

CONTRIBUCIÓN DE UN AFLUENTE TRIBUTARIO A LA EUTROFIZACIÓN DEL LAGO DE TOTA (BOYACÁ, COLOMBIA)

CONTRIBUTION OF A TRIBUTARY STREAM TO EUTROPHICATION OF LAKE TOTA (BOYACÁ, COLOMBIA)

CONTRIBUIÇÃO DE AFLUENTES À EUTROFIZAÇÃO DO LAGO TOTA (BOYACÁ, COLÔMBIA)

Johanna P. Abella G., María J. Martínez C.^{1,2}

Recibido: 30/05/2011 – Aceptado: 16/07/2012

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue caracterizar fisicoquímicamente la corriente Las Cintas, afluente al lago de Tota, ubicado en el departamento de Boyacá. Se determinaron los parámetros de temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, DQO, DBO₅, concentración de especies de nitrógeno (nitratos y nitritos) y concentración de especies de fósforo (fósforo total, fósforo hidrolizable total, ortofosfato total y fósforo orgánico total), para lo cual se efectuaron seis muestreos entre septiembre y noviembre del 2009, en cinco puntos seleccionados sobre la corriente. Estos análisis se realizaron siguiendo metodologías normalizadas para el análisis de aguas. En los resultados se observan comportamientos de poca variabilidad en los parámetros de temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto; en cuanto al aporte de nitratos, se determinó que el desarrollo de culti-

vos en las proximidades de la corriente aumenta la concentración de estos iones, que pueden ser arrastrados al lago. Respecto a las diferentes especies de fósforo evaluadas permiten establecer la escasa contribución de fósforo orgánico hacia el cuerpo de agua, además del aporte significativo de fósforo por detergentes vertidos en la corriente. Basándose en la caracterización efectuada, se puede establecer que la actividad agrícola aporta nutrientes que probablemente favorecen el desarrollo del proceso de eutrofización en el lago de Tota.

Palabras clave: eutrofización, nitratos, fósforo, actividad agrícola, lago de Tota.

ABSTRACT

The aim of this study was to characterize physicochemically "Las Cintas" stream located at Tota Lake, Boyacá

¹ Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.}

² mjmartinezc@unal.edu.co

department. Temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen, COD, BOD₅, concentration of nitrogen (nitrates and nitrites) and phosphorus (total phosphorus, total hydrolysable phosphorous, total orthophosphate and total organic phosphorus) were measured. To perform the characterization, samples were collected in six sampling dates, between September and November of 2009, at five points selected along the stream. The analyses were carried out following normalized procedures for water analysis. The results obtained show little changes in temperature, pH, conductivity and dissolved oxygen behavior; Nitrate values indicating that the proximity of the crops to the stream, rises the concentration of these ions, which can be carried to the Lake by run off; The different phosphorous species evaluated allow to establish the highest contribution of organic phosphorus towards the water body, and the input of phosphorous by detergents spilled in the stream. With results it can be established that onions crops provides nutrients which probably support eutrophication processes at the Lake Tota.

Key words: eutrophication, nitrates, nitrites, phosphorous, crop growth, Lake Tota.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi caracterizar aphysicochemically afluente do Lago Tota localizada no departamento de Boyacá, e afluente do Lago Tota. Para determinar os parâmetros de temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, DQO, DBO₅ concentração de espécies de nitrogênio (nitrito e nitrito) e da concentração de fósforo de espécies

(fósforo total, fósforo hidrolisável total, fósforo total e ortofosfato orgânico total) para os quais seis amostras foram realizadas entre setembro e novembro de 2009 em cinco pontos selecionados no fluxo. Estes testes foram realizados de acordo com metodologias padronizadas para análise de água. Os resultados de comportamento, de pouca variabilidade nos parâmetros de temperatura, pH, condutividade e oxigênio dissolvido na ingestão de nitrito, foi determinado que o desenvolvimento das culturas nas proximidades do córrego aumenta a concentração destes íons pode sendo jogado no lago, enquanto que as diferentes espécies de fósforo possível estabelecer a baixa contribuição de fósforo orgânico o corpo de água, além de significativa contribuição das descargas de fósforo em detergente no córrego. Com base na caracterização realizada, você pode definir que a agricultura fornece nutrientes que estimulam o desenvolvimento da eutrofização no Lago Tota

Palavras-chave: eutrofização, nitrito, fósforo agricultura, Lago Tota

INTRODUCCIÓN

La eutrofización ha sido identificada como la principal causa de deterioro de la calidad del agua, que puede restringir su uso para pesca, recreación, industrial y de consumo (1, 2). La eutrofización es un proceso que puede ser irreversible, que se presenta en los ecosistemas acuáticos lénticos como respuesta al enriquecimiento de ciertos nutrientes (3), llevando al perjuicio de la calidad del agua por el incremento abundante en la densidad de las comunidades de fitoplancton (4), las cuales poseen un

periodo de vida relativamente corto, por lo que al morir y ser descompuestas por las bacterias aeróbicas provocan la disminución del oxígeno disuelto en el agua (5), desarrollando condiciones hipóxicas o anóxicas, creando medios letales para el desarrollo óptimo de organismos vivos.

El enriquecimiento del agua por nutrientes se debe a dos fuentes: la primera de origen natural, siendo este un proceso lento; la segunda por actividades humanas, donde se incrementa dramáticamente la concentración de nutrientes (6). Dentro del aporte en el incremento de nutrientes por actividades humanas se encuentran como fuentes principales la escorrentía de nutrientes y pesticidas proveniente de áreas dedicadas a la agricultura, además del vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales (6,7, 8, 9).

