



# FLUJO DE MACRONUTRIENTES EN EL SUBSISTEMA HIDROLÓGICO LAGO COCIBOLCA

Selvia Flores Sánchez

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Apdo. Postal 4598, Managua, Nicaragua.  
Correo electrónico: [Selvia.flores@cira-unan.edu.ni](mailto:Selvia.flores@cira-unan.edu.ni)

## RESUMEN

La cantidad de macronutrientes que llegan al lago Cocibolca desde diferentes fuentes, podría promover la eutrofización de sus aguas, lo que provocaría su restricción para el consumo humano y retrasaría el desarrollo de las actividades económicas en su cuenca.

Con los objetivos de identificar las actividades humanas y las áreas que mayormente aportan macronutrientes, de caracterizar el estado trófico en el área de descarga y de proporcionar información de gran utilidad para el manejo de la cuenca del Lago Cocibolca, se calculó la carga de fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) aplicando dos metodologías: a) por observación directa y b) empleando el modelo Cálculo de la Carga de Nutrientes en Lagos.

Mientras la carga total modelada de fósforo indicó que la población fue la mayor aportadora, la carga calculada de nutrientes indicó que los tributarios Oyate y Tepeguasapa transportaron la mayor cantidad de fósforo, al igual que nitrógeno, entre Nov-2002 y Jul-2003. Esto se atribuyó en gran parte al uso del suelo con predominio de la actividad ganadera.

En cuanto a la carga de nitrógeno modelada, la mayor contribución se le atribuyó al uso del suelo (semejante a las cargas observadas).

En el área de descarga del lago, el fósforo se determinó como nutriente limitante, clasificándose en estado mesotrófico.

La discrepancia entre las cargas observadas y las modeladas, sugieren que se requiere de cierta precaución al aplicar los coeficientes de exportación. Por otro lado, la observación sistemática de las cargas de nutrientes debe incorporarse como un elemento básico en los programas de manejo de cuencas.

Palabras claves: Nutrientes, fuentes no puntuales, área de drenaje, coeficientes de exportación, eutrofización.

## INTRODUCCIÓN

Como resultado del incremento de la concentración de fósforo y nitrógeno, los ecosistemas acuáticos pasan de una condición oligotrófica y mesotrófica a eutrófica o hipereutrófica (Esteves, 1988; Domenech, 1995; Holdren, 2001). La eutrofización es un proceso dinámico en el que ocurren modificaciones cualitativas y cuantitativas, pudiendo ser considerado una forma de contaminación (Dodds, 2002). Este proceso limitaría el uso de las aguas del Lago Cocibolca, por ejemplo para consumo humano, así como retrasaría el desarrollo de las actividades económicas en su cuenca.

Actualmente no existen reportes sobre la cantidad de nutrientes que recibe el lago Cocibolca desde su área de drenaje. Los nutrientes (fósforo y nitrógeno) llegan al lago a través de los vertidos directos de las aguas residuales municipales e industriales, desde fuentes no puntuales (agrícola y pecuaria), por escorrentía superficial y a través de algunos tributarios (MARENA-PNUMA-OEA-MINAE, 1997).

Estimar la carga de fósforo y nitrógeno que llagan al Lago Cocibolca aplicando dos metodologías diferentes permitirá: a) identificar las actividades humanas y las áreas que contribuyen con el mayor aporte, b) caracterizar el estado trófico en el área de descarga del Lago Cocibolca y c) proporcionar información complementaria para la ejecución de programas de manejo de cuencas.



## MATERIALES Y MÉTODOS

El subsistema hidrológico Lago Cocibolca o de Nicaragua es el cuerpo de agua dulce más importante del Istmo Centroamericano y receptor de un área de drenaje de 23848 km<sup>2</sup>, de los cuales el 82.6% de esta área pertenece a Nicaragua y el resto es territorio costarricense, teniendo como única salida natural el Río San Juan (MARENA-PNUMA-OEA-MINAE, 1997).

