicionó a cada botella 5 ml de agente oxidante (peroxodisulfato de potasio, ácido bórico e hidróxido de sodio 1 M en proporción 6:4:3,5, luego se sellaron herméticamente, y se digitaron en un autoclave durante 30 minutos a 15 psi de presión). Para realizar el estudio de especiación de fósforo y cuantificar las diferentes formas, se escogieron al azar cuatro de las dieciséis muestras de sedimentos y

se les aplicó la metodología de CHANG & JACKSON (1957). Con el propósito de cubrir al máximo la extensión de la laguna, las estaciones se escogieron en la boca (E1), centro (E7 y E11) y sur de la laguna (E16). Las cinco formas de fósforo cuantificadas fueron: 1) Fósforo muy lábil o adsorbido, el cual representa la forma intercambiable iónicamente (extraído con 20 ml de NH_4Cl 1 mol/L a pH 7,0 por 2h). 2) Fósforo en forma de fosfato de hierro (extraído con NaCl saturado durante 30 minutos a 40 °C, el residuo es tratado posteriormente con hiposulfito de sodio 0,1 mol/L a pH 7 por 30 minutos a 40 °C). 3) Fósforo moderadamente lábil (extraído a temperatura ambiente con 20 ml de NaOH 1 mol/L por 16 h), el cual representa el fósforo inorgánico unido a la superficie de las arcillas o de los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio y el fósforo orgánico asociado a compuestos orgánicos tales como ácidos húmicos y fúlvicos. 4) Fósforo orgánico ligado a minerales fosfatados de calcio (extraído con 20 ml de HCl 0,5 mol/L por 24 h). 5) Fósforo refractario o residual (extraído con 20 ml de NaOH 1 mol/L por 24 h a 85 °C).

La cuantificación de la concentración de fósforo total, así como de las diferentes fracciones extraídas en el análisis de especiación se realizaron por colorimetría utilizando el método de MURPHY & RILEY (1962) después del ajuste del pH a 5,4 usando paranitrofenol como indicador. Todas las mediciones se realizaron de forma automatizada utilizando un auto analizador Technicon II marca Scientific Instruments AC-100 (EUA). Para los análisis de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) se utilizaron patrones certificados de clase analítica ultra pura, Marine Nutrients Standards Kit. El material volumétrico de vidrio utilizado en el laboratorio fue de clase A y los reactivos de clase analítica ultra pura. La relación nitrógeno total/fósforo total se obtuvo del cociente de la concentración de nitrógeno y fósforo total determinado para cada zona de la laguna de Los Patos.

Análisis estadístico

Los grados de asociación existentes entre las estaciones se determinaron por análisis estadísticos de conglomerados, empleando el método de Mínima Varianza de Ward's y la distancia métrica Euclidiana (SOKAL & ROHLF, 1969). Los grupos homogéneos (GH), los cuales corroboraron las diferencias estadísticas entre las zonas, se determinaron por la prueba de rango múltiple Student-Newman-Keuls a un nivel de significancia, $P < 0,05$. Los análisis computarizados de toda la estadística fue realizada utilizando el paquete STATGRAPHICS PLUS

