NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA: CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO
13 - 16 DE SEPTIEMBRE 2022 CARTAGENA DE INDIAS, COLOMBIA
Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI

Estudio de línea base sobre la variabilidad espacial de la concentración de nitrógeno en el agua superficial de un agroecosistema de páramo en Colombia

Daniela Cristina Rey Romero, Emily Bautista, María J. Barrera, Isabel Domínguez, Édgar Ricardo Oviedo Ocaña

Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia

Resumen

Los páramos son territorios estratégicos para el Desarrollo Sostenible debido principalmente a su alta diversidad biológica, capacidad de almacenamiento de carbono, importancia cultural y su rol como reguladores y proveedores del recurso hídrico que abastece a numerosas poblaciones. A pesar de ello, estos ecosistemas se encuentran amenazados por actividades antrópicas, entre las cuales sobresale la agricultura convencional. Aunque se han realizado estudios que relacionan los usos del suelo con cambios en la calidad del agua en páramos, la relación entre actividades agrícolas y la exportación de nitrógeno al agua superficial en estos ecosistemas no ha sido suficientemente estudiada. Por esta razón, en este estudio se analizó la variabilidad espacial de diferentes formas de nitrógeno en el agua superficial del páramo de Berlín (Santander, Colombia) durante una época de altas precipitaciones. Para ello, se seleccionó una unidad hidrográfica de 207 ha localizada en la cabecera de la microcuenca del río Jordán, en donde la principal actividad económica consiste en el cultivo de cebolla de rama (*Allium fistulosum*) y, en menor medida, cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) y pastoreo extensivo. Se aplicaron técnicas de observación en campo y entrevistas semiestructuradas a los agricultores locales para la identificación de las principales prácticas agrícolas en la zona de estudio. Se realizó una campaña de muestreo durante dos meses, con una frecuencia semanal, considerando ocho puntos de monitoreo localizados en tres quebradas que discurren por áreas con distintos usos del suelo. En relación con las concentraciones de nitratos y nitrógeno total, a partir de análisis de varianza y pruebas *post hoc,* se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre puntos de monitoreo ubicados en áreas con poca intervención antrópica y puntos de monitoreo aledaños a áreas con actividad agrícola. Las concentraciones en

los puntos analizados estuvieron entre 0.00 a 3.40 mg N-NO_3/L para los nitratos y 0.15 a 5.50 mg N/L para el nitrógeno total. Este incremento podría promover procesos de eutrofización en cuerpos lóticos de páramo, representando un riesgo para su biodiversidad. El aporte de nitrógeno al agua superficial determinado en este estudio se puede atribuir a fuentes difusas asociadas al desarrollo generalizado de cultivos de cebolla de rama con prácticas intensivas que incluyen tendencia hacia el establecimiento de monocultivos, uso de estiércol de aves de corral sin compostar, aplicación intensiva de fertilizantes sintéticos, pesticidas convencionales y métodos de riego ineficiente. Estos resultados evidencian la contaminación difusa del agua por actividades agrícolas en páramos y pueden utilizarse como línea base para la formulación y evaluación de estrategias orientadas a la transición hacia sistemas agrícolas sostenibles en estas regiones. Dado que esta investigación se realizó en un área relativamente pequeña, es necesario contrastar estos resultados con un análisis a mayor escala en la microcuenca del río Jordán, lo cual permitiría dimensionar y comprender la magnitud real del problema como insumo para una mejor toma de decisiones alrededor del manejo del suelo y el agua en la región.

Palabras clave: páramo; agricultura; contaminación difusa

Abstract

*Páramos are strategic areas for Sustainable Development mainly due to their biodiversity, carbon storage capacity, cultural importance, and role as regulators and providers of water resources from which numerous populations benefit. Despite this, páramos are threatened by anthropic activities, mainly related to conventional agriculture practices. Although previous studies in these ecosystems have analyzed the effects of land use on water quality, the relationship between agricultural activities and nitrogen export to surface water sources in these ecosystems is poorly understood. For this reason, this study analyzed the spatial variation of nitrogen concentrations in surface water sources of the Páramo de Berlín (Santander, Colombia) during a rainy season. For this, we selected a 207-ha hydrographic unit located at the upper Jordan river micro-catchment, where spring onion (*Allium fistulosum*) cropping is the main productive activity. Other less important agricultural land uses are potato (*Solanum tuberosum*) crops and extensive livestock farming. We applied field observation techniques and semi-structured interviews with local farmers to identify the primary agricultural practices in the study area. A sampling campaign was carried out for two months every week, considering eight monitoring points in three creeks that run through areas with different land uses. Concerning the concentrations of nitrates and total nitrogen, from variance analysis and* post hoc *tests, we found significant differences ($p < 0.05$) between sampling points located in areas with scarce anthropic intervention and sampling points close to areas with agricultural activity. The concentrations at the analyzed points were between 0.00 to 3.40 mg N-NO_3^-/L for nitrates and 0.15 to 5.50 mg N/L for total nitrogen. This increase could promote eutrophication processes in páramo's lotic water sources, thus representing a risk to its biodiversity. The nitrogen migration to surface water sources determined in this study can be attributed to non-point source pollution associated with the widespread development of intensive spring onion cropping. These activities include establishing monocultures, using uncomposted poultry manure, intensive use of synthetic fertilizers and conventional pesticides, and inefficient irrigation methods. These results serve as evidence of the existent diffuse water pollution caused by agricultural activities in páramos. Consequently, our results can be used*