El proceso de eutrofización genera cambios en las reservas de agua, tanto biológicas como físicas y químicas. Los cambios biológicos se deben al aumento considerable del fitoplancton y la actividad microbiana, acompañado de una disminución en fauna acuática por la mortalidad de las especies generado por la disminución del oxígeno disuelto. Los cambios físicos se presentan cuando el agua se torna parda y maloliente, debido a que empiezan a predominar bacterias anaerobias que generan CH_4 y H_2S como producto de la descomposición de la materia orgánica. Los cambios químicos se deben a la disminución en la concentración de oxígeno disuelto llevando a condiciones anóxicas donde el zooplancton del cuerpo de agua muere, aumentando la demanda bioquímica de oxígeno

(DBO_5). Los nutrientes que influyen en el proceso de eutrofización son los fosfatos y nitratos (3-10).

De acuerdo con la Agencia Ambiental Europea y otros investigadores, la principal fuente de contaminantes de nitrógeno es la escorrentía proveniente de cultivos, mientras que la contaminación por fósforo proviene, además de escorrentía, por el vertimiento de residuos industriales y domésticos a los cuerpos de agua, principalmente de detergentes a base de fósforo (9, 11, 12, 13).

El lago de Tota es el segundo en importancia en Colombia y el segundo en Latinoamérica. La principal actividad económica de la región se fundamenta en la siembra de cebolla larga (*Allium fistulosum*), considerándose como monocultivo de la región del lago de Tota; a pesar de esto, se desarrollan otras actividades ganaderas y agrícolas como la siembra de papa, haba, arveja y maíz (14). Los sembradíos de cebolla cubren más del 95 % del área plana cultivable de la cuenca del lago de Tota en la zona de Aquitana; allí se encuentran 5239 predios donde se cultiva cebolla, con una producción anual aproximada de 180 000 ton (15). En estos cultivos anualmente se aplican a los suelos cerca de 430 ton de plaguicidas y 63 450 ton de gallinaza, sin control alguno sobre la dosificación y la frecuencia de aplicación, representando un riesgo potencial de contaminación de las aguas del lago. A esto hay que añadir el vertimiento de aguas residuales domésticas del municipio de Aquitania que van sin control alguno directamente al lago (14).

La utilización de la gallinaza como fuente de fertilización del cultivo de ce-

bolla y su aplicación superficial alrededor de la planta ha llevado a considerar a algunos investigadores que esta práctica resulta contraproducente, desde el punto de vista ambiental, haciendo necesario evaluar los requerimientos de fertilización orgánica de estos cultivos (16) con lo que se lograría evitar la adición excesiva de gallinaza, disminuyendo el riesgo de contaminación que esta pueda generar en el lago, rodeado a escasos metros de distancia por el cultivo de cebolla.

En este estudio se caracterizó físico-químicamente la corriente Las Cintas, afluente del lago de Tota, estableciendo la incidencia de la actividad agrícola sobre los niveles de contaminantes, específicamente iones eutroficantes, aportados por escorrentía al lago.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio

El lago de Tota se localiza sobre la cordillera Oriental colombiana, en el centro-oriente del departamento de Boyacá. Se encuentra ubicado a 3015 msnm y almacena 1920 millones de m³ de agua, con una profundidad máxima de 60 m y temperatura promedio de 11 °C (9). La superficie de la cuenca del lago tiene una extensión de 201 km², de los cuales 55

km² son de espejo de agua, que abarca los municipios de Aquitania, Tota y Cuítiva (15).

La corriente Las Cintas recorre varios predios que se encuentran sembrados con cebolla larga. El caudal promedio de la corriente medido en dos puntos diferentes (A) (ancho 110 cm, profundidad 19,3 cm, velocidad 7,39 cm s⁻¹, flujo 11549) y (D) (ancho 60 cm, profundidad 22,2 cm, velocidad 8,17 cm s⁻¹, flujo 5243).

Datos climatológicos del periodo de estudio

En la Figura 1 se muestran los datos de precipitación diaria en mm y temperatura media diaria de la zona de estudio (municipio Sogamoso), facilitados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Las temperaturas medias oscilaron entre un mínimo de -0,7 °C el 30 de octubre del 2009 y un máximo de 11,6 °C el 8 de noviembre del 2009. Con respecto a las precipitaciones, se observa intermitencia en estas durante la época de estudio. El acumulado en los días de septiembre fue de 0 mm, de 75,6 mm en octubre y de 125 mm en noviembre. Los días más lluviosos correspondieron al 15 de octubre y el 4 de noviembre, con 26,5 mm y 24 mm respectivamente.

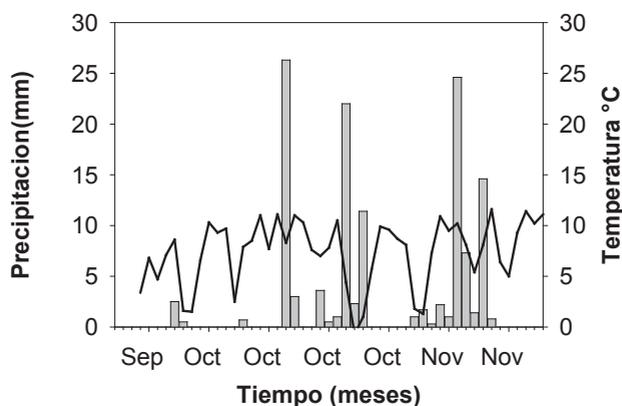


Figura 1. Temperaturas medias diarias (-) y precipitaciones acumuladas diarias en la zona de estudio ().

Toma de muestras

Se seleccionaron cinco puntos de muestreo sobre la corriente Las Cintas, ubicada en la vereda Hatolaguna, los cuales fueron definidos como: punto blanco (A), donde no hay presencia de cultivos; punto antes de la unión de un afluente de la corriente (B); punto después de la unión afluente-corriente (C); punto después de algunas fincas donde se cultiva cebolla (D), y punto antes de la desembocadura de la corriente al lago de Tota (E). Se realizaron seis muestreos durante los meses de septiembre a noviembre del 2009, en las fechas presentadas en la Tabla 1. El tipo de muestreo realizado fue puntual, y las muestras tomadas en cada punto fueron superficiales. Se tomaron cinco muestras de agua por día y punto de muestreo con volúmenes comprendidos entre los 250 ml y 1000 ml, en función del tipo de análisis a realizar. Cada botella de color ambar se colocó en la superficie del agua de la corriente, en dirección del flujo, recogiendo una muestra representativa para cada análisis. Antes de tomar la muestra, las botellas

fueron purgadas dos veces en cada punto siguiendo el mismo procedimiento. Las muestras se tomaron a una distancia media del ancho de la corriente, y fueron llevadas inmediatamente al laboratorio y conservadas hasta el momento de análisis, según lo establecido por métodos normalizados para el análisis de aguas de los parámetros mencionados.

