

ESTUDIO DE LAS CONCENTRACIONES DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN AGUAS DEL EMBALSE DE LA COPA. TOCA - BOYACÁ

STUDY OF THE CONCENTRATIONS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS IN
WATERS OF LA COPA RESERVOIR. TOCA - BOYACÁ

GABRIEL RICARDO CIFUENTES-OSORIO

Lic. en Biología y Química
Esp. Química Ambiental
MSc. Ciencias Ambientales
PhD. Ciencias y Tecnología del Ambiente y de la Tierra
Grupo de Investigación Gestión de Recurso Hídrico
Universidad de Boyacá, Colombia
grcifuentes@uniboyaca.edu.co

JOSÉ LUIS CÁRDENAS-TALERO

Ingeniero Sanitario
Mg. Urbanismo
Grupo de Investigación Gestión de Recurso Hídrico
Universidad de Boyacá, Colombia
jlcardenas@uniboyaca.edu.co

CARLOS RAFAEL LARA-MENDOZA

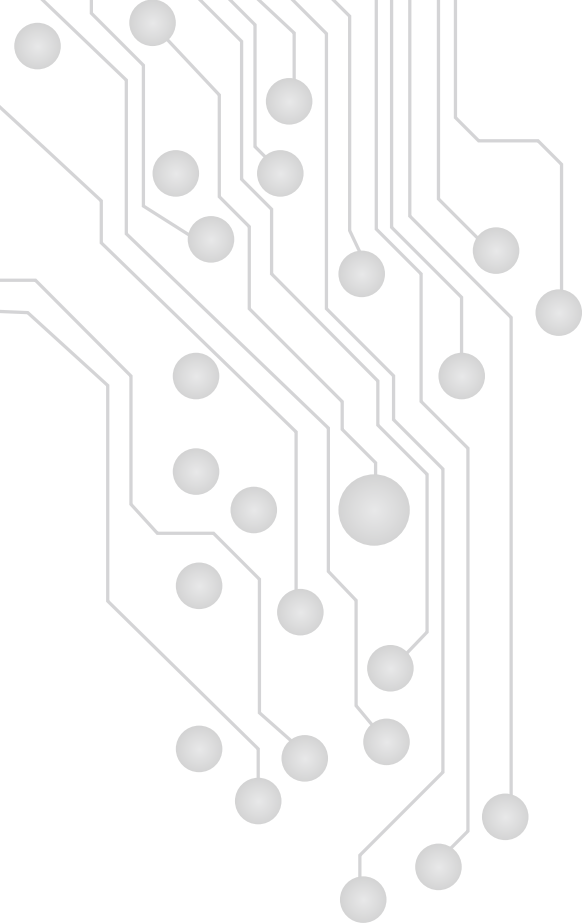
Ingeniero Sanitario
MSc. Ingeniería, área Civil
Grupo de Investigación Gestión de Recurso Hídrico
Universidad de Boyacá, Colombia
carlara@uniboyaca.edu.co

JOSÉ ÁNGEL QUIBAY-UNDA

Ingeniero Sanitario
Especialista en Ingeniería Ambiental
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Económico Sostenible
Maní – Casanare
agricultura@mani-casanare.gov.co

Recibido: 15/05/2019

Aceptado: 20/01/2020



RESUMEN

Este estudio presenta las concentraciones de nitrógeno y fósforo en los afluentes del cuerpo de agua y en el embalse de La Copa del municipio de Toca, Boyacá. Se describen las posibles causas del aumento de nutrientes en el agua y se establece la afectación de ese incremento en la calidad y disponibilidad de la fuente de agua estudiada. Se define si el embalse, de manera general, tiene capacidad de autodepuración, partiendo del análisis de sus afluentes y efluente.

La metodología empleada se soportó en un trabajo de campo que permitió reconocer los puntos estratégicos para la toma de muestras de agua. Estas fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad de Boyacá, mediante las técnicas establecidas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

A partir de los resultados, se identificó el estado trófico del embalse. Las contribuciones de nitrógeno y fósforo por parte de los afluentes hacen que el embalse se encuentre en proceso de eutrofización; un alto porcentaje de estos nutrientes se quedan retenidos en los sedimentos del embalse, matriz que cumple el papel de amortiguador. Para futuros trabajos de investigación es posible implementar actividades de seguimiento y modelación que permitan conocer con más precisión el comportamiento de estos nutrientes, como herramienta de gestión del cuerpo léntico, en la búsqueda de toma de decisiones ambientales frente a su potencial y usos posibles.

Palabras clave: embalse, afluentes, efluentes, sedimento, eutrofización, nutriente.

