
Dinámica de nitrógeno

y fósforo en la quebrada ‘Los Pozos’,
afluente del lago Tota, Boyacá, Colombia

Dynamics of nitrogen and
phosphorus in the stream ‘Los Pozos’,
tributary of the lake Tota,
Boyacá, Colombia

Alba Lorena Benavides Sierra

Leydi Xiomara Cárdenas Molano

Álvaro Vargas Calero

Ana Carolina Campos Alba

Gabriel Ricardo Cifuentes Osorio

Universidad de Boyacá.
Sogamoso, Departamento de Boyacá, Colombia.
albenavides@uniboyaca.edu.co; lxcardenas@uniboyaca.edu.co; alvvargas@uniboyaca.edu.co;
accampos@uniboyaca.edu.co; grcifuentes@uniboyaca.edu.co

Resumen

Actividades antrópicas como la agricultura y el pastoreo, próximas a recursos hídricos, incrementan los niveles de fósforo y nitrógeno en el agua. Al ser arrastrados por escorrentía, enriquecen los cuerpos hídricos y facilitan procesos de eutrofización. Este estudio se realizó en la quebrada 'Los Pozos', uno de los principales afluentes del lago de Tota en el municipio de Aquitania, Boyacá, y su objetivo fue conocer la relación de actividades antrópicas con los contenidos de macronutrientes en seis estaciones de muestreo distribuidas a lo largo de la quebrada, en dos temporadas del año. Se evidenció que existe una relación directa entre las actividades antrópicas y los contenidos de nitrógeno orgánico, amoniacal y fósforo, lo que sugiere la existencia de una contaminación difusa en el recurso, por las actividades agrícolas y de pastoreo que se extienden en la microcuenca, y un aporte importante de nutrientes de la quebrada al lago de Tota.

PALABRAS CLAVE: recurso hídrico; actividad antrópica; nutrientes; enriquecimiento; Aquitania.

Abstract

Anthropic activities such as agriculture and grazing near water resources, increase levels of phosphorus and nitrogen in water. When dragged by runoff they enrich to water bodies and facilitate eutrophication processes. This study was conducted in 'Los Pozos' stream, one of the main tributaries of the lake Tota in Aquitania Municipality, Boyacá, and its objective was to know the relationship between anthropogenic activities and levels of macronutrients in six sampling places, distributed along the stream during two seasons of the year. A direct relationship between anthropogenic activities and the contents of organic nitrogen, ammonia and phosphorus was evidenced, which suggests a diffuse pollution in the resource, due to agricultural and grazing activities that extend into the microbasin, and an important contribution of nutrients from the 'Los Pozos' stream to Lake Tota.

KEY WORDS: water resource; anthropic activity; nutrients; enrichment; Aquitania.

1. Introducción

El nitrógeno junto con el fósforo son nutrientes limitantes del crecimiento vegetal (Camargo y Alonso, 2007; Kunrath *et al.*, 2018); comúnmente están presentes en el suelo como elementos no fijados, no solubles, incapaces de ser utilizados por las plantas, a no ser por la intervención de microorganismos especializados (Dibut, 2009). Estos elementos se encuentran comúnmente como componente principal de los fertilizantes tanto de origen natural, como de síntesis industrial, y su adición en exceso al suelo, genera emisiones de óxido nítrico, así como problemas de contaminación de aguas subterráneas y enriquecimiento de aguas superficiales (Abdalla y Khalil, 2018; Gopal *et al.*, 2018; Jarosiewicz *et al.*, 2015; De Jong *et al.*, 2009) que, a su vez, conduce al aumento de la productividad y la biomasa (Summya *et al.*, 2018; Margalef, 1983), generando procesos de eutrofización (Dibut, 2009).

La fertilización con gallinaza cruda, así como el uso de plaguicidas en el cultivo de cebolla 'junca' (*Allium fistulosum*), (Gamboa *et al.*, 2014) que se extiende desde las zonas altas de las microcuencas hasta la ribera del lago de Tota, en el municipio de Aquitania, aporta altas cantidades de nitrógeno y fósforo al suelo (Cordero *et al.*, 2005), moléculas que fácilmente llegan por arrastre hasta recursos hídricos (Mojica y Guerrero, 2013), afectando la calidad del agua, especialmente en las zonas más bajas donde las quebradas se unen al lago (Noriega *et al.*, 2010).