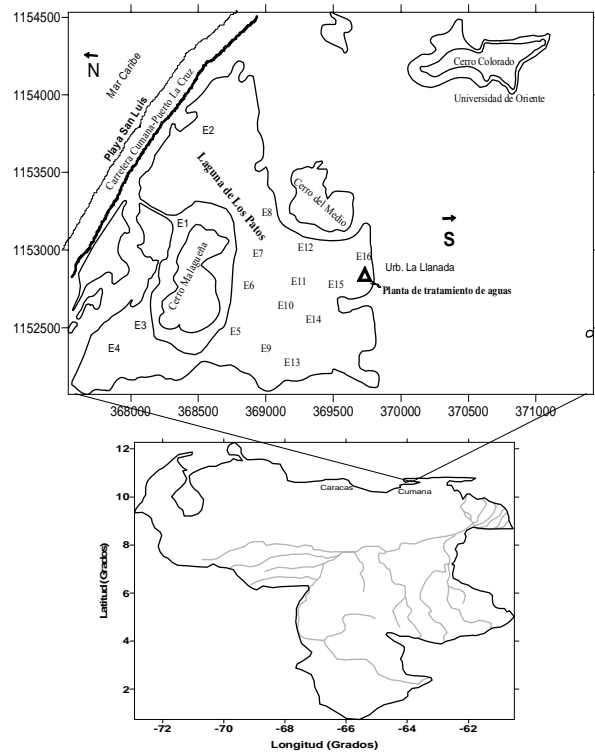


Fig. 1 Zona de estudio mostrando los sitios de recolección de las muestras en la laguna Los Patos estado Sucre, Venezuela.

4,1 (USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de conglomerados aplicado a los datos obtenidos en cada estación (Fig. 2) y la prueba de rango múltiple (Tabla 1) permitió identificar y agrupar tres grupos homogéneos o zonas dentro de la laguna Los Patos. Una primera zona la conforman las estaciones: E1, E2, E3, E4 en los alrededores de la boca de la laguna. La segunda fue determinada hacia el centro de la laguna (E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11 y E12) y la tercera situada hacia el extremo sur (E13, E14, E15 y E16), específicamente en los alrededores de la planta de tratamiento de aguas servidas de la urbanización La Llanada. Los promedios de las concentraciones de nitrógeno, fósforo total determinados para cada una de estas tres zonas, fueron utilizados para hacer la interpretación de los resultados del ecosistema bajo estudio.

Nitrógeno Total

Las concentraciones promedios de nitrógeno total

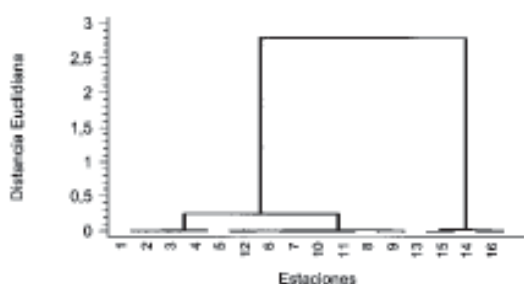


Fig. 2. Dendrograma de similitud que muestra la asociación entre estaciones en la laguna Los Patos, estado Sucre, Venezuela

(NT) en la laguna Los Patos (Tabla 1) presentaron un gradiente decreciente desde el sector sur de la laguna hasta la boca. Las concentraciones determinadas fueron de 286,31 mg/Kg (boca), 454,51 mg/Kg (centro) y 1380,63 mg/Kg (zona sur). Las concentraciones de nitrógeno fueron mayores hacia el sector cercano a la planta de tratamiento de aguas servidas. Las aguas de la planta de tratamiento, la cual contiene descargas domésticas, es vertida a la laguna, lo cual se ve reflejado en los contenidos altos de nitrógeno presentes en el sedimento. Esto pone en dudas la eficiencia del tratamiento de las aguas servidas que están siendo descargadas dentro de la laguna. Adicionalmente, los altos niveles de nitrógeno total determinados en el sedimento, sugieren que la intensidad de los procesos biogeoquímicos que prevalecen por la descomposición del material orgánico son también de importancia.

DE LA LANZA & CÁCERES (1994) indican que los asentamientos urbanos incrementan el contenido de nitrógeno por el aporte de aguas de desechos. Este aumento puede amortiguarse por dilución cuando las características de circulación y corrientes locales lo permiten, asociado a la geomorfología y condiciones pluviales y fluviales. Sin embargo, el aumento puede ser mayor si las condiciones ambientales se encuentran aisladas o confinadas. En el caso de la laguna Los Patos, hay poca circulación de las aguas, característica que propicia un incremento en los niveles de nitrógeno, el cual se ve reflejado principalmente hacia las inmediaciones de la planta de tratamiento de aguas servidas.