as a baseline for formulating and assessing best management practices to achieve sustainable agricultural systems in these regions. Since this research was conducted in a relatively small area, these results need to contrast with a larger-scale analysis in the Jordan River micro-catchment, which would allow us to measure and understand the problem magnitude and provide inputs for better decisión-making processes in the region.

Keywords*: páramo; agriculture; diffuse pollution*

1. Introducción

Los páramos andinos, al igual que otras regiones de alta montaña, se caracterizan por ofrecer servicios ecosistémicos de los que dependen numerosas poblaciones y sobresalen por estar entre los más biodiversos del mundo y por su alto potencial de regulación y suministro de agua (Hofstede, *et al.*, 2014). A pesar de su importancia, en Colombia estos ecosistemas se encuentran sometidos a presiones antrópicas crecientes, principalmente por actividades agrícolas. Estudios realizados en páramos del país, exponen el deterioro de la calidad del agua superficial por la exportación de nitrógeno de origen agrícola y revelan la insostenibilidad de las prácticas de fertilización empleadas en estos ecosistemas (Aranguren-Riaño, *et al.*, 2018; Otero *et al.*, 2011).

Aunque los impactos ambientales de la agricultura en páramos son evidentes, esta constituye la principal actividad económica de poblaciones campesinas que históricamente los han habitado (Cabrera and Ramírez, 2014). Entre estas actividades se incluye el cultivo de cebolla de rama (*Allium fistulosum*) que ha tenido un creciente y notable desarrollo en el Páramo de Berlín, localizado en la Cordillera Oriental de Colombia. Aunque este territorio fue declarado Distrito de Manejo Integrado (DMI) con el fin de preservar su alto potencial hídrico (Suárez, *et al.*, 2008), la agricultura en este páramo se caracteriza por prácticas de manejo convencionales, las cuales posiblemente favorecen la contaminación difusa del agua superficial por nitrógeno.

En este contexto, el Estado colombiano a través de la legislación vigente, reconoce el derecho que tienen los habitantes tradicionales del páramo a la continuación de sus actividades agrícolas, siempre que estas posean un bajo impacto ambiental (Congreso de Colombia, 2018). A su vez, enfatiza la necesidad de promover el monitoreo y fortalecer la investigación científica en estos ecosistemas, con el fin de formular estrategias conservacionistas que armonicen con los medios de sostenimiento de las poblaciones locales.

Por esta razón, en este estudio se analizó el efecto de cultivos de cebolla de rama en el Páramo de Berlín sobre la variación espacial de las concentraciones de nitrógeno en el agua superficial. Adicionalmente, se identificaron las actividades agrícolas que podrían favorecer las pérdidas de nitrógeno y promover la contaminación difusa de cuerpos hídricos en este ecosistema. Los resultados de esta investigación contribuyen a suministrar información para facilitar la toma de decisiones sobre estrategias de manejo sostenible del nitrógeno en el Páramo de Berlín y podrían servir como referente para evaluar la eficiencia de su implementación.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

Se seleccionó una unidad hidrográfica (UH) de 207 ha, localizada en la parte alta de la microcuenca del río Jordán, en el DMI del Páramo de Berlín (Santander, Colombia), como se observa en la Figura 1. Entre las coberturas presentes en la UH, se destacan los cultivos de cebolla de rama, además de cultivos de papa (*Solanum tuberosum*), coníferas, pajonales y pastos con presencia de arbustos y rastrojos. Adicionalmente, dentro de la UH, se consideró una subunidad hidrográfica (SHU) de 11 ha, la cual presenta una mínima intervención antrópica (Celis Vargas, 2021). La comunidad que habita en la UH está constituida por 36 familias, de las cuales 32 se dedican a actividades agrícolas (GPH and GIMBA, 2022).