La quebrada 'Los Pozos' es uno de los mayores aportantes de agua al lago de Tota, con un caudal medio mensual de 0,27 m³/s. Este lago es el más grande de Colombia, del cual se abastecen para consumo cerca de 14 municipios (IDEAM, 2014); sobre este recurso recaen múltiples presiones antrópicas, directas o a través de sus afluentes (Mojica y Guerrero, 2013; González, 2016; Abella y Martínez, 2012), y de allí la importancia de conocer el enriquecimiento por nutrientes que presenta uno de los cuerpos de agua que lo surte, por lo

que el objetivo de este estudio fue conocer la dinámica que presenta el nitrógeno y el fósforo en la quebrada 'Los Pozos' y la posible relación con las actividades antrópicas desarrolladas en su ribera.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

El área de estudio comprende una extensión de aproximadamente 2 km de la quebrada 'Los Pozos', ubicada en el municipio de Aquitania, en el departamento de Boyacá (Colombia). La quebrada nace a 3.563 msnm (Noriega *et al.*, 2010) y desemboca en el lago de Tota a 3.015 msnm; la región tiene una temperatura promedio de 12 °C; presenta un caudal de ciclo bimodal con un promedio anual de lluvias de 764 mm, las precipitaciones más altas se registran en los meses de junio a agosto y las más bajas de diciembre a marzo (Noriega *et al.*, 2010); la actividad económica principal de la zona es el cultivo de cebolla 'junca' (*Allium fistulosum*), que se desarrolla a orillas de la quebrada en gran parte de su recorrido.

En la FIGURA 1 se presenta el mapa de la microcuenca 'Los Pozos' donde se señala la quebrada en estudio.

2.2 Estaciones de muestreo

Para el estudio se establecieron seis estaciones de muestreo (E1 - E6), las cuales fueron ubicadas en los sitios donde el recurso hídrico de la quebrada puede verse afectado por actividades que allí se desarrollan.

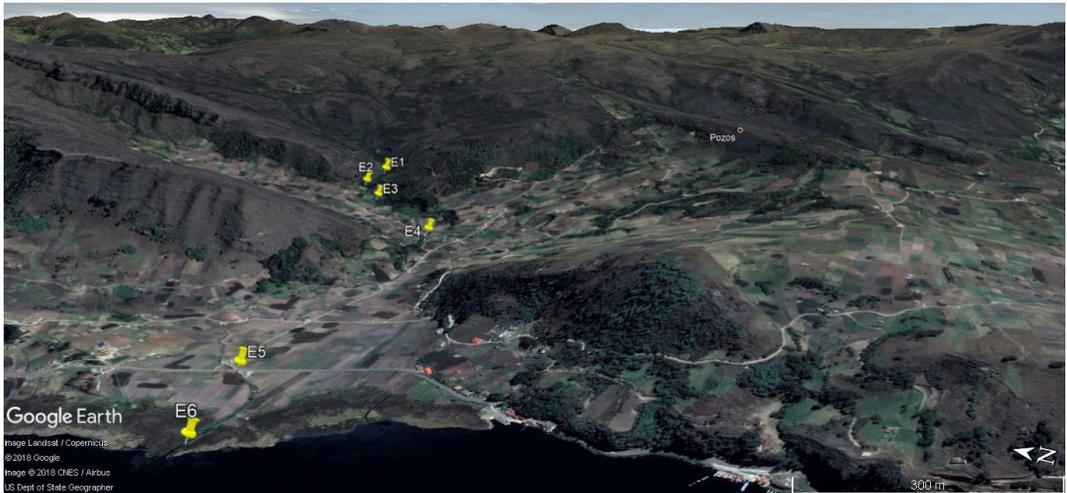
En el CUADRO 1 se evidencia el geo posicionamiento de las estaciones de muestreo y en la FIGURA 2A-E se ilustran sus características.

2.3 Muestreo en campo y fase de laboratorio

Los dos eventos de muestreo se realizaron según la estacionalidad pluviométrica que presenta la región en el mes de julio, el cual se corresponde

FIGURA 1 Imagen de la microcuenca los Pozos con la ubicación de las seis estaciones de muestreo.