Tabla 1. Fechas de muestreo en la corriente Las Cintas

Fecha de muestreo	Identificación (dd/mm/aa)
28 de septiembre	28/09/09
5 de octubre	05/10/09
19 de octubre	19/10/09
26 de octubre	26/10/09
2 de noviembre	02/11/09
9 de noviembre	09/11/09

Métodos de análisis

La caracterización fisicoquímica de la corriente Las Cintas se realizó mediante la medición de los siguientes parámetros:

temperatura, pH, conductividad, turbiedad, oxígeno disuelto, DBO_5 , demanda química de oxígeno (DQO), concentración de especies de nitrógeno (nitratos y nitritos) y concentración de especies de fósforo (fósforo total, fósforo hidrolizable total, ortofosfato total y fósforo orgánico total), siguiendo los métodos normalizados que se describen a continuación:

- Temperatura: se midió en campo, al momento de la toma de cada muestra.
- pH: la medición se realizó en el laboratorio con un pH metro Unitekne, previamente calibrado.
- Turbidez: método 2130B de Standard Methods for the examination of water and wastewater (17). La medición se realizó con un turbidímetro Turbiquant 100 IR, previamente calibrado.
- Conductividad: método 2510B de Standard Methods for the examination of water and wastewater (17). La medición se realizó con un conductímetro Hanna HI 8733, previamente calibrado.
- Oxígeno disuelto: método 4500-O B de Standard Methods for the examination of water and wastewater (17). El oxígeno disuelto fue fijado en campo. Cada determinación se realizó por duplicado.
- DQO: método 5220B de Standard Methods for the examination of water and wastewater (17). La muestra se preservó con la adi-

ción de H_2SO_4 (2 ml/L de muestra) inmediatamente después de la recolección y refrigeración hasta el momento de análisis.

- DBO_5 : método 5210B de Standard Methods for the examination of water and wastewater (17). La muestra se mantuvo refrigerada hasta el momento del análisis, el cual fue realizado antes de 48 h. La medición del oxígeno disuelto para este análisis se efectuó con el oxímetro wtw inolab level 2. Luego de la siembra, las muestras fueron mantenidas durante cinco días en incubadora a temperatura de $20\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$, antes de medir el oxígeno disuelto a este tiempo.
- Determinación de nitratos y nitritos: método 353.3 U.S. Environmental Protection Agency (18). La muestra se preservó con la adición de H_2SO_4 (2 ml/L) y refrigeración. La lectura de la absorbancia se realizó en un espectrofotómetro Lambda 2S a una longitud de onda de 540 nm. Cada medición se realizó por triplicado.
- Determinación de especies de fósforo (fósforo total, fósforo hidrolizable total, ortofosfato total y fósforo orgánico total): método 365.2 U.S. Environmental Protection Agency (19). Tanto el recipiente en el cual se almacenó la muestra como el material de vidrio empleado en la determinación de las diferentes especies de fósforo fue previamente lavado

con una solución de HNO_3 (1:1). La muestra fue preservada por la adición de H_2SO_4 (2 ml/L de muestra) y refrigeración hasta el momento del análisis. La muestra no fue filtrada inmediatamente después de su recolección, por lo que las especies de fósforo determinadas corresponden a la concentración total. La cuantificación de fósforo se realizó por el método del ácido ascórbico. La lectura de la absorbancia se realizó en un espectrofotómetro Lambda 2S a una longitud de onda de 650 nm. Cada medición se realizó por triplicado.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados se compararon con los criterios de calidad establecidos en la legislación colombiana dictados por el decreto 1594 de 1984 (20), en cuanto al

uso del agua con fines de preservación de flora y fauna.

Las mediciones de temperatura a lo largo de la corriente Las Cintas muestran un aumento no superior a los 4 °C (Figura 2) desde el punto A hasta antes de la desembocadura en el punto E, probablemente debido a la diferencia de hora en la cual se realizó el muestreo, ya que la temperatura de la zona varía con el transcurrir del tiempo durante el mismo día; esta tendencia se observó en todos los muestreos. La temperatura mínima que se alcanza se registró en el punto A en 10 °C mientras que la máxima fue de 13,5 °C, obtenida en el punto E. La temperatura es un parámetro que influencia el grado de saturación de oxígeno disuelto del agua, ya que un aumento de esta genera una disminución en la concentración de oxígeno disuelto; además de afectar el desarrollo de la actividad biológica de los procesos de degradación.

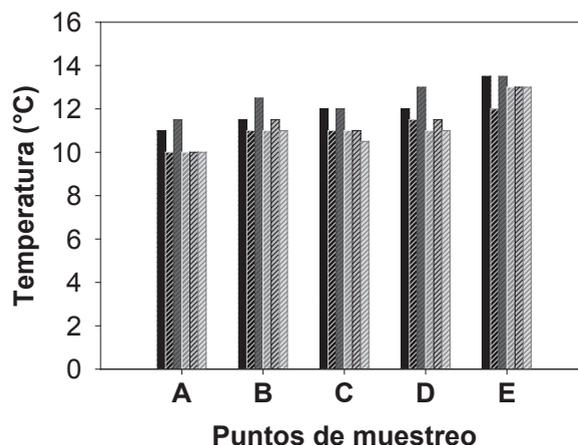


Figura 2. Temperatura de las muestras tomadas en los puntos seleccionados, según la fecha en que se realizó el muestreo: (1); (2); (3); (4); (5); (6).