Se seleccionaron seis de un total de 25 ríos que drenan al Lago Cocibolca, por considerarse los de mayor caudal y portadores de fuentes no puntuales de contaminación, así como un sitio en la salida o área de descarga hacia el Río San Juan (Figura 1).

Para calcular las cargas observadas se midió el caudal y se colectaron muestras de agua para análisis de fósforo y nitrógeno total entre noviembre de 2002 y julio de 2003. Los análisis se realizaron siguiendo los métodos estándares (APHA, 1999) y los reportados por Ahlgren, L & Ahlgren, G. (1992). Las cargas se dimensionaron en una escala anual utilizando la mediana de los datos por considerarse mejor estimador de tendencia central en estudios ambientales (Caruso, 2000).

Las cargas modeladas se generaron a partir de la aplicación del modelo teórico Cálculo de la Carga de Nutrientes en Lagos, desarrollado por Jørgensen y Vollenweider (1989). El modelo incluye La carga natural de fósforo (PT) y nitrógeno (NT) total según el uso y geología del suelo haciendo uso de coeficientes de exportación (mg m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>), a partir de las precipitaciones y en base al aporte per cápita anual. Éstas se calcularon en cada una de las dieciséis subcuencas agrupadas en tres vertientes (Este, Sur y Oeste) que conforman el subsistema hidrológico Lago Cocibolca y la isla de Ometepe (Figura 1).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Cargas observadas de macronutrientes

Los aportes de nutrientes incrementaron directamente en función del caudal, del régimen hidrológico local y del uso y cobertura vegetal del suelo, así como por la carga de nutrientes transportada por alguno tributarios (e.g., Mayales) que sirven de receptores de aguas residuales generadas por las actividades humanas. El mayor contribuyente de

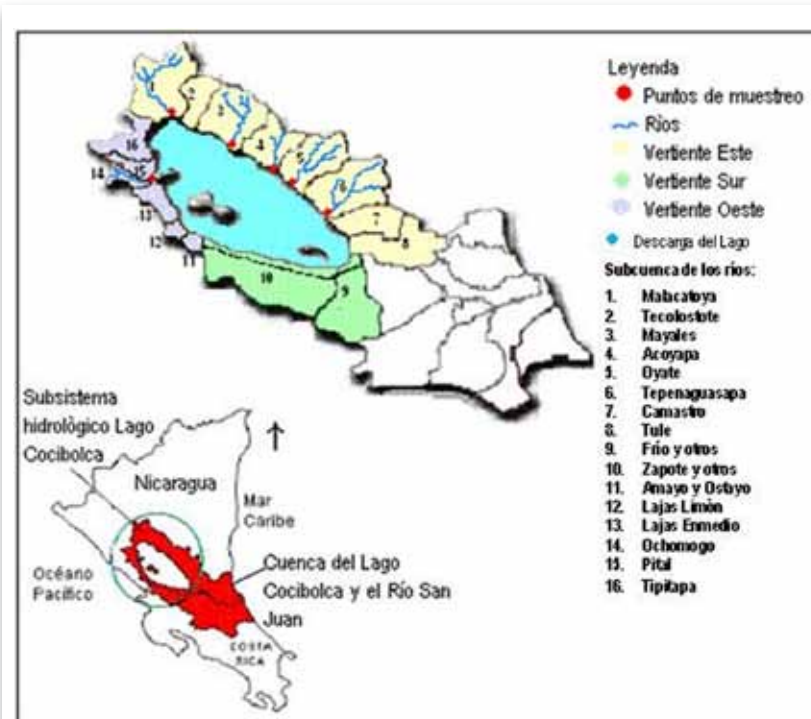


Figura 1. Área de estudio.

fósforo y nitrógeno fue el río Tepenaguasapa (Tabla 1), que con una carga específica de 90 mg P m<sup>2</sup> a<sup>-1</sup> está por encima del rango reportado por Jørgensen y Vollenweider (1989) como coeficiente de exportación para áreas ocupadas por pastos (15 – 75 mg P m<sup>2</sup> a<sup>-1</sup>), seguido por el río Oyate (Tabla 1), ambos localizados en zonas donde la pluviosidad es intensa (1800 a 2400 mm anuales) y la época lluviosa más prolongada.