ABSTRACT

This study presents the concentrations of nitrogen and phosphorus in the tributaries of the water body and in the La Copa reservoir in the municipality of Toca, Boyacá. The possible causes of the increase of nutrients in the water are described and the effect of this increase on the quality and availability of the water source studied is established. It is defined if the reservoir, in general, has self-purification capacity, based on the analysis of its tributaries and effluent.

Citar este artículo así:

Cifuentes G., Cárdenas J., Lara C., Quibay J. Estudio de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en aguas del embalse de la copa. Toca - Boyacá. Revista I3+, 4(2), 9 - 22 p.p

The methodology used was based on field work that made it possible to identify the strategic points for taking water samples. These were analyzed at the Environmental Analysis Laboratory of the Universidad de Boyacá, using the techniques established in the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

From the results, the trophic state of the reservoir was identified. The contributions of nitrogen and phosphorus from the tributaries cause the reservoir to be in a process of eutrophication; a high percentage of these nutrients are retained in the reservoir sediments, a matrix that acts as a buffer. For future research, it is possible to implement monitoring and modeling activities that will allow us to know more precisely the behavior of these nutrients, as a management tool for the lentic body, in the search for environmental decision making regarding its potential and possible uses.

Keywords: Reservoir water, Tributaries, Effluent, Sediment, Eutrophication, Nutrient

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el uso y manejo del recurso hídrico en las poblaciones es afectado por procesos naturales de depuración, procesos de contaminación y por la acción antropogénica. Dentro de estos recursos están los cuerpos de agua lénticos como los embalses. Un lago puede presentar diferentes estados tróficos, dentro de los que se encuentra la oligotrofia, que es la propiedad de las aguas de lagos con un bajo contenido de nutrientes en un ecosistema acuático. Otro estado es la mesotrofia, la cual se define como la propiedad de las aguas que contienen cantidades intermedias de nutrientes, mientras que el estado de eutrofia se presenta por un enriquecimiento de las sustancias nutritivas en el agua, como el nitrógeno y el fósforo principalmente (Vásquez, C Ariza y A Pinilla, G. 2009).

Dentro de los embalses se crean subsistemas que modifican algunos ecosistemas y producen efectos positivos y negativos. Dentro de los efectos negativos se encuentra la eutrofización, que consiste en el aumento de las concentraciones de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, entre otros. (González, E., et al 1998). La eutrofización es una alteración prácticamente inherente a la construcción de embalses y a su explotación. Ciertamente, existen diferentes tipos de embalses y no en toda la eutrofia se manifiesta con la misma intensidad. Por la misma razón, no siempre son aplicables con igual éxito las distintas medidas de atenuación del grado de eutrofia que se conocen (Palau I., 2003). El estado de eutrofia se presenta por un enriquecimiento de las sustancias nutritivas en el agua que puede generar

un mayor nivel de productividad y de biomasa, pero con aguas pobres en oxígeno y un crecimiento de plantas acuáticas (Margalef., 1983). Las consecuencias de este fenómeno son el crecimiento de algas y plantas macrófitas, la disminución del contenido de oxígeno disuelto en el agua, la alteración de las propiedades organolépticas y la acumulación de amonio en el cuerpo de agua, que termina causando la muerte de muchas especies como peces y microorganismos.

En este caso, una de las principales problemáticas ambientales que se evidencia en el cuerpo de agua del embalse de la Copa es el incremento desmedido de la materia orgánica por las descargas de las fuentes tributarias. Ante la posible afectación al cuerpo hídrico, se evaluó la dinámica que presentan los nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, para evidenciar posibles problemas en el ecosistema, como la afectación de la biota, la disminución de oxígeno disuelto, la alteración en la calidad del agua y eutrofización, entre otras.

Los resultados del estudio tienen potencial importancia para la planeación económica de la región, dado que la fuente tiene como principales usos el agrícola, el turístico y el de abastecimiento de agua. Se pretende igualmente establecer la capacidad amortiguadora del cuerpo hídrico, teniendo en cuenta que a él le aportan afluentes como el río Toca, el río San Francisco y el río Chorrera.