En los valores de pH de las muestras (Figura 3) se observa que, a medida que se recorre la corriente desde el punto denominado blanco (A) hasta el punto antes de la desembocadura (E), el pH disminuye levemente hasta alcanzar los valores ligeramente ácidos en este último punto, aclarando que dichos valores de pH no se encuentran muy alejados de 6,5, por lo que no afecta en gran medida el

desarrollo del ecosistema. Con base en los criterios de calidad admisibles para el uso del agua con fines de preservación de flora y fauna instaurados por la legislación colombiana (20), se puede establecer que los valores de pH medidos para las muestras de agua se encuentran en el rango estipulado el cual es de 6,5 a 9,0 para aguas frías dulces.

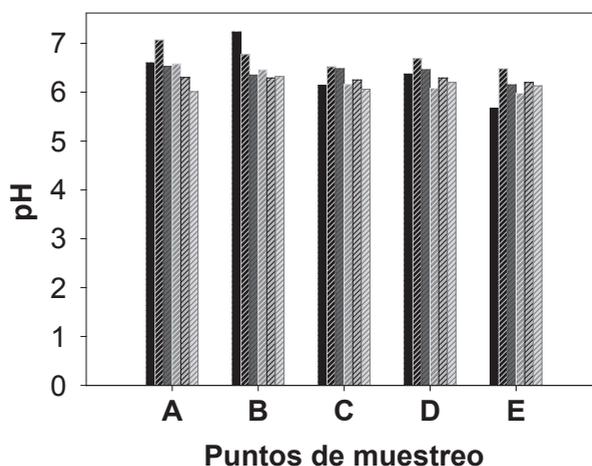


Figura 3. pH de las muestras tomadas en los puntos seleccionados, según la fecha en que se realizó el muestreo: (1); (2); (3); (4); (5); (6).

En los resultados de conductividad para cada punto y fecha de muestreo (Figura 4) se resalta la tendencia de aumento de valor de este parámetro en el siguiente orden: A, C, D, E, por lo que los valores más altos se encuentran en el punto antes de la desembocadura (E), oscilando este entre 26,7 y 34,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 18 °C. La conductividad de las muestras tomadas en el punto B resultan ser claramente diferentes frente a los resul-

tados de los otros puntos de muestreo, encontrándose para este una conductividad entre 10,2 y 12,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 18 °C, debido a que este punto corresponde a la unión con un afluente de la corriente Las Cintas, por lo que sus propiedades fisicoquímicas pueden variar frente a los otros puntos de muestreo que se encuentran directamente sobre esta corriente, al producirse en este punto la mezcla de ambos cursos de agua.

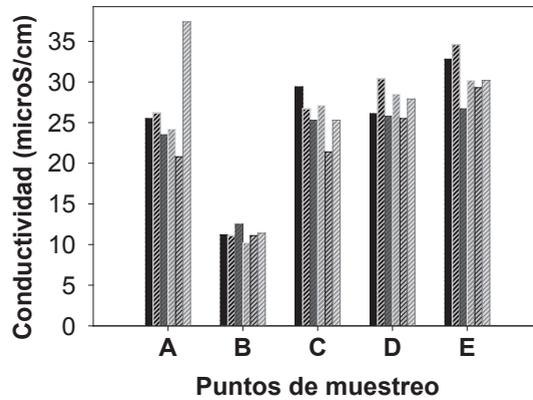


Figura 4. Conductividad de las muestras tomadas en los puntos seleccionados, según la fecha en que se realizó el muestreo: (1); (2); (3); (4); (5); (6).

El parámetro de turbidez proporciona información acerca del material en suspensión que es aportado al lago (21, 22) a través de esta corriente. En los resultados de turbidez (Figura 5) obtenidos para los diferentes muestreos no se observa una tendencia entre los puntos, debido a que la turbidez del agua va a depender del material particulado que pueda ser

arrastrado a la corriente antes de la toma de muestra por causas naturales, en el caso de precipitaciones y la escorrentía, o por influencia de la actividad humana; pero de manera general se puede establecer que no hay un aporte significativo de este tipo de material que pueda llegar hasta el lago.

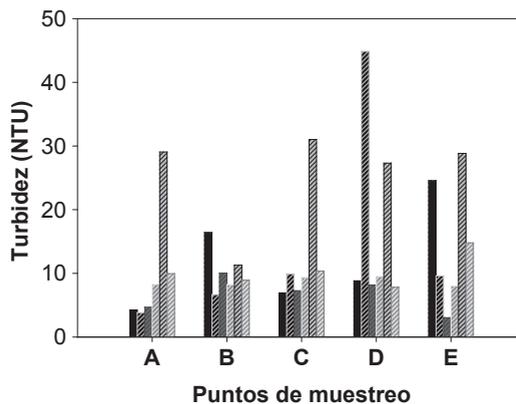


Figura 5. Turbidez de las muestras tomadas en los puntos seleccionados, de acuerdo a la fecha en que se realizó el muestreo: (1); (2); (3); (4); (5); (6).

En los resultados de oxígeno disuelto (Figura 6), se presenta poca variabilidad de la concentración de O_2 para los puntos A, B, C y D, hallándose estos en su gran mayoría por encima de 7 ppm de O_2 , presentándose un máximo de 8,59 ppm y un mínimo de 7,05 ppm. En el punto E se encuentran concentraciones entre 6,76 y 7,04 ppm de O_2 , valores ligeramente por debajo respecto al oxígeno disuelto determinado en los otros puntos, sin afectar significativamente el desarrollo de la vida acuática. Al tener en cuenta que el parámetro de oxígeno disuelto va a depender de la temperatura, factores que involucran convección natural, concentración y estabilidad de materia orgánica que pueda estar presente, esta diferencia de concentración entre los puntos se puede explicar con base en las características de la zona de muestreo, ya que el punto E es una zona donde el flujo de agua es mucho menor frente a los otros puntos debido a la menor pendiente del terreno; además, la temperatura registrada al momento del muestreo resulta estar por encima de la medida para los otros puntos (Figura 2); sumado a esto, en esta zona se encuentra el mayor contenido de materia orgánica biodegradable (Figura 7), por lo que el oxígeno disuelto se verá disminuido frente a la concentración de las otras zonas de muestreo debido a la mayor proliferación de microorganismos que se alimentan de esa materia orgánica. En cuanto a los criterios de calidad admisibles para el uso del agua decretados por la norma, se encontró que las concentraciones de oxígeno disuelto superan el mínimo establecido que es de 5,0 ppm, por lo que este parámetro cumpliría a cabalidad con la legislación (20).