FUENTE: GOOGLE MAPS AJUSTADO POR LOS AUTORES



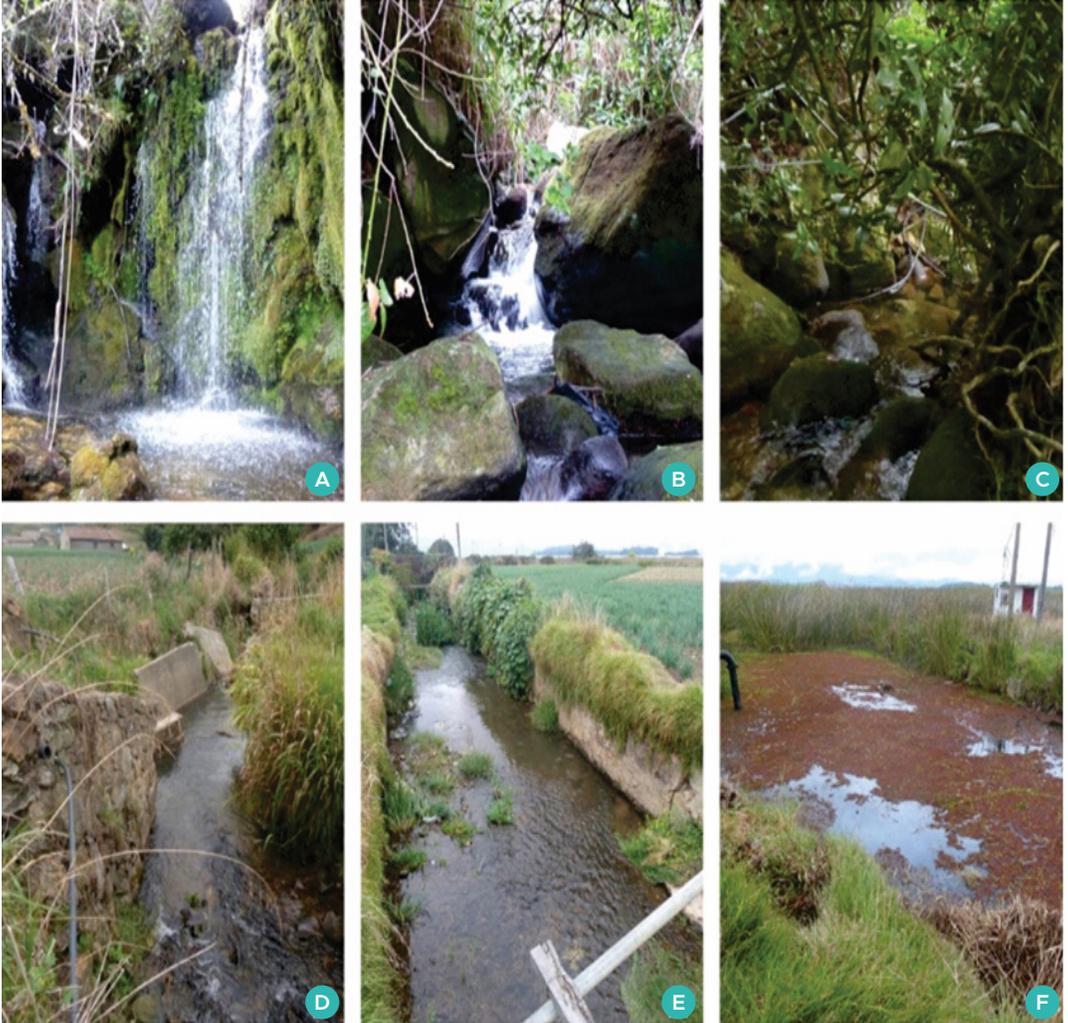
CUADRO 1 Estaciones de muestreo y geo posicionamiento en la quebrada Los Pozos, municipio de Aquitania

Estación de muestreo	Coordenadas Geográficas	Lugar
E1	5°33'34,5" Norte, 72°52'5,7" Oeste. 3169 msnm	Cascada
E2	5°33'35,2" Norte, 72°52'6,7" Oeste. 3134 msnm	Zona de pastoreo
E3	5°33'32,9" Norte, 72°52'13,7" Oeste. 3116 msnm	Límite zona de pastoreo
E4	5°33'27,2" Norte, 72°52'18,1" Oeste. 3080 msnm	Zona poblada
E5	5°33'24,7" Norte, 72°52'48" Oeste. 3034 msnm	Vía principal
E6	5°33'24,8" Norte, 72°52'53,3" Oeste. 3032 msnm	Desembocadura

con altas precipitaciones, y en el mes de diciembre, que corresponde a bajas precipitaciones, del año 2017. En cada una de las estaciones seleccionadas se realizaron mediciones *in situ* de pH, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto. Las muestras de agua para análisis del grupo del nitrógeno y de fósforo total se obtuvieron mediante muestreo integrado, siendo que la matriz agua fue recolec-

tada en recipientes de vidrio color ámbar de 500 mL, y fueron llevadas al Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad de Boyacá para su posterior análisis, manteniéndolas refrigeradas a una temperatura aproximada de 5 °C. El **CUADRO 2** muestra la metodología empleada para las determinaciones de las variables en estudio.

FIGURA 2 Características de los lugares donde se ubicaron las estaciones de muestreo. **A.** E1, sitio donde el recurso posee una mayor protección natural, gracias a la topografía del terreno y a la presencia de vegetación nativa en su ribera, y donde la única actividad antrópica es el abastecimiento de agua; **B.** E2, lugar aguas abajo donde se localizan los primeros cultivos, y regularmente se realiza pastoreo de bovinos en la ribera de la quebrada; **C.** E3, lugar donde finaliza el pastoreo de animales; **D.** E4, puente en el que se ubica gran parte de las viviendas y el cultivo de cebolla abarca ambos costados de la quebrada; **E.** E5, zona baja, punto ubicado a la altura de la vía de acceso principal al municipio de Aquitania; **F.** E6, zona de juncal, antes de la desembocadura de la quebrada en el lago de Tota



2.4 Análisis estadístico

Inicialmente se comprobaron los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk, y homogeneidad de varianza por el estadístico de Levene, cumpliéndose el supuesto de normalidad

en todas las variables, y solo el de homogeneidad de varianza en las variables pH, oxígeno disuelto y temperatura, por lo que la totalidad del análisis estadístico se realizó con base en pruebas no paramétricas. Se utilizó la prueba de Mann-Whit-

ney para muestras independientes, con el fin de determinar diferencias entre los parámetros fisicoquímicos y la temporada, mientras que las relaciones entre las variables evaluadas y la actividad antrópica de la zona se realizó mediante la prueba de Kruskal-Wallis. Finalmente, se realizó la correlación entre las variables cuantitativas mediante el estadístico de Pearson. Para la totalidad del análisis se utilizó el paquete estadístico SPSS *Statistics* licenciado versión 25.