Los valores medios de nitrógeno total determinados en los sedimentos de la laguna Los Patos, son superiores al valor de 1,80 mg/Kg indicado para los sedimentos de la

laguna de Chacopata (FUENTES *et al.* 1997), al valor de 193,50 mg/Kg de la ensenada Grande del Obispo (BONILLA *et al.* 2003) y al nivel 0,005 mg/Kg determinado por LÓPEZ (2002) para la laguna de Píritu, todos en Venezuela. Sin embargo, en la boca (286,31 mg/ Kg) el valor es inferior al reportados por MÁRQUEZ *et al.* (2005) para los sedimentos del litoral nororiental del Golfo de Cariaco (396,29 mg/Kg).

Fósforo Total (PT)

El contenido de fósforo en los sedimentos ha sido sujeto de varios estudios que intentan caracterizar los importes globales de este elemento, así como la proporción y mecanismos de liberación hacia la columna de agua (DRUSCHEL *et al.* 2005). En la laguna Los Patos, las concentraciones de fósforo (Tabla 1) se caracterizaron por presentar un comportamiento distributivo de tendencia similar al nitrógeno total. Se detectaron niveles de fósforo total de 950,63 mg/Kg en el extremo sur los cuales descendieron paulatinamente hasta 148,73 mg/Kg y 29,89 mg/Kg en el centro y la boca de la laguna respectivamente. La tendencia apreciada en las concentraciones de fósforo en el extremo sur sugiere, deposición del fósforo en los sedimentos, posiblemente desde las aguas que son vertidas desde la planta de tratamiento. Al respecto DE LA LANZA & CÁCERES (1994) indican que los ortofosfatos pueden retirarse del agua por adsorción en sedimentos hasta en un 60%, lo que explicaría las altas concentraciones de este elemento en las zonas lacustres. INGALL & JAHNKE (1997), propusieron un sistema de regeneración para el fósforo, el cual relaciona las condiciones anóxicas y productividad superficial en los ecosistemas. Acorde a este modelo, el fósforo es principalmente liberado por el carbono durante la degradación anaeróbica de la materia orgánica, quedando disponible para estimular la productividad en la superficie. UUSITALO *et al.* (2001) por otra parte señalan que, los tratamientos ineficaces de las aguas de desechos realizados por algunas industrias y municipalidades, causan problemas de contaminación en los ecosistemas, como ocurre en Finlandia, en donde los tratamientos de las aguas se han hecho ineficaces desde la década de los años 50. Las descargas de las fuentes no puntuales juegan también un papel importante en las emisiones de fósforo a los lagos, lagunas y zonas marino costeras (REKOLAINEN, 1993).

Especiación de fósforo.

El estudio de especiación del fósforo mostró que, de forma general, la tendencia de este elemento en los

Tabla 1. Concentración (mg/Kg) de nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y relación de concentraciones de NT/PT en sedimentos recientes de la laguna Los Patos, estado Sucre, Venezuela.

Zona	Prom	GH	Elemento	Zona	Prom	GH	Elemento
			NT				PT
Boca	286,31	X		Boca	29,89	X	
Centro	454,51	X		Centro	148,73	X	
Sur	1380,63	X		Sur	950,63	X	
			NT/PT				
Boca	9,58	X					
Centro	3,06	X					
Sur	1,45	X					

NT= nitrógeno total; PT= Fósforo total; Prom = promedio; GH= grupos homogéneos.

sedimentos recientes de la laguna Los Patos, es a existir como fósforo orgánico ligado a minerales fosfatados de calcio (fracción F4), en segundo lugar a estar presente como fósforo muy lábil o adsorbido (fracción F1) y fosfato de hierro (fracción F2) y por último a encontrarse en porcentajes casi similares como fósforo moderadamente lábil (fracción F3) y en forma refractaria (fracción F5) (Tabla 2). Esta observación es evidenciada en las cuatro estaciones empleadas para el estudio de fraccionamiento (E1; E7; E11 y E16), debido los promedios determinados en estas fracciones. De manera general, la fracción F4 fue la de mayor porcentaje (48,53%), seguida de las fracciones F1 y F2 las cuales mostraron porcentajes un tanto similares, 13,89% y 13,54 %, respectivamente. Por otra parte, los valores determinados en las fracciones F3 y F5 mostraron los valores menores con porcentajes de 7,35% y 6,87 %, respectivamente.