En el parámetro de DBO_5 (Figura 7), se observa una tendencia general de aumento en los niveles de concentración de O_2 entre resultados de la misma fecha de muestreo, cuando se recorre la corriente desde el punto A hasta el punto E. Si se tiene en cuenta que valores por debajo de 2 ppm de O_2 indican, además de una baja concentración de materia orgánica biodegradable, que un río no se encuentra contaminado (20), se puede establecer de manera general que la corriente Las Cintas no se encuentra contaminada, por lo que esta no aporta al lago de Tota una cantidad significativa de materia orgánica biodegradable, ya que en su mayoría los valores encontrados para los puntos de muestreo se encuentran por debajo de 1,5 ppm de O_2 . Solo se observan cuatro casos puntuales en los muestreos realizados el 26 de octubre y el 2 de noviembre del 2009, en las zonas A, D y E, donde la concentración de O_2 supera las 2 ppm, encontrándose únicamente en ese momento un aumento en la contaminación de la corriente que llega al lago. Este aumento puntual de la materia orgánica biodegradable puede relacionarse por las escorrentías naturales generadas por las lluvias acontecidas los días previos a estos muestreos (Figura 1).

Respecto a la DQO (Figura 8), se observa que los contenidos de materia orgánica no biodegradable más altos se encuentran en el punto B, alcanzando un valor máximo de 57,2 ppm de O_2 para el muestreo realizado el 2 de noviembre; en los otros puntos de muestreo se encuentra una dispersión de los resultados, sin observarse un comportamiento definido en los niveles de contaminación.

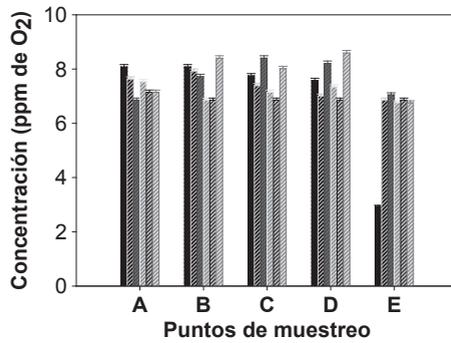


Figura 6. Concentración de oxígeno disuelto de las muestras tomadas en los puntos seleccionados, según la fecha en que se realizó el muestreo: (1); (2); (3); mm (4); (5); (6).

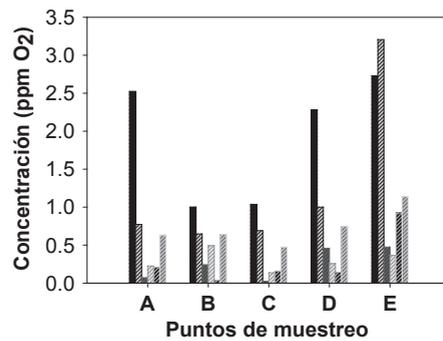


Figura 7. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de las muestras tomadas en los puntos seleccionados, según la fecha en que se realizó el muestreo: (1); (2); (3); mm (4); (5); (6).

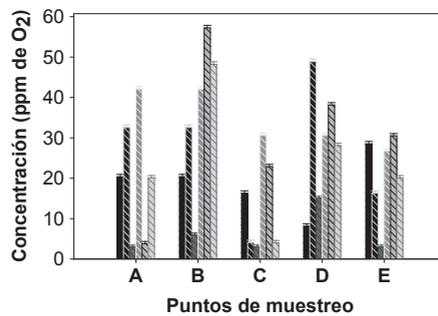


Figura 8. Demanda química de oxígeno (DQO) de las muestras tomadas en los puntos seleccionados, según la fecha en que se realizó el muestreo: (1); (2); (3); mm (4); (5); (6).

En cuanto a los iones, que son los responsables del proceso de eutrofización y que pueden estar presentes en la corriente Las Cintas por influencia de las zonas de cultivo de cebolla larga aledañas, se evaluaron nitratos y nitritos junto a las diferentes formas de fósforo, entre las cuales se encuentran fósforo total, fósforo hidrolizable total, fósforo orgánico total y ortofosfato total, debido a que en la zona se aplica como fertilización orgánica gallinaza que en dosis de $30\,000\text{ kg ha}^{-1}$ aporta a los cultivos de cebolla 372 kg ha^{-1} de nitrógeno y 1428 kg ha^{-1} de fósforo (23).

La concentración de $\text{NO}_3 - \text{N}$ determinada en los puntos de muestreo en las diferentes fechas (Figura 9) se observa una tendencia general de aumento en los puntos D y E en comparación con los otros puntos de muestreo, esto debido a que entre el punto C y D, así como entre D y E, se encuentran algunas fincas donde se cultiva cebolla y en las cuales se emplea gallinaza como fertilizante orgánico, la cual por descomposición natural y por acción de microorganismos se transforma hasta ion nitrato, caracterizado por su alta solubilidad, siendo fácilmente disuelto por aguas de riego y por efecto de precipitaciones, hasta llegar a aguas superficiales por el fenómeno de escorrentía (16-24). La tendencia encontrada permite establecer que el contenido de nitratos presente en el afluente evaluado se ve influenciado por la actividad agrícola que se realiza en la zona, principalmente por el método de fertilización orgánico aplicado, ya que con el aumento de fincas que cultivan cebolla en las proximidades de la corriente hay, a su vez, crecimiento en la concentración de este ion presente

en el cuerpo de agua, siendo arrastrado este nutriente hasta el lago. Además de la concentración de nitratos se determinó la concentración de nitritos, pero estos resultados no son mostrados ya que este ion no se encontró presente en las muestras tomadas, a pesar de ser un producto intermedio del ciclo del nitrógeno, que resulta ser menos soluble en agua y menos estable en comparación con el nitrato (23-25). En ninguno de los días y puntos de muestreo se alcanzaron niveles alarmantes de nitratos ya que el valor de referencia establecido por la ley colombiana es de 10 mg L^{-1} (20).