3. Resultados

Durante las visitas a la zona de estudio en las dos temporadas analizadas, se estableció que las actividades humanas que se desarrollan en la orilla de la quebrada durante todo el año son, en primer lugar, el abastecimiento de agua, que se evidencia en cinco de las seis estaciones (E1-E5), seguido por la agricultura, que se presenta en tres estaciones de muestreo (E4, E5 y E6) y, finalmente la agricultura y la ganadería simultáneas (E2 y E3), observadas en dos de las seis estaciones analizadas.

3.1 Nutrientes

La distribución de la concentración de nitrógeno orgánico fue diferente entre temporadas ($p=0,002$), siendo mayor en la temporada de bajas precipitaciones, con valores entre los $9,24 \pm 0,5$ mg/L y $18,67 \pm 0,2$ mg/L, se observó un incremento de la concentración de nitrógeno desde E1 y aguas abajo, siendo mayor E5 y E6 (FIGURA 3). La prueba de Kruskal-Wallis señaló que existe relación entre las actividades desarrolladas en las zonas aledañas a la quebrada y la concentración de nitrógeno orgánico hallada ($p=0,317$), el estadístico de Pearson para las variables temporada y nitrógeno orgánico, mostró una correlación directa ($p=0,882$); la misma prueba señaló una correlación inversa entre el pH y el contenido de nitrógeno orgánico ($p=-0,725$).

Respecto a las mediciones del nitrógeno amoniacal, la prueba de Mann-Whitney señaló que existe una distribución diferente entre las concentraciones de ambas temporadas ($p=0,002$), los valores fueron notoriamente mayores en temporada de altas precipitaciones (CUADRO 3); las mayores concentraciones de amonio correspondieron a

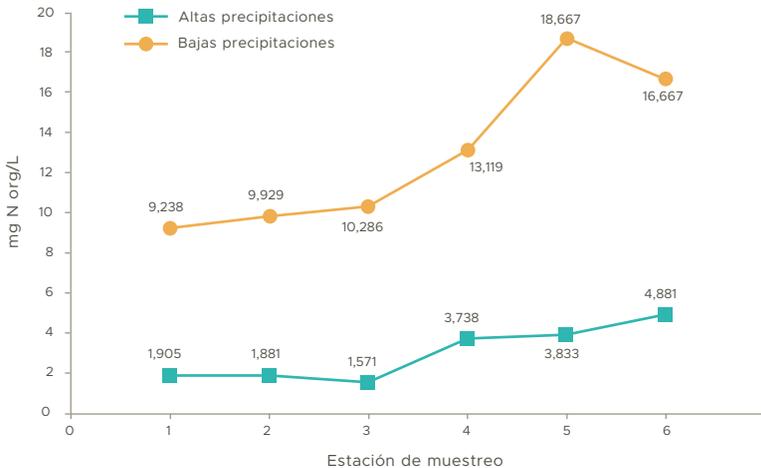
CUADRO 2 Métodos y equipos empleados para la determinación de variables

Variable	Método	Equipo
pH	Medición <i>in situ</i>	Multiparámetro portable SCHOTT instrumentos, Electrodo TX-11185
Temperatura	Medición <i>in situ</i>	Multiparámetro portable SCHOTT instrumentos, sonda TX-11185
Conductividad	Medición <i>in situ</i>	Multiparámetro portable SCHOTT instrumentos, sonda LF4BT
Oxígeno Disuelto	Test rápido	Mcolortest 111107 (0.1 – 10 mg/L O ₂)
Nitrógeno orgánico	Semi-micro-Kjeldahl 4500-N _{org} C Métodos Estándar	Espectrofotómetro UV/visible HACH DR5000
Nitrógeno Amoniacal	Fenato 4500-NH ₃ F Métodos Estándar	Espectrofotómetro UV/visible HACH DR5000
Fósforo total	Ácido ascórbico 4500-P E Métodos Estándar	Espectrofotómetro UV/visible HACH DR5000

E3 con un valor de $2,42 \pm 0,3$ mg/L, lugar donde existe intervención antropogénica por agricultura y ganadería. Este hecho fue corroborado por la prueba Kruskal-Wallis, cuyos resultados señalan que existe relación entre las actividades antrópicas y los valores de nitrógeno amoniacal hallados ($p= 0,737$); la correlación de Pearson indicó que existe una relación inversa entre el contenido de nitrógeno amoniacal y de fósforo ($p= -0,628$), así como con nitrógeno orgánico ($p= -0,865$); adicionalmente, la misma prueba señaló una correlación directa entre el contenido de nitrógeno amoniacal y el pH ($p= 0,664$).