METODOLOGÍA

El diseño metodológico empleado fue el siguiente:

1. Recopilación de información base (línea base). Esta actividad pretendió generar una visión detallada del área de influencia del proyecto y del área de estudio.
2. Reconocimiento de la zona del embalse de la Copa en el municipio de Toca, Boyacá. Esta actividad implicó no solo reconocimiento físico, sino también de entidades y personas encargadas de la supervisión y administración del embalse.
3. Planeación de las actividades de campo. Se organizaron las campañas de muestreo, para identificar los niveles de los nutrientes estudiados. En un sistema léntico como el embalse de la Copa es importante localizar estaciones en proximidades a los afluentes, así como a lo largo de sus gradientes (CAR, 2006). Los muestreos se realizaron en diferentes condiciones climáticas, durante un tiempo de seis meses, con una periodicidad de uno mensual.
4. Para la toma de muestras se seleccionaron ocho puntos de muestreo en el embalse distribuidos de la siguiente forma: dentro del embalse, cuatro puntos; uno en el centro; y los tres restantes a 500 m de cada afluente del embalse, tal como se expone en la guía para la formulación del plan de saneamiento

y manejo de vertimientos de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2006). En cada punto de muestreo dentro del embalse se evaluaron concentraciones a diferentes profundidades dentro de la columna de agua, además de una superficial y otras dos a 3 m y 12 m de profundidad, respectivamente. En cada uno de los tres afluentes del embalse, río Toca, río San Francisco y río Chorrera, se definió un punto para toma de muestra puntual y de la misma manera se definió para el efluente del embalse.

5. Análisis de laboratorio. Los análisis se hicieron en el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad de Boyacá. A cada muestra se le realizaron pruebas de laboratorio para cuantificar las características fisicoquímicas de interés para el estudio y, posteriormente, relacionar entre sí el contenido de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total y fósforo total en forma de ortofosfatos presentes en cada muestra. En la siguiente figura se describe en forma resumida el esquema experimental que se utilizó para la realización del trabajo.

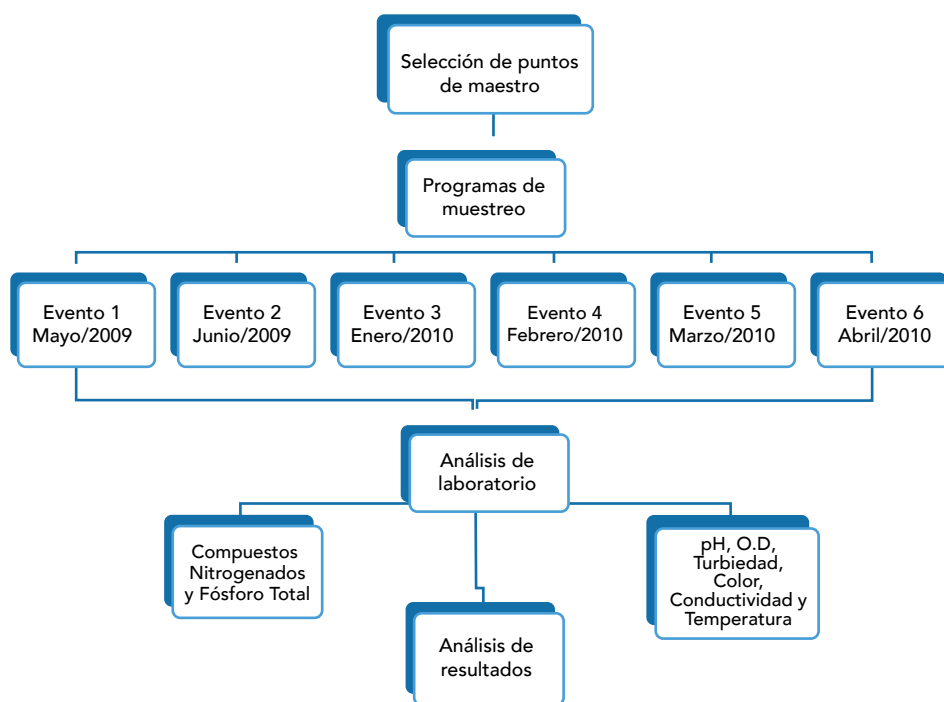


Figura 1. Esquema general experimental de la metodología.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados en cada campaña de muestreo y las técnicas analíticas empleadas se presentan en la siguiente tabla. Standard Methods (2005)

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos analizados y técnicas analíticas empleadas.

Parámetro	Metodología
pH	Potenciometría
Conductividad	Potenciometría
Color	Espectrofotometría
Turbiedad	Nefelometría
Oxígeno Disuelto	Método directo, sonda D.O 200
Nitrógeno Amoniacal	Kjeldahl
Nitrógeno Orgánico	Kjeldahl
Nitritos	Espectrofotometría
Nitratos	Espectrofotometría
Fósforo Total	Método cloruro estannoso por colorimetría.

6. Modelos empleados para la determinación del estado trófico. Un enriquecimiento de nutrientes en las aguas puede causar un exceso de estos y una disminución del oxígeno disuelto. Eso se traduce en una afectación sensible y significativa del recurso hídrico. Para establecer la situación del embalse de la Copa, se seleccionaron dos modelos para la predicción de su estado en función de las concentraciones de nutrientes encontradas.