La relación establecida entre la actividad agrícola desarrollada en la zona y la concentración de nitratos presentes en la corriente evaluada se puede corroborar por medio de los resultados obtenidos para la DBO_5 , por lo que los valores bajos encontrados para este parámetro permiten establecer que no hubo vertimiento de aguas domésticas que aportaran al aumento en la concentración de nitratos a la corriente y que puedan ser arrastrados hasta el lago en las fechas de los muestreos.

Respecto a las formas de fósforo determinadas, la concentración de fósforo total (Figura 10) para cada punto de muestreo en las diferentes fechas presenta un comportamiento en el que se puede ver un aumento de manera general, por lo que el punto E presenta la mayor concentración de esta especie, debido a que allí se concentran los contaminantes que alcanzan la corriente durante su recorrido, para ser finalmente mezclados con el agua contenida en el lago. Si se tiene en cuenta que las concentraciones

de fósforo total, evaluadas en todos los puntos y fechas de muestreo, se encuentran por encima de 0,0239 ppm y que a partir de un umbral de 0,020 ppm existe un riesgo potencial de que se desencadene el proceso de eutrofización (26), entonces se podría establecer que el fósforo total que es vertido al lago por aguas de la corriente Las Cintas representaría un

aumento en el riesgo de desarrollo de eutrofización a largo plazo. Se observa el caso puntual presentado en el muestreo del 19 de octubre, donde la concentración de fósforo supera los 0,600 ppm, señalando una descarga significativa de compuestos que enriquecen el lago y aumentan la posibilidad de que se presente eutrofización.

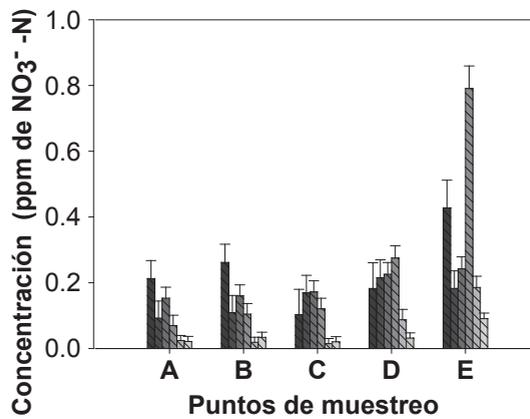


Figura 9. Concentración de NO₃⁻ - N de las muestras tomadas en los puntos seleccionados, según la fecha en que se realizó el muestreo: (1); (2); (3); (4); (5); nnnn(6).

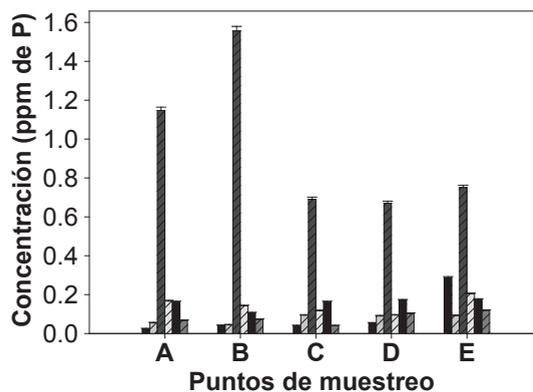


Figura 10. Concentración de fósforo total de las muestras tomadas en los puntos seleccionados, según la fecha en que se realizó el muestreo: (1); (2); (3); nnn(4); (5); nn(6).

Las concentraciones de fósforo hidrolizable total (Figura 11) encontradas se atribuyen al vertimiento de detergentes sintéticos (8, 9) realizado sobre la corriente, esto debido a que en este análisis se detectan los polifosfatos, compuestos adicionados a este tipo de productos de limpieza. Este aporte a la concentración de fosforo total es en realidad pequeña, pero puede observarse que se detecta en cada uno de los puntos y días y es especialmente elevada en el tercer día de muestreo (día 19 de octubre), posiblemente coincidiendo con alguna descarga puntual, posiblemente aguas arriba del punto A. Este aumento en la concentración del fósforo hidrolizable se ve reflejado en las concentraciones de fosforo total para el mismo día de muestreo (Figura 10)

La Figura 12 muestra que las especies inorgánicas de fósforo obtenidas a partir de la degradación de la gallinaza en los cultivos de cebolla son arrastradas a la corriente en menor proporción respecto a las especies de nitrógeno, debido a que estas son fácilmente inmovilizadas por procesos de precipitación que se pueden dar en el suelo, estando asociadas a sedimentos, además de la baja movilidad del ion ortofosfato frente a procesos de escorrentía (15,26)

En la Figura 13 se muestran los resultados de las determinaciones del fósforo orgánico. En general estos aportes se pueden atribuir a las aplicaciones de gallinaza y posterior liberación de compuestos orgánicos desde el abono al curso de agua. En general estos aportes son mucho menores que los de origen inorgánico, mostrando la mayor facilidad de retención de los compuestos orgánicos

sobre los coloides del suelo y también la menor afinidad por el agua de escurrimientos, que disuelve principalmente los compuestos inorgánicos.