La concentración de fósforo fue mayor en temporada de bajas precipitaciones ($p= 0,026$), con valores que oscilaron entre $0,07 \pm 0,1$ mg/L y $0,43 \pm 0,3$ mg/L. E2; el lugar donde inician los cultivos y que frecuentemente tiene presencia de bovinos, reportó el valor más alto, mientras que E4, ubicada en la zona donde existe mayor cantidad de viviendas, presentó el valor más bajo (FIGURA 4). El valor de significancia que relaciona la actividad antrópica con la concentración de fósforo fue de 1,000 y la correlación de Pearson para las variables temporada y fósforo total, mostró una significancia directa ($p= 0,652$), al igual que

FIGURA 3 Comportamiento del contenido de nitrógeno orgánico en temporada de lluvia y sequía



CUADRO 3 Contenido de nitrógeno amoniacal en mg NNH3/L en las dos temporadas analizadas

Estación de muestreo	Altas precipitaciones	Bajas precipitaciones
E1	2,357	0,009
E2	1,857	0,018
E3	2,429	0,011
E4	1,214	0,011
E5	1,214	0,007
E6	1,667	0,017

entre nitrógeno orgánico y fósforo ($p=0,664$), mientras que la correlación fue inversa entre el pH y fósforo ($p=-0,664$).

3.2 Parámetros fisicoquímicos

El resumen de la variación espacio temporal de los parámetros medidos *in situ* en la quebrada 'Los Pozos' se presenta en la FIGURA 5 A, D.

La temperatura media del agua de la quebrada 'Los Pozos' fue de $11,80\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la temporada de altas precipitaciones se presentaron variaciones de temperatura entre $10,50 \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $15,5 \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, muy similar a las temperaturas reportadas en la temporada de bajas precipitaciones, que oscilaron entre $10,9 \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $14,3 \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. La prueba de hipótesis de Mann-Whitney determinó que la distribución de temperatura entre las dos épocas fue la misma ($p=1,000$).

Las estaciones E1 y E2 reportaron una menor temperatura, así como una menor variación, estaciones que corresponden a los puntos más altos de la quebrada, ubicados sobre los 3.130 msnm (FIGURA 5A). Como se esperaba, la prueba de Pearson mostró que a menor altitud (ubicación de la estación de muestreo) se presenta una mayor temperatura.

Las mediciones de conductividad eléctrica realizadas en la quebrada durante las dos temporadas, reportaron la misma distribución ($p=0,485$). Para la temporada de bajas precipitaciones, las dos primeras estaciones de muestreo presentaron los menores valores, siendo el mismo en E1 para las dos temporadas. Tanto en altas como en bajas precipitaciones, se observa una tendencia al aumento del valor de la conductividad aguas abajo (FIGURA 5B), hecho que se corrobora con la significancia de la prueba de Pearson ($p=0,836$); adicionalmente, la misma prueba señala una correlación directa entre este parámetro y el nitrógeno orgánico ($p=0,732$).

El valor medio de pH registrado en el periodo de altas precipitaciones fue de $7,35 \pm 0,3$, mientras que en temporada de bajas precipitaciones fue de $6,93 \pm 0,1$, presentándose una distribución diferente ($p=0,041$) entre las dos temporadas analizadas. Los mayores valores se observaron en altas precipitaciones ($6,8 \pm 0,7 - 7,7 \pm 0,3$). La estación que reportó el mayor valor fue E2, seguido por E5, las mismas que para el periodo de bajas precipitaciones presentaron los menores promedios (FIGURA 5C).