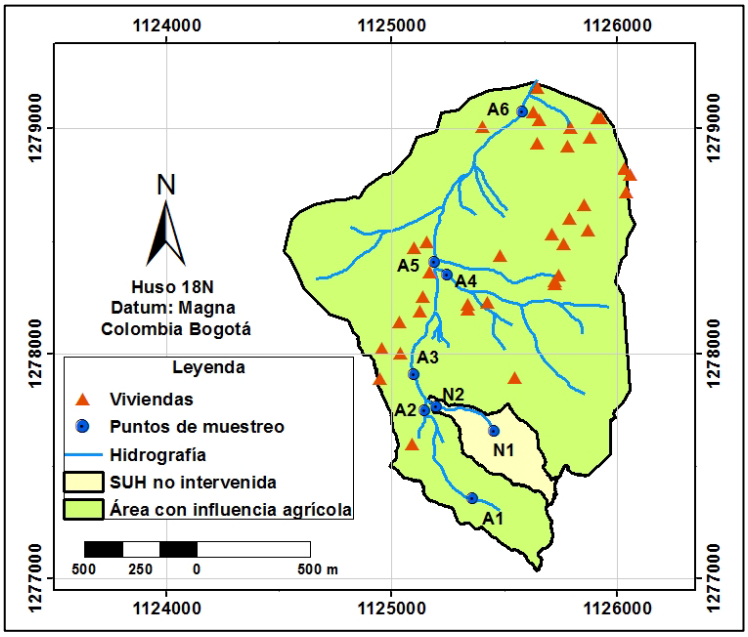

Figura 1. Unidad hidrográfica de estudio

2.2 Identificación de prácticas agrícolas locales

Se aplicaron entrevistas semiestructuradas a 23 agricultores seleccionados mediante un muestreo por conveniencia, empleando la estrategia bola de nieve. Para esto, se elaboró una guía de entrevista que contenía preguntas relacionadas con los métodos empleados para la preparación del terreno, irrigación, fertilización, control de plagas y enfermedades, manejo de arvenses, manejo de residuos sólidos, entre otros. Adicionalmente, se realizaron recorridos por las fincas de los agricultores participantes del estudio, los cuales permitieron identificar aspectos relevantes de las prácticas agrícolas desarrolladas en la UH.

2.3 Monitoreo de nitrógeno en el agua superficial

Se seleccionaron ocho (8) puntos de muestreo en fuentes de agua superficial dentro de la UH (ver Figura 1). Los puntos se denominaron utilizando un código, en el cual la letra N indica que los puntos están ubicados en la SUH no intervenida, mientras que la letra A señala que los puntos se encuentran en áreas de la UH con influencia agrícola. Para la selección de estos puntos se consideró su representatividad en el área de drenaje de la UH, la facilidad de realizar aforos, la existencia de posibles fuentes de contaminación aledañas y la disposición de actores locales a permitir el acceso de los investigadores a sus predios para el muestreo.

Se realizó una campaña de muestreo durante los meses de septiembre y octubre de 2021, que abarcó ocho (8) jornadas de muestreo desarrolladas con una frecuencia semanal. Este período correspondió a una época de altas precipitaciones en la UH, como se observa en la Figura 2. En cada día de monitoreo, se realizaron aforos mediante el método volumétrico en la mayoría de los puntos de muestreo, a excepción de los puntos A4, A5 y A6, debido a que la magnitud del flujo impedía su aplicación. En estos puntos se empleó el método área-velocidad utilizando un medidor magnético FH950 de Hach®.

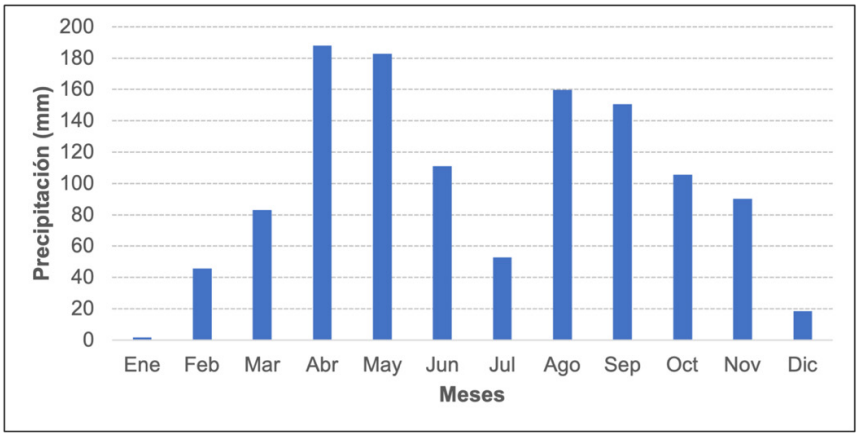

Figura 2. Precipitación registrada durante el año 2021 en la unidad hidrográfica (GPH, *et al.*, 2021).