Los porcentajes de las fracciones de fósforo por estaciones (Tabla 2) indican que las fracciones de F4 presentan heterogeneidad en las distribuciones, detectándose los valores más elevados en el centro de la laguna (75,61% en E11; 54,14 % en E1 y 36,14 en E7). La

estación E16 presentó el menor porcentaje de F4 con 28, 21 %. En la fracción de fósforo F5, a la vez, los valores variaron desde 4,51 % en E11 hasta 12,30% en E16. Por otra parte, en las estaciones E1 y E7 se detectaron valores casi similares, los cuales alcanzaron 5,18 % y 5,48 %, respectivamente. La fracción F1 presentó porcentajes parecidos en tres de las cuatro estaciones estudiadas (E1 =19,10%; E7=14,62%; E16= 14,21%) a excepción de la estación E11 en donde los valores decrecen hasta 7,61%). Con respecto a la fracción de fósforo F2, los porcentajes mayores fueron determinados hacia la boca de la laguna (E1=28,70 %) y hacia el lado sur (E16 = 12,35%). Las estaciones E7 y E11 presentaron valores comparables que alcanzaron 7,77% y 5,35% , respectivamente.

Los sedimentos reciben una cantidad grande de materia orgánica en el ambiente eutrófico. PAING *et al.* (1999) para las zonas de Thau y Méjean en el Mediterráneo francés, indican concentraciones de fósforo enlazado a hierro en el orden de 25% y 23 %, respectivamente, así como, de 30% y 45% enlazados con el carbonato de calcio. Al mismo tiempo, señalan que en la fracción orgánica los porcentajes de fósforo variaron entre 38% y 28% y para la fracción

Tabla. 2. Fracciones de fósforo (%) por estaciones (E1; E7; E11; E16) en sedimentos recientes de la laguna Los Patos, estado Sucre Venezuela.

Estación	F1	F2	F3	F4	F5
E1	19,10	28,70	6,61	54,14	5,18
E7	14,62	7,77	6,44	36,14	5,48
E11	7,61	5,35	4,37	75,61	4,51
E16	14,21	12,35	12,01	28,21	12,30
Prom	13,89	13,54	7,35	48,53	6,87

residual entre 7 y 4%, respectivamente para las dos áreas. Señalan por otra parte que, en la fracción orgánica 61% y %1 8 % del fósforo se encontraba presente en forma de ácidos fúlvicos y 28% y 19 % en la fracción de ácidos húmicos. GILBIN *et al.* (2000) por su parte, para las costas Étang de Méjean en el Mediterráneo francés indican que, un 18% del fósforo se encuentra en forma refractaria y un 79 % está asociado a la fracción orgánica. Estas evidencias están acorde con lo determinado en los sedimentos de la laguna Los Patos durante la presente investigación, donde los valores asociados a la fracción orgánica superan el 50%.

PANT & REDDY (2001) indican que el fósforo experimenta mecanismo de sorción que está asociado a la presencia de minerales amorfos de hierro bajo condiciones anóxicas, sin embargo, presenta también adsorción bajo condiciones óxicas. La diferencia en la naturaleza de la sorción en las formas amorfas de hierro, aluminio y carbonatos de calcio y magnesio bajo diferentes condiciones redox, sugieren un rol colectivo en el control de la productividad de las aguas costeras y estuarinas. El fósforo es señalado por encima del nitrógeno como un limitante de la producción primaria en las zonas de manglares (CORREDOR *et al.* 1999). En las islas que contienen manglares cerca de las costas de Florida, las altas productividades determinadas han sido asociadas al enriquecimiento con N y P proveniente del guano de los pájaros (ONUF *et al.* 1997). La laguna Los Patos por ser una zona de manglares y de refugio de aves no escaparía a estas características.