La diferencia en el aporte en concentración entre las especies de nitrógeno y fósforo evaluadas pueden deberse a las diferentes características que presenta cada uno de estos iones en cuanto a movilidad, solubilidad y disponibilidad en el suelo, resultados similares han sido encontrados por otros investigadores (21,22). La presencia de estas formas químicas encontradas en la corriente está seguramente relacionada con la actividad agrícola que se desarrolla en la zona, al igual que ocurre en otros recursos hídricos (27-28), y las actividades domésticas que realizan los habitantes sobre la corriente como el uso de detergentes, que finalmente son vertidos a la corriente de agua y arrastrados en el caudal hasta el lago de Tota, contribuyendo a la acumulación de nutrientes y probablemente, a futuro, a la eutrofización sobre este cuerpo de agua.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de carga másica correspondiente a los parámetros de estudio calculados en el punto de desembocadura (E) como promedio de todos los días de muestreo. Puede observarse cómo la mayor contribución a la contaminación es la DBO_5 . El segundo parámetro en importancia es el aporte de nitrógeno en forma de nitratos, cuya carga másica es superior a cualquiera de las formas de fósforo. Estos resultados coinciden con los encontrados en otras investigaciones y pueden ser explicados por la mayor reactividad de los fosfatos con los componentes del suelo, siendo los nitratos mucho más fácilmente

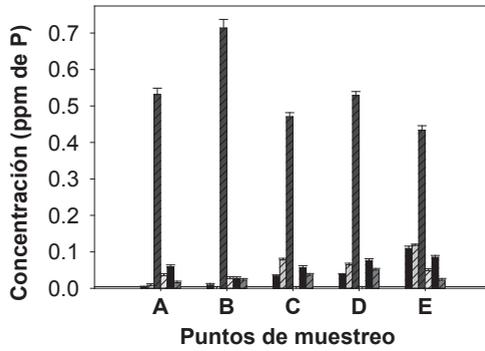


Figura 11. Concentración de fósforo hidrolizable total de las muestras tomadas en los puntos seleccionados, según la fecha en que se realizó el muestreo: (1); (2); (3); (4); --- (5); nn(6).

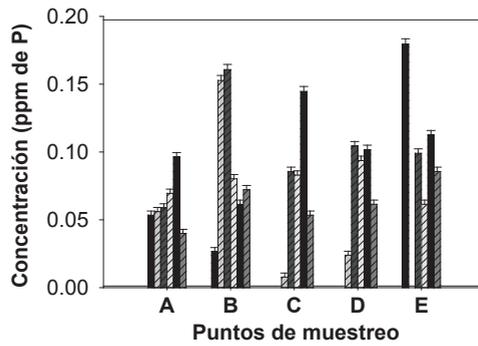


Figura 12. Concentración de ortofosfato total de las muestras tomadas en los puntos seleccionados, según la fecha en que se realizó el muestreo: (1); (2); (3); nnn(4); (5); nn(6).

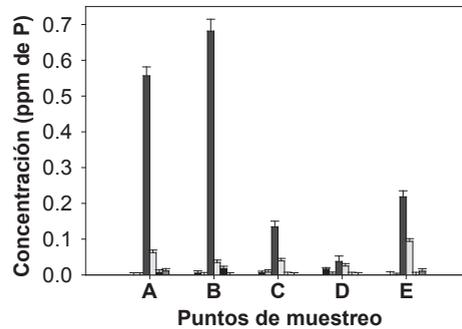


Figura 13. Concentración de fósforo orgánico de las muestras tomadas en los puntos seleccionados, según la fecha en que se realizó el muestreo: (1); (2); (3); nnn(4); (5); nn(6).

te arrastrados desde la superficie de los suelos agrícolas. Dentro de las formas de fósforo cabe destacar la mayor carga másica aportada por las formas hidroliz-

zables, que en este estudio se atribuyen a las descargas puntuales de detergentes sobre la corriente las cintas.

Tabla 2. Carga tributaria promedio de la quebrada las cintas al lago de Tota para el periodo de estudio calculado a partir de los parámetros analizados en el punto de desembocadura (E) para un caudal promedio de $146,20 \text{ L} \pm 20 \text{ L s}^{-1}$

Parámetro	Valor promedio mg L^{-1}	Carga másica kg L^{-1}
DQO	$22,2 \pm 10,4$	4688,14
DBO ₅	$1,5 \pm 1,2$	311,9
NO ₃ ⁻ -N	$0,7 \pm 0,8$	141,3
P-ortofosfato	$0,10 \pm 0,25$	21,43
P-hidrolizable	$0,14 \pm 0,15$	29,26
P-orgánico	$0,07 \pm 0,10$	15,19
P total	$0,31 \pm 0,25$	65,88

CONCLUSIONES

Las tendencias observadas en los parámetros evaluados permiten tener una idea global del aporte de contaminantes hacia el lago de Tota a través de la corriente Las Cintas, aunque al tratarse de medidas puntuales en diferentes días y bajo diferentes condiciones climáticas, fundamentalmente temperaturas y precipitaciones, no pueden caracterizar un comportamiento continuo del afluente.

Con base en los resultados obtenidos, principalmente en los niveles de nitratos encontrados, se puede concluir que la actividad agrícola desarrollada en la cuenca del lago de Tota incide en el aporte de nutrientes hacia la corriente Las Cintas, que desemboca a su vez en el propio lago, representando un potencial riesgo de eutrofización. Las altas cantidades de fósforo hidrolizable encontradas el tercer día del muestreo evidencian la presencia de detergentes sintéticos en las muestras de agua colectadas en todos los puntos de

muestreo, indicando contaminación no solo por las actividades agrícolas, sino también por vertidos de tipo doméstico.

Los bajos valores determinados los días de muestreo para el resto de los parámetros evaluados no señalan un aporte significativo de contaminantes hacia el lago, principalmente en materia orgánica biodegradable, por lo que no se encontraron indicios de vertimientos de aguas residuales domésticas en los días de toma de muestra. No obstante, un seguimiento mas continuado de los parámetros fisico-químicos en la corriente podrían llevar a detectar mayor número de vertidos puntuales de índole agrícola, industrial y doméstica.