El primero, conocido como Índice de Contaminación Trófico (ICOTRO), se fundamenta en la concentración de fósforo total y estandariza por sí mismo una categoría discreta (Jaimes., E. 2002). La siguiente tabla presenta la caracterización de cuerpos lénticos en función de su estado trófico, de acuerdo con lo establecido por el ICOTRO.

Tabla 2. Índice de Contaminación Trófico (ICOTRO).

ICOTRO	Fósforo Total (mg/L)
Oligotrófico	< 0,01
Mesotrófico	0,01-0,02
Eutrófico	0,02-1,00
Hipereutrofia	> 1,00

Fuente: (Ramírez, 1998).

El segundo índice empleado es el planteado por Vollenweider (1968). Este presenta dos clasificaciones de los lagos, una de acuerdo con el contenido de amoníaco, nitritos y nitratos y, la otra, con base en la concentración de fósforo total (Roldan, 1992). Las clasificaciones se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 3. Clasificación de lagos según sus concentraciones de compuestos nitrogenados.

Tipo de Lago	Amoníaco (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)
Oligotrófico	0,0-0,3	0,0-1,0	0,0-0,5
Mesotrófico	0,3-2,0	1,0-5,0	0,5-5,0
Eutrófico	2,0-15,0	5,0-50,0	5,0-15,0

Fuente: (Roldan, 1992).

Tabla 4. Clasificación de lagos según su concentración de fósforo total.

Estado Trófico	Fósforo Total (mg/L)
Ultraoligotrófico	Menos 0,005
Oligomesotrófico	0,005-0,010
Mesoeutrófico	0,010-0,030
Eupolitrófico	0,030-0,1
Politrófico	mayor de 0,1

Fuente: (Roldan, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las siguientes tablas y figuras presentan los resultados de los análisis de agua, particularmente de nitrógeno y sus diferentes formas, hechos sobre las muestras tomadas en la columna ubicada en el centro del embalse, los resultados correspondientes a las muestras tomadas en la superficie y los tomados a tres metros de profundidad (denominada profundidad 1) y a doce metros de profundidad (denominada profundidad 2).

La Figura 2 muestra el comportamiento del nitrógeno en sus cuatro formas predominantes como los diferentes perfiles de profundidad, y describe principalmente la diferencia encontrada en cada punto de muestreo dentro de la columna de agua.

Tabla 5. Variación de las concentraciones de nitrógeno en el centro del embalse a diferentes profundidades.

PUNTO PARÁMETRO	CENTRO EMBALSE											
	Embalse Superficial				Embalse Profundidad 1				Embalse Profundidad 2			
	Nitrógeno Amoniacal NH ₃	Nitrógeno Orgánico Total	Nitritos NO ₂	Nitratos NO ₃	Nitrógeno Amoniacal NH ₃	Nitrógeno Orgánico Total	Nitritos NO ₂	Nitratos NO ₃	Nitrógeno Amoniacal NH ₃	Nitrógeno Orgánico Total	Nitritos NO ₂	Nitratos NO ₃
MUESTREO	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1	5,050	5,400	0,892	0,137	7,280	8,600	0,488	0,137	4,750	7,300	0,504	0,137
2	5,870	5,260	3,000	0,000	5,240	6,820	4,000	0,000	-	-	-	-
3	1,120	5,600	0,472	0,010	1,680	6,720	0,488	0,020	2,800	5,600	0,519	0,025
4	2,240	2,800	0,501	0,133	7,840	6,720	0,473	0,133	5,040	5,600	0,501	0,133
5	4,480	5,600	0,523	0,010	7,840	2,800	0,532	0,010	8,400	8,400	0,639	0,020
6	1,680	2,800	0,576	0,133	2,240	1,680	0,648	0,133	1,680	4,480	0,748	0,133
PROMEDIO	3,407	4,577	0,961	0,070	5,353	5,557	1,105	0,072	4,534	6,276	0,582	0,089
MÁXIMO	5,870	5,600	3,000	0,137	7,840	8,600	4,000	0,137	8,400	8,400	0,748	0,137
MÍNIMO	1,120	2,800	0,472	0,000	1,680	1,680	0,473	0,000	1,680	4,480	0,501	0,020
Desviación Estándar	1,974	1,382	1,002	0,070	2,803	2,690	1,420	0,068	2,569	1,557	0,109	0,061