FIGURA 4 Contenido de fósforo en mg P/L en las dos temporadas analizadas

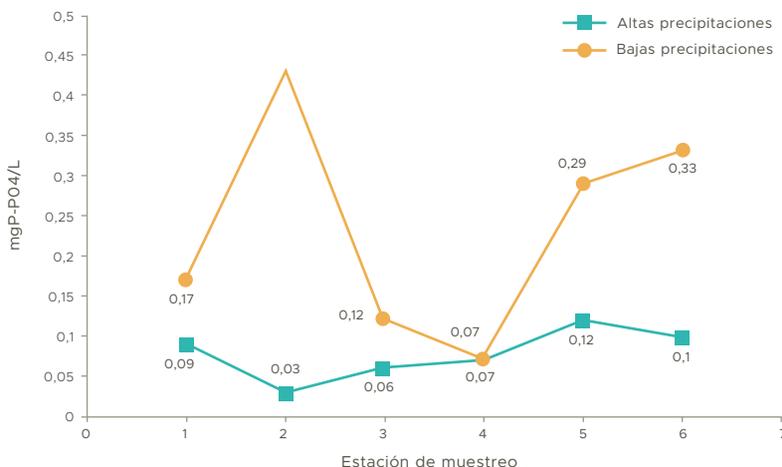
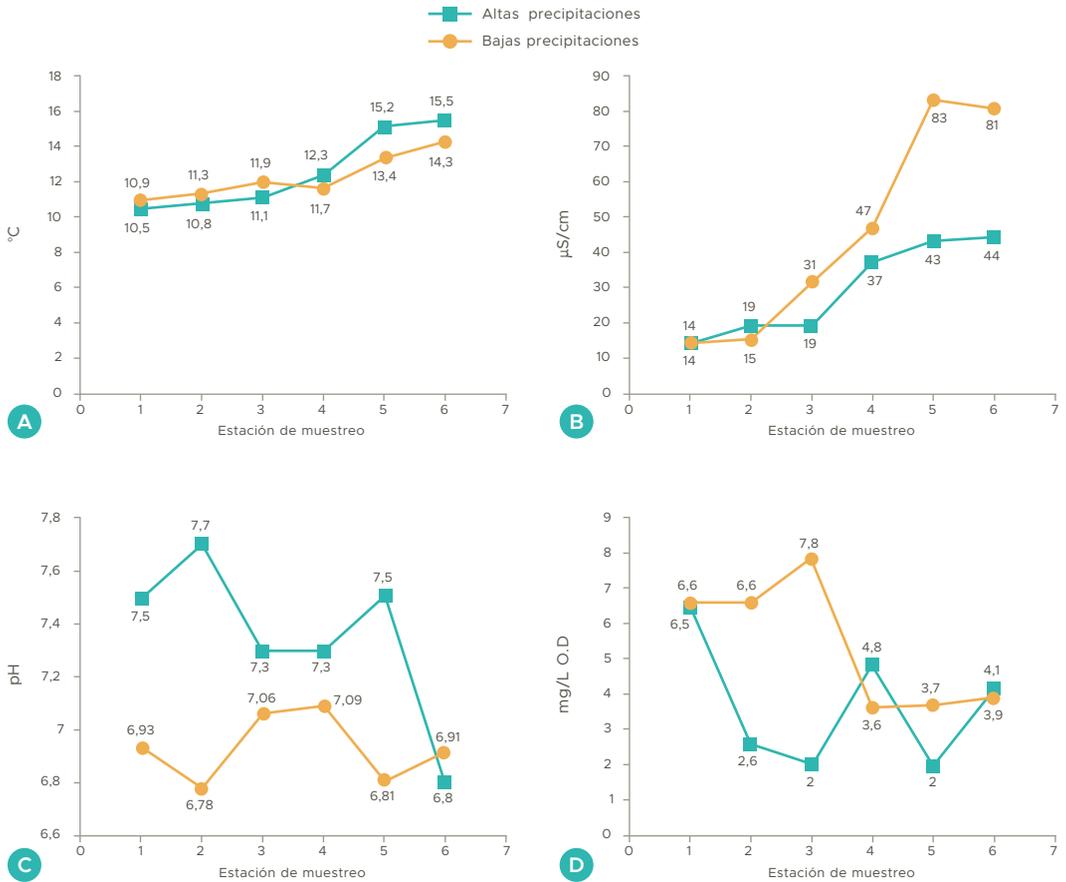


FIGURA 5 Comportamiento de los parámetros físico químicos determinados *in situ*.
A. temperatura; **B.** conductividad; **C.** pH; **D.** oxígeno disuelto



En cuanto al oxígeno disuelto, la prueba de hipótesis señala que la distribución es la misma entre los dos periodos analizados ($p=0,589$); E3 y E5 reportaron los menores valores, los cuales se presentaron en el periodo de altas precipitaciones (FIGURA 5D).

La prueba de Kruskal-Wallis señala que existe relación entre las actividades antrópicas realizadas a la ribera de la quebrada y el pH del agua ($p=0,497$). Para los demás parámetros la prueba señala que no existe dicha relación (Temperatura $p=0,046$; conductividad $p=0,044$; y oxígeno disuelto $p=0,044$).

4. Discusión de resultados

4.1 Dinámica de nutrientes

La concentración de nitrógeno orgánico en las seis estaciones de muestreo y en las dos temporadas analizadas es indicativo de contaminación reciente del recurso (Sierra, 2011) por materia orgánica nitrogenada (Pacheco *et al.*, 2002), posiblemente proveniente de los residuos de la cosecha de cebolla que se quedan en las parcelas y que por acción de las lluvias llegan a la quebrada, o que se disponen directamente en ella; así mismo, puede obedecer a las excretas de animales, que pueden contaminar el agua con microorganismos (Gamboa *et al.*, 2016).

Estos contaminantes son arrastrados aguas abajo, lo que explica los mayores valores en E5 y E6, donde también se registraron altas conductividades. Los valores más altos de nitrógeno orgánico en temporada de bajas precipitaciones, se atribuyen a la relación que existe entre la concentración del compuesto y el caudal que lo transporta (Canatário, 2006).

Por su parte, la concentración elevada de nitrógeno amoniacal en temporada de altas precipitaciones puede explicarse por el lavado de materia orgánica proteica del suelo, y su posterior degradación bacteriana a nitrógeno amoniacal, que, por oxidación en medio aerobio, puede ser transformada incluso hasta nitritos (Sardiñas y Pérez, 2004).

Adicionalmente, el nitrógeno amoniacal reduce el contenido de oxígeno disuelto (Sierra, 2011), lo que puede explicar los resultados obtenidos de estos dos parámetros en la E3 durante la temporada de mayor precipitación.