AGRADECIMIENTOS

A la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA Viena, Austria) por la financiación suministrada para la realización de este trabajo, y al Laboratorio de Química Ambiental de la Facultad de

Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, por la colaboración en el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

1. United States Environmental Protection Agency (EPA). Water quality standards for coastal and great lakes recreation waters; Final Rule (40 CFR Part 131). 2004. Disponible en: <http://www.epa.gov/EPA-WATER/2004/November/Day-16/w25303.htm/>
2. Rada, F. F. Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka (Bolivia). *Ecología aplicada*. 2005. **4**(1,2): 135-141.
3. Sperling E.; Ferreira A. C.; Gomes, L. Comparative eutrophication development in two Brazilian water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth. *Desalination*. 2008. **226**: 169-174.
4. SoKolnikov, M. Causes and effects of eutrophication in the Black Sea. Danube Pollution Reduction Programme. Summary report. Programme Coordination Unit UNDP/GEF Assistance. Vienna, 1999. pg. 13- 17.
5. Sharpley, A. N.; Daniel, T.; Sims, T.; Lemunyon, J.; Stevens, R.; Parry, R. Agricultural phosphorus and eutrophication. Second Edition. USDA-ARS. Springfield, 2003. p. 25.
6. Nyenje, P. M.; Foppen, J. W.; Uhlenbrook, S.; Kulabako, R.; Muwanga A. Eutrophication and nutrient release in urban areas of sub-Saharan Africa - A review. *Sci. of the total Environ*. 2010. **408**(3): 447-455.
7. Peltzer, P.; Lajmanovich, R. C.; Sanchez-Hernández, J. C.; Cabaña, M. C.; Attademo, A. M.; Basso, A. Effects of agricultural pond eutrophication on survival and health status of *Sunos nasicus* tadpoles. *Ecotoxicol. Environ. Safety*. 2008. **70**: 185-197.
8. Klein, G.; Perera, P. Eutrophication and Health. World Health Organization Regional Office for Europe; European Commission. Luxembourg, 2002. p. 15.
9. Bryhna, A. C.; Girel, C.; Paolinib, P.; Jacquet, S. Predicting future effects from nutrient abatement and climate change on phosphorus concentrations in Lake Bourget, France. *Ecol. Model*. 2011. **221**: 1440-1450.
10. Cordero, R. D.; Ruiz, J. E.; Vargas, E. F. Determinación espacio-temporal de la concentración de fósforo en el lago de Tota. *Rev. Col. de Química*. 2005. **34**(2): 211-218.
11. Wit, M.; Behrendt, H. Nitrogen and phosphorous emissions from soil to surface water in the Rhine and Elbe basins. *Water Sci. Technol*. 1999. **39** (12): 109-116.
12. Diogo, P. A.; Coelho, P. S.; Almeida, M.; Mateus, N. S.; Rodrigues, A. C. Influência do fósforo de origen agrícola na classificação do estado trófico das principais albufeiras de

- Portugal continental - The influence of agricultural phosphorous on the trophic state of the main Portuguese reservoirs. Conference Proceedings of the 8th National Environmental Conference, Lisbon, 27th-29th October 2004.
13. Monteagudo, L.; Moreno, J. L.; Picazo, L. River eutrophication: Irrigated vs. non-irrigated agriculture through different spatial scales. *Water Research*. 2012. **46**(8): 2759-2771.
 14. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Primer censo del cultivo de cebolla larga, región de la laguna de Tota. DANE. Bogotá, 2001. p. 5-18.
 15. Rodríguez, H.H. Dramática radiografía del lago de Tota. *El Tiempo*. Octubre de 2005. COL-1.
 16. Castellanos, P. A. Manejo integrado del cultivo de cebolla de rama *Allium fistulosum* L., para el departamento de Risaralda. MS Tesis, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. 1999. p. 28.
 17. American Public Health Association (APHA). Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, D.C. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation. 20th edition. 1999. Pg 890-916
 18. U.S. EPA. Method # 353.3 Nitrogen, Nitrato-Nitrite (Spectrophotometric, Cadmium Reduction). U.S. Washington, DC. Environmental Protection Agency, Environmental Monitoring and Support Laboratory. 1983.pg 380-384
 19. U.S. EPA. Method # 365.2 Phosphorus, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid, Single Reagent). U.S. Washington, DC. Environmental Protection Agency, Environmental Monitoring and Support Laboratory. 1983. Pg. 402-406
 20. Decreto 1594 de 1984. Usos del Agua y Residuos Líquidos. Colombia.
 21. García-Gil, L. J.; Abella, C. A.; Moreno-Amich, R. Aporte de nutrientes por los tributarios superficiales del lago de Banyoles. *Scientia Gerundensis*. 1990. **16**(2): 141-153.
 22. Rivas, Z.; Márquez, R.; Troncote, F.; Sánchez, J.; Colina, M.; Hernández, P. Contribución de principales ríos tributarios a la contaminación y eutrofización del lago de Maracaibo. *Ciencia*. 2005. **13**(1): 68-77.
 23. Ruiz, C.; Russián, T.; Tua, D. Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo de cebolla. *Agron. Tropical*. 2007. **57** (1): 7-14.
 24. Nengwang, C.; Jiezhong, W.; Huasheng, H. Effect of storm events on riverine nitrogen dynamics in a subtropical watershed, southeastern China. *Science of The Total Environment*. 2012. **431**: 357-365.
 25. Pacheco, J.; Cabrera, A. Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería*. 2003. **7**(2): 47-54.

26. Sande, P.; Mirás, J.M.; Vidal, E.; Paz, A. Formas de fósforo y su relación con la erosión en aguas superficiales bajo clima atlántico. *Estudio de la Zona no Saturada del Suelo*. 2005. **VII**: 1-6.
27. Honisch, M.; Hellmeier, C.; Weiss, K. Response of surface and subsurface water quality to land use changes. *Geoderma*. 2002. **105**: 277-298.
28. Diamantopoulou, E.; Dassenakis, M.; Kastiris, A.; Tomara, V.; Paraskevopoulou, V.; Poulos, S. Seasonal fluctuations of nutrients in a hypersaline Mediterranean lagoon. *Desalination*. 2008. **224**: 271-279.