El fósforo es parte de los productos de excretas de los seres vivos y se encuentra contenido principalmente en los fertilizantes, pesticidas, detergentes y aguas servidas, entre otros (DURSMAN & DAWSON, 1981). Una vez dentro de

los ecosistemas acuáticos, los cambios de pH producen diferentes grados de liberación del fósforo. En este aspecto, FISHER & WORD (2004) determinaron que en el lago de Klamath, en Oregon, EUA, la tasa de liberación del fósforo después de la suspensión de los sedimentos fue 0,5 $\mu\text{g/l/día}$ a pH 8,0 y de 0,9 $\mu\text{g/l/día}$ a pH 10.

Las concentraciones de fósforo determinadas en esta investigación en la boca y centro de la laguna Los Patos son inferiores al valor 600 mg/Kg indicado por FUENTES *et al.* (1997) para los sedimentos de la laguna de Chacopata. Indican los autores, que en la laguna de Chacopata los valores de fósforo total están asociados con las excretas de aves limnícolas, específicamente en las zonas alejadas a los refugios de los flamencos. Por otra parte, los niveles en la boca y centro de laguna Los Patos son también menores al valor 360,03 mg/Kg indicado por MÁRQUEZ *et al.* (2005) para el litoral nororiental del golfo de Cariaco, sin embargo, las concentraciones en esas dos zonas son superiores a los valores 12,80 mg/Kg reportado por BONILLA *et al.* (2003) en la ensenada Grande del Obispo y a la concentración de 0,00033 mg/Kg señalada por LÓPEZ (2002) para la laguna de Píritu en el estado Anzoátegui, Venezuela. En el extremo sur de la laguna Los Patos sin embargo, las concentraciones (950,63 mg/Kg) de fósforo total son superiores a los valores señalados anteriormente para la laguna de Chacopata, golfo de Cariaco, ensenada Grande del Obispo y laguna de Píritu.

DE LA LANZA & CÁCERES (1994) indican que, de manera general, las altas concentraciones de fósforo total que presentan los sedimentos de muchas lagunas, reflejan la capacidad o característica particular de los sedimentos para retener el fósforo, tanto autóctono como exógeno que provienen de diversas fuentes antropogénicas, los cuales a su vez, favorecen procesos abióticos.

Relación NT/PT

Los valores de la relación NT/PT en los sedimentos de la laguna Los Patos está controlada por las concentraciones de nitrógeno, reflejando cierto grado de fertilidad orgánica. Los valores mayores se determinaron en la boca (9,58) y centro de la laguna (3,06). Hacia el extremo sur el valor fue menor (1,45) (Tabla 1). La fertilidad de la laguna, es confirmada por lo observado en el estudio del fraccionamiento de fósforo donde se evidencia una mayor presencia de tipo orgánico. La relación NT/PT determinada en los sedimentos durante esta investigación, es inferior al valor 24,26 reportado por LÓPEZ (2002) para la

laguna de Píritu. Sin embargo en la boca es mayor a los valores determinados por MÁRQUEZ *et al.* (2005) en los sedimentos del litoral norte del Golfo de Cariaco (1,13) y a los valores entre 2,28 y 7,12 señalados por BONILLA *et al.* (1985) para la zona nororiental de Venezuela (golfo de Paria, cuenca de Cariaco). Las diferencias existentes entre estos diferentes ecosistemas comparados, tienen origen en la intensidad de los procesos abióticos que ocurren dentro de cada ambiente. La relación entre el nitrógeno y el fósforo, proporciona una idea de la disponibilidad de estos nutrientes para los organismos. En el agua generalmente esta razón es de 15:1 (WETZEL, 1981), sin embargo, para algunos organismos como las macrofitas, el desarrollo óptimo se alcanza con una relación N/P de 30:1, mientras que para el plancton con 16:1 (DE CASABLANCA *et al.* 1997).