Estudios previos (Rincón *et al.*, 2016) en la parte alta (2.950 - 3.016 msnm) de la quebrada 'Los Pozos', señalan que este es un recurso con indicios de contaminación por sustancias de baja biodegradabilidad, cuya relación estaría dada por el frecuente uso de agroquímicos en la zona.

La presencia de fósforo en todas las estaciones de muestreo supone una contaminación antropogénica difusa, que se cree, proviene del uso de fertilizantes del cultivo intensivo que se da en la zona de estudio. Las menores concentraciones en la temporada de altas precipitaciones pueden estar relacionadas con el efecto de dilución que sufren los compuestos solubles al aumentar el caudal de la quebrada.

La mayor concentración de fósforo en la E2 se explica por las condiciones topográficas del terreno que forma una hondonada, así como por la actividad antrópica que presenta la estación; los niveles críticos de este macronutriente en procesos de eutrofización son de 0,01 mg/L (Sierra, 2011),

valor superado en todas estaciones de muestreo, lo que supone una contribución importante de nutrientes de la quebrada 'Los Pozos' al lago de Tota, lo que puede contribuir al aumento de la productividad del lago hasta el punto en el que la luz pueda llegar a ser limitante (Roldán y Ramírez, 2008; Vásquez *et al.*, 2009; Aristizábal y Cerón, 2012).

4.2 Parámetros fisicoquímicos

Las temperaturas registradas en la quebrada 'Los Pozos' se mantienen sin variaciones estadísticas entre temporadas, los valores en las diferentes estaciones fueron coincidentes con la altitud de la estación, puesto que las menores temperaturas correspondieron a los puntos más elevados, y fueron similares a las reportadas por Rincón *et al.* (2016). Las estaciones de muestreo de las zonas más bajas (E5 y E6) reportaron mayores valores de temperatura y concentraciones de oxígeno disuelto inferiores a 4,2 mg/L. De ampliarse las variaciones de temperatura, pudiera llegar a tener impacto en la ecología del cuerpo de agua, y a la vez elevar el potencial tóxico de algunas sustancias, así como ocasionar la disminución del oxígeno disuelto, lo que impactaría directamente la supervivencia de las especies (Sierra, 2011).

La conductividad eléctrica de la quebrada 'Los Pozos' es muy similar en las dos temporadas; el aumento progresivo aguas abajo en las estaciones de muestreo supone una mayor cantidad de sólidos disueltos y se explica desde el impacto que sufre la quebrada por agricultura y pastoreo en su recorrido, los aportes de sólidos están relacionados con la naturaleza del terreno, la época de lluvia y los nutrientes, pues los valores de conductividad pueden variar debido a la erosión del cauce, el arrastre de sedimentos y la escorrentía provocada por las lluvias (Roldán y Ramírez, 2008).

La dinámica del pH difiere entre temporadas; los menores valores hallados en época de bajas precipitaciones se explican por la reducción del

caucedelaquebrada,juntoconladescomposiciónde materia orgánica que puede darse al interior de ésta; sin embargo, el rango del pH de un recurso hídrico varía dependiendo de su estado trófico y de su alcalinidad (Roldán y Ramírez, 2008; Vásquez *et al.*, 2009; Aristizábal y Cerón, 2012; Sosnovsky y Quirós, 2006).

La quebrada ‘Los Pozos’ mantiene la distribución de oxígeno disuelto entre temporadas, sin variaciones estadísticamente significativas. Aunque el parámetro está relacionado con la salinidad y la temperatura, los resultados obtenidos no permiten establecer una tendencia en los datos.

5. Conclusiones

A partir de los hallazgos de este estudio se puede señalar que la quebrada “Los Pozos” es un recurso que presenta contaminación difusa, posiblemente con origen en las actividades agrícolas que se desarrollan en toda la microcuenca, y que, por compactación, erosión o acidificación del suelo, se facilita la escorrentía de nutrientes a la quebrada.

Los valores de nitrógeno y fósforo hallados sugieren que la quebrada “Los Pozos” aporta altas cantidades de nutrientes al lago de Tota, lo que de mantenerse en el tiempo pudiera aumentar el crecimiento exuberante de plantas acuáticas que ya se presenta al interior del lago, con el subsecuente proceso de eutrofización que de allí se derive.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Boyacá por el financiamiento de la presente investigación.