A su vez, en los diferentes puntos seleccionados, se tomaron muestras puntuales de agua superficial, las cuales se mantuvieron refrigeradas y se transportaron al laboratorio para los análisis posteriores, siguiendo los protocolos establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2017). Las determinaciones de nitrógeno total (NT), nitrógeno en nitratos ($N\text{-}NO_3^-$) y nitrógeno en nitritos ($N\text{-}NO_2^-$) se realizaron mediante los métodos de digestión con persulfato, reducción de cadmio y diazotización, respectivamente, utilizando kits comercializados por Hach® que incluyen protocolos adaptados de los Métodos Estándar para Análisis de Aguas y Aguas Residuales (APHA-AWWA-WEF, 2017) y métodos aprobados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, 2020).

2.4 Análisis estadísticos

Con el fin de analizar la variación espacial en las concentraciones de NT, $N\text{-}NO_3^-$ y $N\text{-}NO_2^-$, se verificó si los datos cumplían con los supuestos del análisis de varianza (ANOVA). La normalidad

se evaluó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. La homogeneidad de varianzas se verificó a través de la prueba de Levene. Debido a que los datos no se ajustaron a la distribución normal y no poseían varianzas homogéneas, se optó por aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Núñez Colín, 2018) y la prueba *post-hoc* de Dunn (Sheskin, 2011) para determinar si existían diferencias significativas entre las concentraciones de las formas de nitrógeno medidas en los puntos de muestreo. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el programa SPSS versión 25, considerando un nivel de significancia de 0.05.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización de prácticas agrícolas locales

Se determinó que el 100% de los agricultores entrevistados se dedican al cultivo de cebolla de rama. Otras actividades que desarrollan los agricultores en la UH, asociadas con los usos del suelo, incluyen: cultivos de papa (43%), otros cultivos no permanentes (13%) ganadería extensiva (ovinos y bovinos) con orientación a la producción de leche para consumo familiar (26%), piscicultura de truchas (4%) y conservación de áreas con vegetación nativa de páramo (17%). Debido a que la cebolla de rama se cultiva de forma permanente y es la principal actividad productiva en la UH, para este estudio, la caracterización de prácticas agrícolas se enfocó en dicho cultivo. En las fincas visitadas, se determinó que el área destinada a la producción de cebolla de rama está entre 0.13 a 1.21 ha, con promedio de 0.50 ha.

La preparación del suelo se realiza mediante arado mecanizado con tractor, dado que las parcelas cultivables poseen bajas pendientes que permiten su utilización. Si bien esta práctica podría promover la compactación del suelo, reduciendo la capacidad de infiltración del agua y favoreciendo el transporte de nitrógeno hacia cuerpos hídricos por medio de escorrentía superficial (Moss, 2008), su implementación podría tener baja relevancia en la degradación física del suelo en el contexto local. Esto debido a que, en las fincas del área de estudio, esta actividad se realiza una sola vez antes del establecimiento del cultivo de cebolla de rama, el cual se mantiene de forma permanente por varios años (entre 10 a 20 años o más). Durante ese tiempo, los agricultores prescinden del arado, pero realizan aporques después de cada cosecha.

Aunque los suelos del Páramo de Berlín se caracterizan por ser ácidos (Patiño, 2021), pocos agricultores (17%) afirmaron utilizar cal como enmienda del suelo durante su preparación. Sin embargo, varios agricultores (31%), desconocen si se ha realizado esta práctica debido a que las huertas ya estaban establecidas en el momento en que iniciaron sus actividades laborales. Después del arado, se realiza el trasplante de plántulas de cebolla de rama provenientes de otras parcelas del Páramo de Berlín. Para ello, se trazan surcos en contra de la pendiente, lo cual puede contribuir a mitigar la erosión hídrica y el arrastre de contaminantes a las fuentes hídricas.

Todos los agricultores locales entrevistados emplean abonos orgánicos producidos con estiércol de aves de corral (pollinaza y/o gallinaza) sin compostar. En algunas fincas (36%), estos abonos se aplican cada 3 meses (i.e., una vez por cosecha), mientras que en otras fincas (64%) la aplicación se realiza cada 6 meses (i.e., una vez cada dos cosechas). Esta frecuencia depende de los recursos

económicos disponibles para adquisición de insumos y/o la preferencia del agricultor. Adicionalmente, todos los agricultores consultados emplean fertilizantes sintéticos (principalmente de tipo foliar) que aportan macro y micronutrientes (p. ej., N, P, K, Mg, S, Ca) a la planta y son aplicados cada 10 a 15 días a lo largo de todo el ciclo del cultivo, cuya duración es de 100 días aproximadamente. Las dosis aplicadas, tanto de abonos orgánicos como de fertilizantes sintéticos, se deciden con imprecisión a juicio del agricultor, sin apoyarse en ningún tipo de medida o recomendación técnica.