En todos los ríos donde se cuantificó la carga, los aportes de fósforo y nitrógeno fueron altos particularmente durante las primeras lluvias cuando el suelo se encontraba aún desprovisto de vegetación. Esto se atribuyó en gran parte al uso del suelo con predominio de la actividad ganadera (52 a 83%), probablemente manejada inadecuadamente (sobrepastoreo en suelos frágiles, no se practica la rotación de potreros).

Cargas modeladas de macronutrientes por vertiente según el uso de suelo

Del total de la carga entrante de fósforo (317 ton a<sup>-1</sup>) y nitrógeno (40012 ton a<sup>-1</sup>) al Lago Cocibolca, modelada según el uso del suelo, la mayor contribución procede de la vertiente Este (Figura 2). Semejante a las cargas observadas, estos aportes son producto de las actividades relacionadas con el uso del suelo, las cuales utilizan el 77% del área de drenaje de la vertiente Este para el cultivo de pastos (MARENA-PROCUCENCA, 2003).



Tabla 1. Carga de macronutrientes en subcuencas/tributarios donde se aplicaron ambas metodologías.

Subcuenca/ Tributarios	Observadas (ton.a <sup>-1</sup> )		Modeladas (ton.a <sup>-1</sup> )	
	PT	NT	PT	NT
Malacatoya	9	29	131	531
Mayales	2	2	39	764
Acoyapa	1	2	46	77
Oyate	41	123	48	300
Tepenaguasapa	110	345	55	154
Ochomogo	2	4	21	207
Total	165	505	340	2033

En cuanto al aporte de la población, de un total de 350 ton.a<sup>-1</sup> para fósforo y 917 ton a<sup>-1</sup> nitrógeno, el 58% procede de la vertiente Oeste por ser el sector más densamente poblado.

Las cargas modeladas para ambos macronutrientes presentaron discrepancia en relación a las observadas (Tabla 1), siendo mayores las primeras casi en todos los casos, a excepción de la subcuenca del río Tepenaguasapa donde se reportaron aportes superiores a los modelados. Esto fue producto de la sistematicidad de las mediciones que fueron favorecidas por el régimen de circulación permanente de esta corriente, condición que no ocurre en los ríos restantes. Adicionalmente, es posible que el aporte de nutrientes desde fuentes puntuales y no puntuales no se logra cuantificar, pudiendo ser significativo entre eventos muestrales y periodos de descargas hídricas elevadas.

Los resultados indicaron que se requiere de un mayor período de recopilación de datos (al menos de 3 años) adaptado al régimen hidrológico de cada región. por otro lado, se requiere de cierta precaución al aplicar los modelos teóricos, por cuanto se pone en evidencia que las cargas observadas, si se obtienen de forma sistemática, expresan la realidad individual, que es la base fundamental para la ejecución de un programa de manejo de cuencas.