7. Referencias citadas

- ABDALLA, F. & R. KHALIL. 2018. “Potential effects of groundwater and surface water contamination in an urban area, Qus City, Upper Egypt”. *Journal of African Earth Sciences*, 141: 164-178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.02.016>.
- ABELLA, J. y M. MARTÍNEZ. 2012. “Contribución de un afluente tributario a la eutrofización del Lago de Tota (Boyacá - Colombia)”. *Revista Colombiana de Química*, 41(2):243-261.
- ARISTIZÁBAL GUTIÉRREZ, F. A. y L. E. CERON RINCÓN. 2012. “Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos”. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1): 285-295.
- CAMARGO, J. A. y A. ALONSO. 2007. “Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medio ambientales, criterios de calidad del agua e implicaciones del cambio climático”. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 16(2): 98-110.
- CANATÁRIO, A. F. 2006. *Contaminación difusa ocasionada por la actividad agrícola de riego, a la escala de la cuenca hidrográfica*. Universidad de Córdoba. Portugal. Tesis de Doctorado.
- CORDERO, R. D.; RUIZ, J. E. y F. F. VARGAS. 2005. “Determinación espacio-temporal de la concentración de fósforo en el lago de tota”. *Revista Colombiana de Química*, 34(2): 211-218.

- DE JONG, R.; DRURY, C. F.; YANG, J. Y. & C. A. CAMPBELL. 2009. "Risk of water contamination by nitrogen in Canada as estimated by the IROWC-N model". *Journal of Environmental Management*, 90(10): 3.169-3.181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.05.034>.
- DIBUT ALVAREZ, B. 2009. *Biofertilizantes como insumos en agricultura sostenible*. Editorial Universitaria. La Habana, Cuba.
- GAMBOA, R. A.; CIFUENTES, G. R. y A. WILCHES. 2014. *Estudio fitosanitario y fisiológico del cultivo de cebolla de bulbo en el área de influencia del distrito de riego del alto Chicamocha - Boyacá*. Universidad de Boyacá. Tunja, Boyacá.
- GAMBOA BECERRA, R. A.; CIFUENTES OSORIO, G. R. y Z. E. ROCHA GIL. 2016. "Indicadores bacterianos de contaminación fecal en el agua del embalse La Copa, municipio de Toca, Boyacá/Colombia". *Revista I3+*, 3(1): 10-23. DOI: <https://doi.org/10.24267/23462329.157>
- GONZÁLEZ, C. 2016. *Impactos de la variabilidad climática y las actividades humanas en la dinámica hidrológica del lago de Tota*. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. Tesis de Maestría.
- GOPAL, V.; SHANMUGASUNDARAM, A.; NITHYA, B.; MAGESH, N. S. & M. JAYAPRAKASH. 2018. "Water quality of the Uppanar estuary, Southern India: Implications on the level of dissolved nutrients and trace elements". *Marine Pollution Bulletin*, 130: 279-286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.046>.
- KUNRATH, T. R.; LEMAIRE, G.; SADRAS, V. O. & F. GASTAL. 2018. "Water use efficiency in perennial forage species: Interactions between nitrogen nutrition and water deficit". *Field Crops Research*, 222: 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.031>.
- IDEAM. 2014. *Informe batimetría Lago de Tota*. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/>. [Consulta: junio, 2018].
- JAROSIEWICZ, A.; OBOLEWSKI, K. & M. OŹGO. 2015. "Long-term trends in nutrient concentrations in Polish coastal rivers". *Ocean & Coastal Management*, 118(Part A): 37-46. DIO: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.04.007>.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona, España.
- MOJICA, A. y J. A. GUERRERO. 2013. "Evaluación del movimiento de plaguicidas hacia la cuenca del Lago de Tota, Colombia". *Revista Colombiana de Química*, 42(2): 29-38.
- NORIEGA, J. A.; CASTILLO, D.; VÁSQUEZ, A. y J. D. MONROY. 2010. "Estudio preliminar del estado de la microcuenca Los Pozos y su posible efecto en un sector de la laguna de Tota, Boyacá-Colombia". *Revista de Tecnología*, 9(2): 145-164.
- PACHECO, A. J.; PAT, C. R. y A. CABRERA. 2002. "Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos". *Ingeniería*, 6(3): 73-81.
- RINCÓN, G. V. P.; BENAVIDES, S. A. L. y C. Y. T. SILVA. 2016. Estandarización del método analítico para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y su aplicación en la cuantificación de materia orgánica en la microcuenca Los Pozos - Aquitania, Boyacá. *Congreso Internacional de Ciencias Básicas de la Universidad de los Llanos*. pp.147 Villavicencio, Colombia (24-26 de septiembre).
- ROLDAN, G. y J. RAMÍREZ. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- SARDIÑAS PEÑA, O. y A. PÉREZ CABRERA. 2004. "Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato". *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 42(2).

- SIERRA RAMÍREZ, C. A. 2011. *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la U. Medellín, Colombia.
- SOSNOVSKY, A. y R. QUIRÓS. 2006. "El estado trófico de pequeñas lagunas pampeanas, su relación con la hidrología y el uso de la tierra". *Ecología Austral*, 16: 115-124.
- SUMMYA, N.; USMAN, M. & R. NASEEM MALIK. 2018. "Phytoplankton Spatio-temporal dynamics and its relation to nutrients and water retention time in multi-trophic system of Soan River, Pakistan" *Environmental Technology & Innovation*, 9: 38-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.10.005>.
- VÁSQUEZ, C.; ARIZA, V. y G. PINILLA. 2009. "Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano cundiboyacense". *Red Universitas Scientiarum*. 11(2): 61-75.