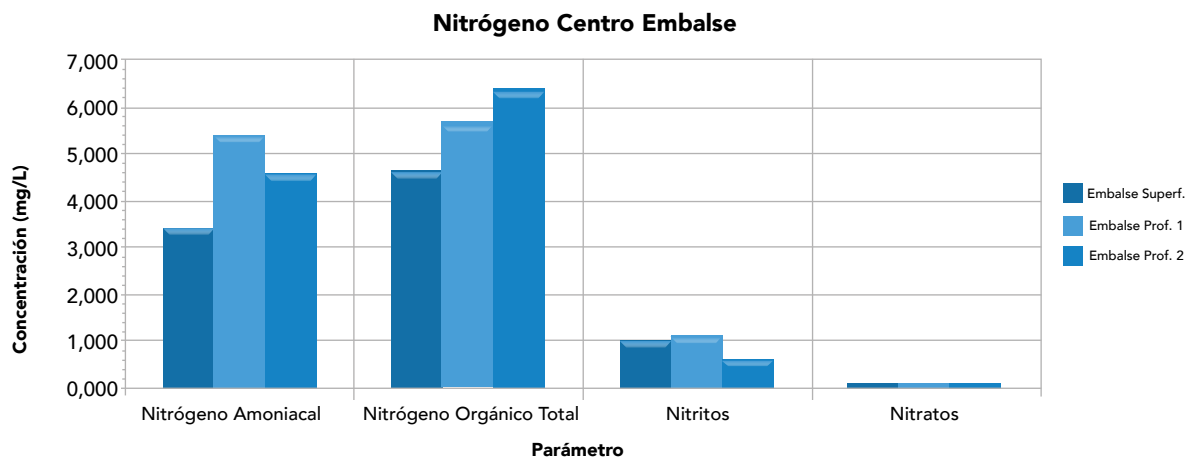


Figura 2. Variación de las concentraciones de nitrógeno en el centro del embalse a diferentes profundidades.

En promedio, para la columna de agua los valores de nitrógeno amoniacal fueron aumentando a medida que aumentó la profundidad, debido posiblemente al descenso de los niveles del oxígeno disuelto en el agua. Esto pudo haber desarrollado condiciones de anoxia y el prevalecimiento de un ambiente reducido. Las concentraciones alcanzaron un valor máximo en la superficie de 5,8 mg/L y en la profundidad un valor máximo de 8,4 mg/L.

El nitrógeno orgánico total presentó un patrón de comportamiento y variación similar al del nitrógeno amoniacal, como consecuencia de las altas concentraciones de este último y, probablemente, por la presencia de concentraciones de materia orgánica sedimentada.

El nitrógeno de nitratos registró valores menores en la superficie (0,070-0,072 mg/L NO₃), mientras que en la profundidad su valor promedio fue de 0,089 mg/L NO₃. También se puede observar que las concentraciones de nitratos disminuyen cuando asciende el nivel de las aguas sobre el embalse, debido posiblemente a la presencia de lluvias y como consecuencia del efecto de dilución.

El nitrógeno en forma de nitritos registró concentraciones promedio de 0,961 mg/L NO₂ en la profundidad, los cuales fueron disminuyendo a medida que ascendió a la superficie hasta llegar a 0,582 mg/L NO₂.

De manera análoga, se presentan los resultados de las mediciones de fósforo como ortofosfatos en el centro del embalse, muestras tomadas a las mismas profundidades descritas para el caso de nitrógeno. La siguiente tabla presenta los resultados de las diferentes campañas de muestreo.

Tabla 6. Variación de las concentraciones de ortofosfatos en el centro del embalse a diferentes profundidades.

CENTRO EMBALSE			
PUNTO	Embalse Superficial	Embalse Profundidad 1	Embalse Profundidad 2
PARÁMETRO	ORTOFOSFATOS	ORTOFOSFATOS	ORTOFOSFATOS
MUESTREO	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1	0,046	0,033	0,032
2	0,000	0,006	-
3	0,031	0,034	0,039
4	0,033	0,029	0,032
5	0,031	0,036	0,051
6	0,012	0,011	0,015
PROMEDIO	0,026	0,025	0,034
MÁXIMO	0,046	0,036	0,051
MÍNIMO	0,000	0,006	0,015
Desviación Estándar	0,017	0,013	0,013

La tabla 6 y la figura 3 presentan el comportamiento de las concentraciones de ortofosfatos en la columna del centro del embalse. Allí, los valores registrados muestran unas bajas concentraciones durante todo el periodo de estudio. Los patrones de variación de los ortofosfatos fueron similares en los diferentes muestreos, lo que evidenció una tendencia de aumento en la concentración, a medida que aumentó la profundidad, y se obtuvieron valores promedio en un rango de 0,025 a 0,034 mg/L.