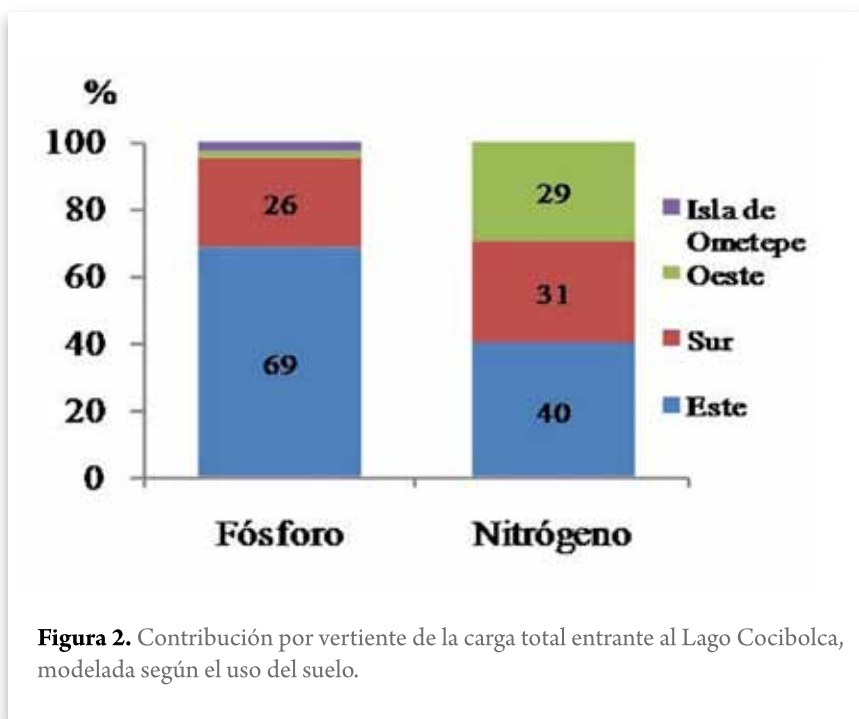


Figura 2. Contribución por vertiente de la carga total entrante al Lago Cocibolca, modelada según el uso del suelo.

### Área de descarga del Lago Cocibolca

La carga total observada para fósforo y nitrógeno que sale del Lago Cocibolca se estimó en 656 y 7602 toneladas anuales respectivamente.



Aplicando el criterio de Jørgensen y Vollenweider (1989) se determinó que en el Lago Cocibolca el nutriente limitante fue el fósforo dada la relación N:P de 15:1.

Tomando como referencia el criterio desarrollado por el CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente) para la clasificación trófica de lagos cálidos tropicales (Salas & Martino, 2001), el lago Cocibolca se clasificó en estado mesotrófico, presentando grandes cambios mensuales desde oligotrófico hasta eutrófico.

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA-UNAN) por el apoyo total en la realización de este estudio. Al Dr. August Bonmatí i Blasi de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) y a la MSc Katia Montenegro del CIRA-UNAN por sus sugerencias y revisión, así como al Dr. Al Sosiak de la Universidad de Calgary por sus valiosos y oportunos aportes.

## BIBLIOGRAFÍA

American Public Health Association, APHA (1999). Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, D. C. 20th Ed.

CARUSO, B. S. (2000). "Integrated assessment of phosphorus in the Lake Hayes catchment, South Island, New Zealand". Journal of Hydrology. Vol. 229, 168-189.

Dodds, W. K. (2002). Trophic State and Eutrophication. En: Freshwater Ecology. Concepts and Environmental Applications. Academic Press. USA, pp. 337– 365.

Doménech, X. (1995). Química del suelo. El impacto de los contaminantes. Madrid, pp. 17 – 24.

Esteves, F. A. (1988b). Nitrogênio e Fósforo. En: Fundamentos de Limnología. Río de Janeiro: Editora Interciencia Ltda., pp. 197 – 235.

Holdren, C., W. Jones, y J. Taggart. (2001a). Ecological Concepts. En: Managing Lakes and Reservoirs. N. Am. Lake Manage. Soc. and Terrene Inst. In coop. With Off. Water Assess. Watershed Prot. Div. U.S. Environ. Prot. Agency, Madison, WI, pp. 9 – 46.

Jørgensen, S. E. y Vollenweider, R. A. (1989). Directrices para la Gestión del Lagos. Vol.1: Principios Generales sobre Gestión de Lagos. International Lake Environment Committee Foundation (ILEC) and the United Nations Environment Programme. Japón, 175 pp.

MARENA-PNUMA-OEA-MINAE (1997). Manejo Ambiental y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan. Estudio de Diagnóstico de la Cuenca del Río San Juan y Lineamientos de su Plan de Acción. Washington, D.C., 1997. 265 pp.

MARENA-PROCUENCA (2003). Mapas geológicos y uso del suelo de las subcuencas del subsistema hidrológico Lago Cocibolca. Managua, Nicaragua.

Salas, H. & Martino, P. (2001). Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutrofización en Lagos Cálidos Tropicales. Programa Regional CEPIS/ HPE/OPS, 60 pp.