La aplicación excesiva de estiércoles crudos puede promover pérdidas de nitrógeno debido a sus efectos negativos sobre propiedades edáficas. El alto contenido de nitrógeno de este tipo de abonos acelera la actividad biológica del suelo, resultando en altas concentraciones de nitratos (García, *et al.*, 2006) que podrían ser lixiviados y contaminar aguas superficiales y subterráneas. A su vez, un estudio reciente determinó que altas dosis de nitrógeno en suelos con cebolla de rama altera significativamente las comunidades fúngicas rizosféricas, lo que podría comprometer la asimilación de este nutriente por el cultivo (Zhao, *et al.*, 2020). El uso de estos estiércoles también se ha asociado con problemas de toxicidad por sales y acumulación de metales pesados en plantas; además se ha determinado que podría tener efectos perjudiciales sobre microorganismos benéficos que promueven el reciclaje de nutrientes como *Azospirillum sp.* y *Azotoabcter sp.* (Montenegro-Gómez, *et al.*, 2017). En el caso de la gallinaza, su aplicación en altas dosis favorece el taponamiento de los poros del suelo debido a la compactación, disminuyendo la capacidad de infiltración y favoreciendo la escorrentía superficial (Casas Rodríguez and Guerra Casas, 2020).

Por otra parte, en la mayoría de las fincas (62%), el control de arvenses se realiza de forma manual durante todo el ciclo del cultivo; mientras que en las restantes éste se complementa con el uso de herbicidas. Para el manejo de plagas y enfermedades, la mayoría de los agricultores (83%) fumigan las plantas de cebolla utilizando cal disuelta en agua, con una frecuencia anual. Además, todos los agricultores emplean diversos pesticidas convencionales (principalmente fungicidas e insecticidas), cuya aplicación se realiza en conjunto con la adición de fertilizantes sintéticos, cada 10 a 15 días a lo largo del ciclo del cultivo. En otros contextos de Colombia, se utilizan prácticas similares en cultivos de cebolla, que incluyen el empleo de numerosos productos fitosanitarios con un amplio rango de niveles de toxicidad (Gómez Benítez, *et al.*, 2021; Navarro, et al., 2021). El control químico para manejo arvenses, plagas y enfermedades tiene un alto potencial de inhibir a los microorganismos del suelo que favorecen el reciclaje de nutrientes (Santos, *et al.*, 2021), por lo que posiblemente sea una práctica que dificulta la asimilación de nitrógeno por la planta y favorece las pérdidas de este nutriente en el área de estudio.

En relación con el riego, todos los agricultores emplean riego por aspersión y no realizan estimaciones de los requerimientos hídricos para las diferentes etapas de crecimiento del cultivo. Adicionalmente, no manejan calendarios de riego, sino que ajustan las frecuencias según el tiempo atmosférico y la humedad del suelo, la cual perciben con la vista y el tacto. Las frecuencias de riego oscilan entre cada 2 a 8 días. En numerosos contextos agrícolas, se ha determinado que este tipo de manejo resulta en bajas eficiencias de uso del agua y del nitrógeno por el cultivo y acelera la lixiviación de nitratos en suelos cultivados (Quemada, *et al.*, 2013). Finalmente, se identificó que el manejo de residuos de cosecha podría ser otra práctica que favorece las pérdidas de nitrógeno,

pues éstos se disponen sobre el suelo a un lado de las huertas y no reciben un manejo que permita su posterior aprovechamiento.

3.2 Variación espacial en la concentración de nitrógeno

La Tabla 1 presenta información general sobre los puntos de muestreo y resultados de los caudales y concentraciones de nitrógeno medidos en cada uno. A partir de la prueba de Kruskall-Wallis, se encontró que no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las concentraciones de $N\text{-}NO_2^-$ medidas en los puntos de muestreo, las cuales estuvieron entre 0.000 a 0.008 mg N/L. Sin embargo, sí se presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) en las concentraciones de NT y $N\text{-}NO_3^-$ (Figura 3). Para estos dos parámetros, las comparaciones múltiples realizadas mediante la prueba de Dunn permitieron agrupar a los puntos de muestreo en tres grupos en donde las concentraciones de nitrógeno se incrementan significativamente ($p < 0.05$) conforme las fuentes hídricas discurren por áreas con influencia del cultivo de cebolla de rama.