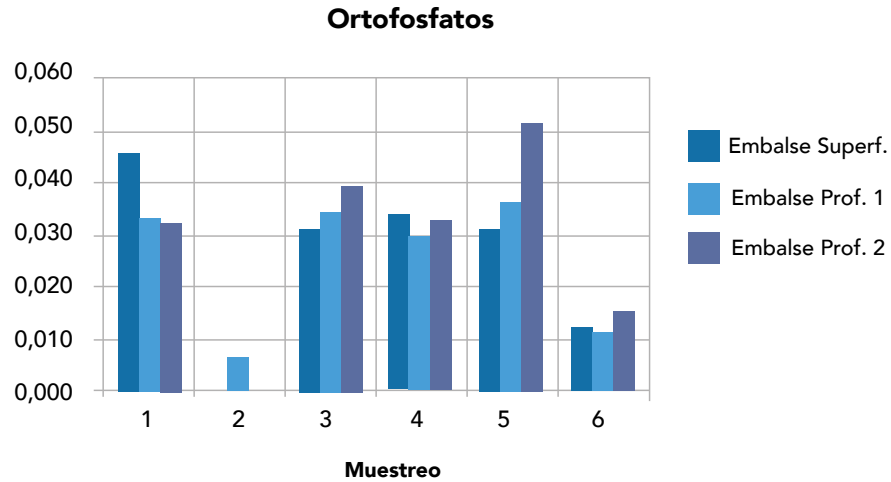


Figura 3. Variación de las concentraciones de ortofosfatos en el centro del embalse a diferentes profundidades.

En la figura 4 se aprecia el comportamiento del nitrógeno y el fósforo en el centro del embalse durante todo el periodo de estudio. Allí se hace evidente la existencia de variaciones en las concentraciones medidas durante los muestreos.

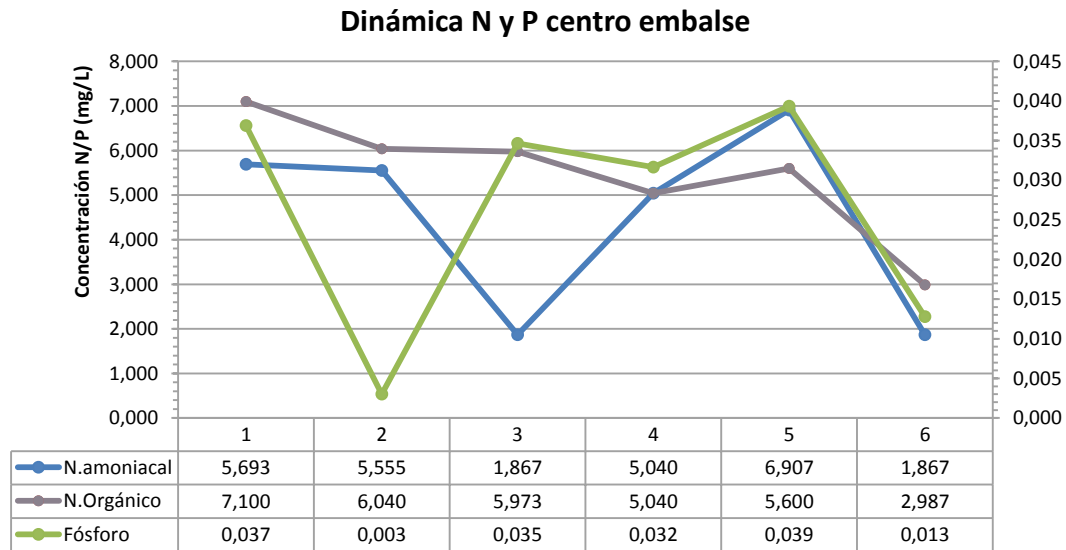


Figura 4. Dinámica del nitrógeno y el fósforo en el centro del embalse durante el periodo evaluado.

Ahora bien, como se mencionó en la metodología, se tomaron muestras puntuales cercanas a la desembocadura de los afluentes en el embalse. Los resultados de las mediciones se presentan en la figura 5.

Se puede observar en dicha figura que los afluentes realizan un aporte considerable al sistema, de acuerdo con las concentraciones medidas en cercanía a las desembocaduras. En el centro del embalse, sin embargo, el efecto de dichas concentraciones no es notorio. Allí se observa un descenso de estos nutrientes que busca mantener una relativa estabilidad. Luego, se evidencia una disminución sustantiva en la concentración de los nutrientes evaluados a la salida (efluente) del embalse. Esto demuestra que parte de estos nutrientes están siendo retenidos en los sedimentos, los cuales cumplen la función amortiguadora dentro del embalse.