LERMAN *et al.* (2002) señalan que el humus terrestre de proporción de Redfield C:N:P 140:6:1 libera la mayoría del fósforo y nitrógeno necesitado para la producción primaria de los océanos y mares, con adicionales cantidades provenientes de la disolución y del lixiviado de los minerales (a mediados de los años 90 se estimó un valor de 42×10^{12} mol de NT/año y 9×10^{12} mol de PT/año). Indican los autores que hay evidencia de que aproximadamente 45% de nitrógeno y 30% del fósforo utilizado en la agricultura, son aprovechados por las cosechas y el resto es almacenado en el suelo y retirado por la desnitrificación, incorporándose a los ríos, sistemas lagunares y océanos. En las zonas costeras, durante los últimos 300 años, la entrada de NT y PT debida a los procesos de surgencia ha permanecido en $10,80 \times 10^{12}$ mol NT/año y $0,46 \times 10^{12}$ mol PT/año, esta observación evidencia que el fósforo controla la bioproduktividad neta como el elemento menos biodisponible del ecosistema, provocando un exceso de nitrógeno y carbono en la zona costera.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo total presentaron altos valores en la laguna de los Patos, apreciándose un gradiente creciente desde la boca de la laguna hasta el extremo sur. Se observa fertilidad orgánica del ecosistema estudiado, apreciándose de forma general una tendencia del fósforo a existir en los sedimentos principalmente como fósforo orgánico el cual está ligado a minerales fosfatados de calcio (>50%) y en segundo lugar a estar presente secuencialmente como fósforo muy lábil o adsorbido, fosfato de hierro, fósforo moderadamente lábil y por último en menor proporción como fósforo refractario.

Se evidencia que existen posibles aportes desde las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas servidas, la cual se encuentra ubicada en la zona sur de la laguna. Las evidencias son corroboradas por la alta proporción de fósforo que está presente en el sedimento como fosfato, ya que estos compuestos son utilizados en los detergentes, los cuales están presentes en altas cantidades en las aguas de desechos domésticos e industriales que precisamente son las que son procesadas en la planta de tratamiento.

REFERENCIAS

- BONILLA, J., S. ARANDA, C. RAMÍREZ, J. MOYA & A. MÁRQUEZ. 2003. Calidad de los sedimentos superficiales de la ensenada Grande del Obispo, Estado Sucre-Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 42 (1&2):3-27.
- BONILLA, J., A. MÁRQUEZ & B. GAMBOA B. 1985. Características geoquímicas en núcleos de sedimentos de la región nororiental y río Orinoco Venezuela. *Bol. Oceanogr. Venezuela*. 24 (1-2):43-61
- CHANG, S. & M. JACKSON. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 84: 133-144.
- CORREDOR, J., R. HOWARTH, R. THILLEY & J. MORELL. 1999. Nitrogen Cycling and anthropogenic impact in the tropical interamerican seas. *Biogeochem.* 46: 163-178.
- DE CASABLANCA, M., T. LAUGIER & E. MARINHO-SERRANO. 1997. Seasonal changes of nutrients in water and sediment in a Mediterranean lagoon with shellfish farming activity (Thau Lagoon, France). *ICES J. Mar. Scien.* 54 (5): 905-916.
- DE LA LANZA, G. & C. CÁCERES. 1994. Lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur (Eds). México. 497 pp.
- DRUSCHEL, G., A. HARTMANN, R. LOMONA & K. OLDRID. 2005. Determination of sediment phosphorus concentrations in St. Albans Bay, Lake Champlain: Assessment of internal loading and seasonal variations of phosphorus sediment-water column