Tabla 1. Características de los puntos de muestreo y resultados del monitoreo de nitrógeno en el agua superficial

Punto de muestreo	Altitud (msnm)	Caudal (L/s)	NT (mg N/L)	$N\text{-}NO_3^-$ (mg N/L)	$N\text{-}NO_2^-$ (mg N/L)
N1	3500	0.43 ± 0.11	0.43 ± 0.29	0.20 ± 0.04	0.006 ± 0.001
N2	3422	3.04 ± 0.42	0.86 ± 0.17	0.29 ± 0.06	0.005 ± 0.003
A1	3508	3.41 ± 0.52	0.41 ± 0.39	0.14 ± 0.07	0.005 ± 0.001
A2	3419	3.67 ± 1.40	2.01 ± 0.52	1.00 ± 0.15	0.005 ± 0.001
A3	3418	8.26 ± 1.48	1.44 ± 0.46	0.59 ± 0.10	0.005 ± 0.001
A4	3390	7.89 ± 2.97	4.11 ± 0.91	2.79 ± 0.53	0.005 ± 0.004
A5	3390	26.33 ± 8.49	3.86 ± 0.98	2.59 ± 0.46	0.003 ± 0.003
A6	3384	52.86 ± 16.05	3.82 ± 0.64	2.53 ± 0.48	0.005 ± 0.002

Nota: Los valores de caudal y concentraciones de las distintas formas de nitrógeno corresponden al promedio ± desviación estándar de los valores determinados durante las ocho (8) jornadas de muestreo.

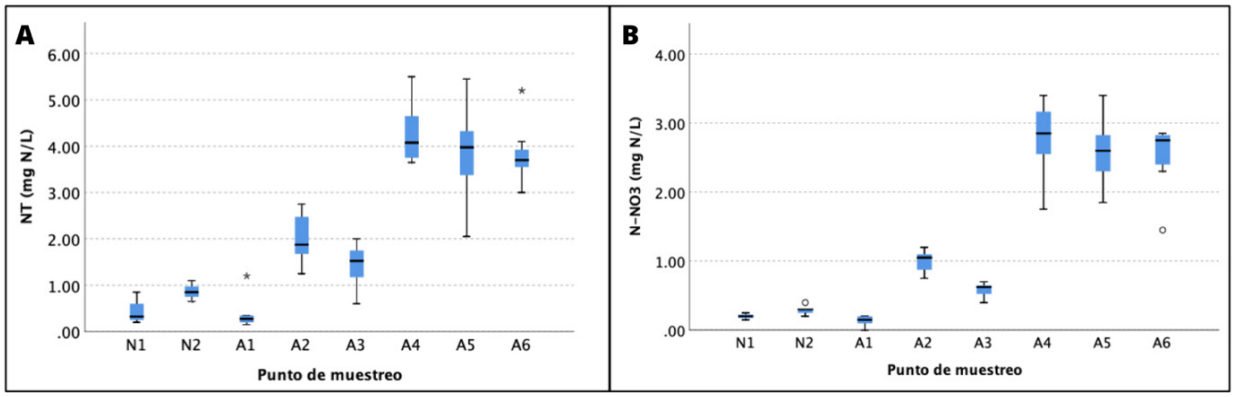

Figura 3. Concentraciones de (A) nitrógeno total y de (B) nitrógeno en nitratos medidas en diferentes puntos de muestreo en el agua superficial.

El primer grupo integra a los puntos N1 y A1 (nacimientos de las fuentes hídricas) y al punto N2 (cierre de la SUH no intervenida), en donde se encontraron las menores concentraciones de NT (0.15 a 1.20 mg N/L) y de $N\text{-}NO_3^-$ (0.00 a 0.40 mg N/L). Estos valores son similares a aquellos

reportadas por otros estudios en ecosistemas de alta montaña andina sin influencia antrópica (Cerón-Vivas, *et al.*, 2019; Ramírez, *et al.*, 2018). El segundo grupo abarca los puntos A2 (cauce principal antes de la confluencia con el afluente de la SUH no intervenida) y A3, localizado en el cauce principal a una distancia de 130 m del punto A2 (medidos en la dirección del flujo). En estos puntos de muestreo se presentaron mayores concentraciones de NT (0.60 a 2.75 mg N/L) y de N-NO_3^- (0.40 a 1.20 mg N/L) respecto a aquellas determinadas en los puntos ubicados en áreas con mínima o nula intervención antrópica. Este aumento en las concentraciones de estas formas de nitrógeno es notable al considerar que, aguas arriba del punto A2, las coberturas del suelo destinadas a actividades agrícolas corresponden a solo 2.75 ha (Celis Vargas, 2021).