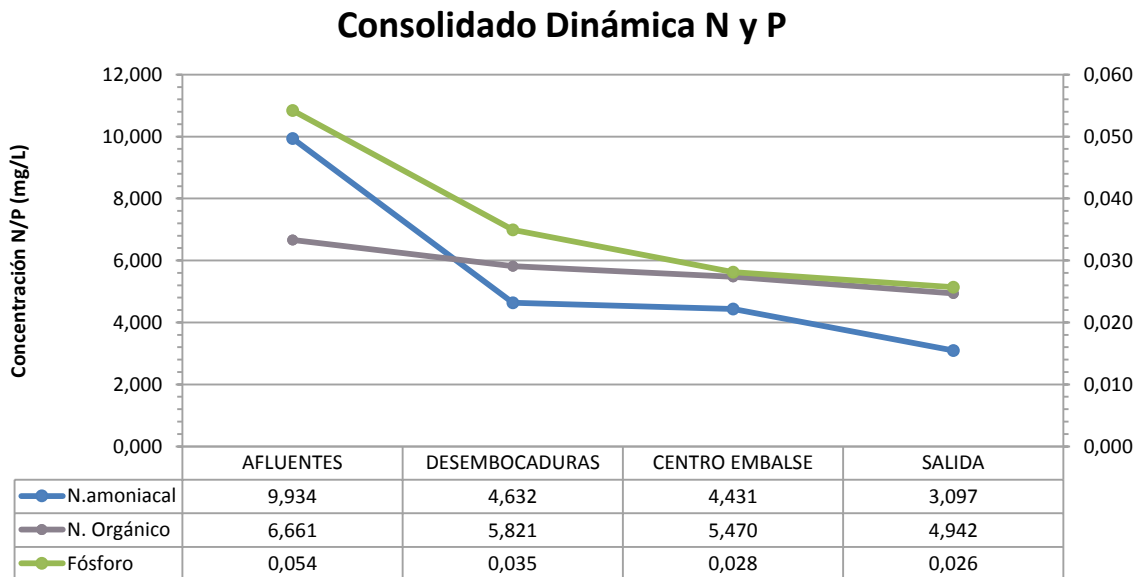


Figura 5. Consolidado de la dinámica del nitrógeno y el fósforo en el sistema del embalse de la Copa.

De acuerdo con los resultados se puede determinar el estado trófico actual del cuerpo léntico evaluado. El embalse de la Copa, según su concentración de fósforo total en su forma predominante de ortofosfatos, reporta un valor promedio en el centro de 0,028 mg/L PO_4 . De acuerdo con esto, el estado trófico del embalse puede considerarse como eutrófico, teniendo en cuenta el ICOTRO (Ramírez, 1998). Así mismo, según la clasificación de los lagos con base en la concentración de fósforo, propuesta por Vollenweider (1968), el embalse se considera mesoeutrófico, puesto que la concentración de fósforo

se encuentra entre 0,010-0,030 mg/L (Roldan, 1992). Lo anterior refleja un ecosistema rico en nutrientes, lo cual se configura en una circunstancia potencialmente perjudicial para el cuerpo hídrico y los seres vivos que lo habitan, pues cabe la posibilidad de una sobrepoblación de material vegetal en la superficie del embalse, que alteraría la dinámica normal de transferencia de oxígeno desde la superficie atmosférica hasta el cuerpo hídrico. Eso afectaría el ciclo normal de vida de los seres vivos que habitan el embalse.

De acuerdo con el contenido de nitrógeno amoniacal presente en el centro del embalse, cuya concentración promedio es de 4,43 mg/L NH_4 , se puede inferir que dicha concentración se encuentra dentro del rango propuesto para la clasificación de lagos hecha por Vollenweider (1968), la cual plantea una categoría entre 2,0-15,0 mg/L NH_4 (Roldan, 1992) para considerar este cuerpo de agua como eutrófico. Eso confirma lo expuesto para las concentraciones encontradas en el caso de los ortofosfatos.