- cycling. Vermont Agency of Natural Resources 103 South Main St. Waterbury, Vermont. USA. 71pp.
- FISHER, L & T. WOOD. 2004. Effect of Water-Column pH on sediment-phosphorus release rates in Upper Klamath Lake, Oregon, 2001. Water-Resources Investigations Report 03-4271. Portland, Oregon. USA. 25pp.
- FUENTES, M., J. BONILLA & J. FERMÍN. 1997. Algunas características químicas de los sedimentos superficiales de la laguna de Chacopata, Estado Sucre. Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 36(1&2):69-79.
- GILBIN, R., E. GÓMEZ & B. PICOT. 2000. Phosphorus and organic matter in wetland sediments: analysis through gel permeation chromatography (GPC). *Agronomie*. 20: 567-576.
- INGALL, E. & H. JAHNKE. 1997. Influence of water column anoxia on the elemental fractionation of carbon and phosphorus during sediment diagenesis. *Mar. Geol.* 139:212-229.
- LAREZ, L. 1966. Algunas observaciones sobre *Penaeus aztecus* (IVES) en las lagunas litorales situadas al oeste de la Universidad de Oriente, Venezuela. *Laguna*. 11: 13-19.
- LERMAN, A., F. MACKENZIE & L. VER. 2002. Nitrogen and phosphorus controls of the carbon. *J. Of Conf. Abst.* 5(2): 638.
- LÓPEZ, F. 2002. Estudio Geoquímico de la laguna de Píritu, Estado Anzoátegui, Venezuela. Trab.Grad. M.Sc. Ciencias Marinas. Univ. Oriente, Cumaná, Venezuela. 109 pp.
- MÁRQUEZ, A., J. BONILLA, G. MARTÍNEZ, W. SENIOR, D. AGUILERA & A. GONZÁLEZ. 2005. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del litoral nororiental del Golfo de Cariaco, estado sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 44 (2): 89-103.
- MOKAYA, S., J. MATHOOKO. & M. LEICHTFRIED .2004. Influence of anthropogenic activities on water quality of a tropical stream ecosystem. *Afr. J. Ecol.* 42: 281-288.
- MURPHY, J & J. RILEY. 1962. A modified single solution method for the determination phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.* 12:162-170.
- ONUF, C., J. TEAL & I. VALIELA .1997. The interactions of nutrients, plant growth, and herbivory in a mangrove ecosystem. *Ecology*. 58: 512-526.
- PAING J. E., J. GÓMEZ & B. PICOT. 1999. Humic substances interactions with sedimentary phosphorus. *Analisis*. 27 (5). 436-438
- PANT, H. K. & K. R. REDDY. 2001. Phosphorus sorption characteristics of estuarine sediments under different redox conditions. *J. Environ. Qual.* 30: 1474-1480.
- RAMÍREZ, I. & P. ROA. 1994. Generalidades sobre las lagunas costeras de Venezuela. En: Manejo y aprovechamiento acuícola de lagunas costeras en América Latina y el Caribe. Proyecto Aquila II. Programa cooperativo Gubernamental. GCP/RLA/102/ITA. México. 326 pp.
- REKOLAINEN, S.1993. Assessment and mitigation of agricultural water pollution. *Publ. of the Water and Environ. Res. Inst.* 12. Nacional. Board of waters and the environment, Helsinki, Finland.72pp.
- SOKAL, R. & J. ROHLF. 1969. The principles and practice statistics in biological research. In: Biometry W. H. Freeman and Company. New York.USA.776 pp.
- TAM, N. & Y. WONG. 1995. Spatial and temporal variations of heavy metal contamination in sediments of a mangrove swamp in Hong Kong. *Mar. Poll. Bull.* 31 (4-12): 254-261.
- UUSITALO, R., E. TURTOLO, T. KAUPPILA & L. TAINA. 2001. Particulate phosphorus and sediment in surface runoff and drainflow from Clayey soils. *J.Environ.Qual.* 30: 590-595.
- VALDERRAMA, J. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Mar. Chem.* 10: 109-122.

- WALTER, D. 2003. Misuse of inorganic N and soluble reactive P concentrations to indicate nutrient status of surface waters. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 22 (2):171-181
- WETZEL, R. 1981. *Limnología*. Ediciones Omega, S. A. Barcelona-España, 379 pp.
- ZHAO, Y. & M. LIN. 1999. Separation of inorganic phosphorus from municipal wastewater by solvent extraction with primaryamine in the presence of sodium molybdate. *Chem. Speciat. Bioavailability* 11 (4): 137-141.

RECIBIDO: Julio 2007

ACEPTADO: Noviembre 2007