Finalmente, el tercer grupo está conformado por los puntos A4 (afluente que atraviesa zonas intervenidas con agricultura), A5 (cauce principal en la parte media de la UH) y A6 (cierre de la UH). En este caso, se obtuvieron las concentraciones más altas de NT (2.05 a 5.50 mg N/L) y de N-NO_3^- (1.45 a 3.40 mg N/L). Las concentraciones de N-NO_3^- halladas en estos puntos son cercanas a aquellas determinadas en afluentes del Lago de Tota en Boyacá (Colombia), las cuales oscilan entre 2.3 a 5.6 mg N-NO_3^-/L y se atribuyen al establecimiento de monocultivos de cebolla de rama en esa región (Barrera, *et al.*, 2019), con prácticas agrícolas similares a las que se determinaron para la UH en este estudio.

Las concentraciones de nitrógeno en nitratos halladas en este estudio no representan riesgos para la salud humana, dado que son inferiores al límite establecido por la Organización Mundial de la Salud para aguas de consumo humano (<10 mg N-NO_3^-/L) (OMS, 2018). Sin embargo, en el caso de los puntos A4, A5 y A6, los valores obtenidos sí están por encima del límite establecido por regulaciones de algunos países andinos para la preservación de la biodiversidad acuática (< 2.9 mg N-NO_3^-/L) en ecosistemas de alta montaña (Ministerio del Ambiente, 2015; Presidencia de la República, 2017). Por ello, se concluye que el aporte de nitrógeno de origen agrícola al agua superficial podría promover procesos de eutroficación en cuerpos hídricos lóticos del páramo.

4. Conclusiones

Se determinaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las concentraciones de nitrógeno total (0.15 a 5.50 mg N/L) y nitrógeno en nitratos (0.00 a 3.40 mg N-NO_3^-/L) en los diferentes puntos de muestreo, con tendencia a incrementar conforme las quebradas atraviesan áreas adyacentes a cultivos. Estos resultados evidencian la magnitud de la contaminación difusa del agua superficial por nitrógeno en una UH del Páramo de Berlín, la cual es considerable teniendo en cuenta que las superficies destinadas al cultivo de cebolla de rama en las fincas son reducidas y que el área de drenaje de la UH es relativamente pequeña. Por lo tanto, es recomendable que este estudio se replique a mayor escala para estimar los impactos ambientales asociados al cultivo de cebolla de rama en ecosistemas de páramo. Además, es importante que, en futuros estudios, se contrasten los resultados del monitoreo en épocas con diferente régimen de precipitación.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a los agricultores del Páramo de Berlín que participaron en este estudio y a la Universidad Industrial de Santander por la financiación del proyecto de investigación "Estrategias para la reducción de pérdidas de nitrógeno en cultivos de cebolla junca que promuevan la resiliencia de pequeños agricultores del Páramo de Berlín, frente a los retos económicos derivados de la pandemia" (código 2726).

6. Referencias

- APHA-AWWA-WEF. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd edn. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Aranguren-Riaño, N. J. et al. (2018). Sources of nutrients behind recent eutrophication of Lago de Tota, a high mountain Andean lake. Aquatic Sciences, Vol. 80, No. 4.
- Barrera, H. J. A.; Espinosa, R. A. J. and Álvarez, S. J .P. (2019). Pollution in Lago de Tota, Colombia: Acute toxicity on daphnia magna (cladocera: Daphniidae) and hydra attenuata (hydroida: Hydridae). Revista de Biologia Tropical, Vol. 67, No. 1, pp. 11–23.
- Cabrera, M. and Ramírez, W. (2014). Restauración ecológica de los páramos de Colombia. Transformación y herramientas para su conservación. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Bogotá D.C.
- Casas Rodríguez, S. and Guerra Casas, L. D. (2020). La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. Revista de Producción Animal. Vol. 32, No3, pp. 87–102.
- Celis Vargas, A. D. (2021). Evaluación de los efectos del cambio de uso de suelo y cobertura sobre los servicios de abastecimiento y regulación hídrica ofertados por unidades hidrográficas de páramo seco. Trabajo de grado de Maestría. Universidad Industrial de Santander. Colombia.
- Cerón-Vivas, A. et al. (2019). Water quality of Mamarramos stream. The sanctuary of fauna and Flora Iguaque, Colombia. Tecnologia y Ciencias del Agua, Vol. 10, No. 6, pp. 90–116.
- Congreso de Colombia. (2018). Ley 1930. Bogotá, Colombia.
- García, Y.; Ortiz, A. and Wo, E. L. (2006). Efecto de los residuales avícolas en el ambiente. Su aprovechamiento en la producción agrícola y animal. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Vol. 40 No. 2, pp. 133–143.
- Gómez Benítez, M. A. et al. (2021). Agricultural practices in onion crops and their impact on water quality in Risaralda, Colombia. International Journal of Agricultural Sustainability, pp. 1–20.
- GPH, CEMOS and G-PAD. (2021). Análisis participativo de la influencia del uso del suelo en los servicios hidrológicos de suministro y regulación ofertados por el ecosistema de páramo seco. Caso: Berlín (Complejo Santurbán, Santander – Colombia). Proyecto de Investigación. Convocatoria Interna. Programa Santander Científico: sostenibilidad y defensa del Ecosistema del Páramo de Santurbán. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- GPH and GIMBA. (2022). Estrategias para la reducción de pérdidas de nitrógeno en cultivos de cebolla junca que promuevan la resiliencia de pequeños agricultores del Páramo de Berlín, frente a los retos económicos derivados de la pandemia. Proyecto de Investigación. Convocatoria Interna "Aporte UIS frente a la pandemia por la COVID-19". Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Hofstede, R. et al. (2014). Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN), Quito, Ecuador.