CONCLUSIONES

El comportamiento del nitrógeno tanto amoniacal como orgánico a lo largo del cuerpo de agua, desde la entrada del sistema (afluentes) hasta que sale del mismo (efluente), sufre unas fluctuaciones importantes en sus concentraciones, lo que demuestra el carácter amortiguador del embalse. Las concentraciones promedio aportantes por los afluentes corresponden a 6,661 mg/L NH_4 y 9,934 mg/L nitrógeno orgánico total; en el centro del embalse esta concentración promedio es de 4,431 mg/L NH_4 y 5,47 mg/L de nitrógeno orgánico total, y en su efluente este valor promedio corresponde a 3,097 mg/L NH_4 y 4,942 mg/L de nitrógeno orgánico total. El efecto amortiguador se nota en la disminución considerable de la concentración de este nutriente en el embalse de la Copa, efecto asociado a la función acumuladora de los nutrientes que está siendo ejecutada por los sólidos sedimentados al interior de él. De la misma manera, las concentraciones de amonio indican la existencia de procesos de contaminación reciente, puesto que la concentración del ion amonio es mayor respecto a la de las otras formas predominantes de nitrógeno, como los nitritos y nitratos, siendo estas dos formas de nitrógeno resultados de procesos de reducción del nitrógeno amoniacal.

El fósforo sufre fluctuaciones en cuanto a sus concentraciones dentro del sistema. Los aportes hechos por los afluentes corresponden a una concentración promedio de 0,054 mg/L PO_4 ; en el centro del embalse, 0,028 mg/L PO_4 ; y en su efluente 0,026 mg/L PO_4 , lo que muestra una disminución en su concentración y una retención de este elemento. De esa manera, se fomenta el crecimiento de algas y otros organismos biológicos, lo que aporta a procesos de eutrofización dentro del embalse.

La capacidad de autodepuración del embalse se nota en los valores de concentración de nitrógeno y fósforo que entran y salen de él. La relación de porcentajes de nutrientes indica que el embalse retiene en promedio entre 60 % y 50 % del nitrógeno y el fósforo que es aportado por sus tributarios, respectivamente.

Teniendo en cuenta que el cálculo de la relación Nitrógeno-Fósforo (N:P) es mayor a 10 (cálculo hecho a partir de las concentraciones medidas), y sabiendo que el fósforo tiende a ser el nutriente limitante cuando la relación de N:P supera dicho valor (AINSA, 1986), esta relación sirve para demostrar que el fósforo como elemento limitante influye sobre la producción primaria y pone en riesgo la estabilidad de la estructura trófica del embalse.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación de Ingenieros Sanitarios de Antioquia. AINSA. (1986). Caracterización pretratamiento de las aguas residuales industriales.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. (2006). Guía para Formulación del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, Ministerio ambiente y vivienda territorial. http://www.car.gov.co/documentos/4_20_2006_10_27_22_AM_Guia_Elaboración_PSMV_0306.pdf
- Eaton A. D., Franson M. A. H. (2005). Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. American Public Health Association. 1200 p.
- González, E. J. y Ortaz, M. (1998). Efectos del enriquecimiento con N y P sobre la comunidad del fitoplancton en microcosmos de un embalse tropical (La Mariposa). [s.n.], 27-34. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77441998000100002&lng=es&nr-m=iso. ISSN 0034-7744. <https://doi.org/10.15517/rbt.v46i1.19349>
- Jaimes Vera, E. R. (2002). Establecimiento del índice de contaminación trófico (ICOTRO) e índices de Carlson para el N y F para el Lago Tota (Boyacá). Trabajo de grado (Ingeniero Sanitario). Universidad de Boyacá. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- Margalef, R. (1983). Limnológica. Omega. www.librospdf.net/limnologia-Margalef/1/ - España.
- Palau Ibars, A. (2003). Medidas de gestión y adecuación ambiental de embalses frente a la eutrofia. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.limnetica.com/es/medidas-de-gesti%C3%B3n-y-adecuaci%C3%B3n-ambiental-de-embalses-frente-la-eutrofia>. <https://doi.org/10.23818/limn.22.01>
- Ramírez González, A., Viña-Vizcaíno, G. (1998). Limnología Colombiana. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Roldán, G. (1992). Fundamentos de Limnología Neotropical. Universidad de Antioquia.

Roldán, G., Bohórquez, A., Cataño, R., Ardilla, G, et al. (2000). Estudio Limnológico del embalse del Guavio. Revista Académica Colombiana de la Ciencia. 24(90), 73-84. <http://www.accefyn.org.co/PubliAcad/Periodicas/Volumen24/90/73-84.pdf>.

Vásquez, C. Ariza y A. Pinilla, G. (2009). Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano cundiboyacense. Revista de la Facultad de Ciencias Pontificia Universidad Javeriana. 11. <http://site.ebrary.com/lib/bibliotecauniboyacas/p/docDetail.action?docID=10307155&p00=embalses%20%20colombia>.

Vollenweider, R.A. (1968) Water Management Research: Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, with Particular Reference to Phosphorus and Nitrogen as Factors in Eutrophication. Organization for Economic Cooperation and Development, Report No. DAS/CSI/68.27.