- IDEAM. (2017). Protocolo de Monitoreo del Agua." Bogotá, D. C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Ministerio del Ambiente. (2015). Registro Oficial Edición Especial N°387 del 4 de noviembre de 2015. Quito, Ecuador.
- Montenegro-Gómez, S. P.; Gómez-Posada, S. and Barrera-Berdugo, S. E. (2017). Efecto de la gallinaza sobre *Azotobacter sp., Azospirillum sp.* y hongos micorrízicos arbusculares en un cultivo de cebolla (*Allium fistulosum*). Entramado, Vol. 13, No. 2, pp. 250–257.
- Moss, B. (2008). Water pollution by agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, Vol. 363, No. 1491, pp. 659–666.
- Navarro, L. et al. (2021). Assessment of the potential risk of leaching pesticides in agricultural soils: study case Tibasosa, Boyacá, Colombia. Heliyon, Vol. 7, No. 11, p. e08301.
- Núñez Colín, C.A. (2018). Análisis de varianza no paramétrica: Un punto de vista a favor para utilizarla. Acta Agrícola y Pecuaria, Vol. 4, No. 3, pp. 69–79.
- OMS. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- Otero, J. D. et al. (2011). Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area. Ecological Engineering, Vol. 37, No. 12, pp. 2035–2043.
- Patiño, S. (2021). Evaluación del efecto del uso del suelo sobre sus propiedades hidrofísicas en ecosistema de páramo asociadas a los servicios de suministro y regulación hídrica. Trabajo de grado de maestría. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- Presidencia de la República. (2017). Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Diario Oficial El Peruano del de junio de 2017. Lima, Perú.
- Quemada, M. et al. (2013). Meta-analysis of strategies to control nitrate leaching in irrigated agricultural systems and their effects on crop yield. Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 174, pp. 1–10.
- Ramírez, Y. P. et al. (2018). Cattle raising influence over the aquatic macroinvertebrates in microbasins of central Andes, Colombia. Revista de Biologia Tropical, Vol. 66, No. 3, pp. 1244–1257.
- Santos, M. S. et al. (2021). The Challenge of Combining High Yields with Environmentally Friendly Bioproducts: A Review on the Compatibility of Pesticides with Microbial Inoculants. Agronomy (Basel), Vol. 11, No. 870, p. 870.
- Sheskin, D. J. (2011). Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures. Fifth edition, Biometrics. Fifth edition. Chapman & Hall/CRC, Bocaraton, FL, USA.
- Suárez, C. et al. (2008). Plan Integral de Manejo del Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales "Páramo de Berlín." CORPONOR- CDMB – IavH, Bucaramanga.
- USEPA. (2020). Approved CWA Test Methods: Inorganic Non-Metals, United States Environmental Protection Agency.
- Zhao, C. et al. (2020). High nitrogen concentration alter microbial community in Allium fistulosum rhizosphere. PLoS ONE, Vol. 15, 11.

Sobre los autores

- **Daniela Cristina Rey Romero**: MSc. en Planificación y Desarrollo de Recursos Hidráulicos y estudiante de Doctorado en Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander. daniela2208106@correo.uis.edu.co
- **Emily Bautista**: Ing. Civil, egresada de la Universidad Industrial de Santander. emily.bautista1@correo.uis.edu.co
- **María J. Barrera**: Ing. Civil, egresada de la Universidad Industrial de Santander. maria.barrera4@correo.uis.edu.co

- **Isabel Domínguez**: PhD. en Agricultura, Alimentación y Desarrollo Rural. Profesora Asociada de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander. isabeldr@uis.edu.co
- **Édgar Ricardo Oviedo Ocaña**: PhD. en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Profesor Asociado de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander. eroviedo@uis.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)