



# CONCENTRACIÓN DE NITRATOS Y FOSFATOS EN EL RÍO CESAR ENTRE ZAMBRANO (LA GUAJIRA) Y LAS PITILLAS (CESAR)

## NITRATES AND PHOSPHATES CONCENTRATION IN THE CESAR RIVER BETWEEN ZAMBRANO (LA GUA- JIRA) AND LAS PITILLAS (CESAR)

Jean Carlos Ospino-Jiménez <sup>1</sup>

María I. Téllez Luna <sup>2</sup>

Yessica L. Perdomo Useche <sup>3</sup>

Néstor F. Plata <sup>4</sup>

Javier G. Gómez <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Magíster en Gestión Ambiental, Universidad Popular del Cesar, Valledupar,  
Colombia. jcarlosospino@unicesar.edu.co

<sup>2</sup> Magíster en Gestión Ambiental, Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar,  
Colombia. mtellez10@estudiantes.areandina.edu.co

<sup>3</sup> Magíster en Gestión Ambiental, Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar,  
Colombia. yperdomo11@areandina.edu.co

<sup>4</sup> Maestría en Ciencias Naturales y Matemática, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín,  
Colombia. nestor.plata@upb.edu.co

<sup>5</sup> PhD. Química, Universidad Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil.  
javiergomezg@unicesar.edu.co

**Citación:** Ospino-Jiménez, J., Téllez, M., Perdomo, Y., Plata, N. y Gómez, J. (2025). Con-  
centración de nitratos y fosfatos en el río Cesar entre Zambrano (La Guajira) y Las Pitillas  
(Cesar). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 16(1), 281 - 297.  
<https://doi.org/10.22490/21456453.7820>

## RESUMEN

**Contextualización:** las actividades antropogénicas influyen en el ciclo de nitrógeno y fósforo en aguas superficiales, siendo un problema ambiental significativo.

**Vacío de conocimiento:** en la actualidad, no existen investigaciones que aborden el estudio de los iones de  $\text{NO}_3^-$  (Nitratos) y  $\text{PO}_4^{3-}$  (Fosfatos) mediante métodos espectrofotométricos en la cuenca del río Cesar (Colombia).

**Propósito:** esta investigación estudió las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  en el río Cesar, entre Zambrano y Las Pitillas, durante estaciones lluviosas (septiembre 2022) y seca (enero 2023), en zonas con actividades de pastoreo, agrícolas y domésticas, para evaluar el Índice de Contaminación por Nutrientes (NPI).

**Metodología:** se utilizaron métodos espectrofotométricos para detección de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ .

**Resultados y conclusiones:** la concentración de  $\text{NO}_3^-$  osciló entre  $0.460 \pm 0.044 \text{ mg.L}^{-1}$  en San Juan y  $1.182 \pm 0.032 \text{ mg.L}^{-1}$  en Salguero en la estación lluviosa, mientras que la estación seca fluctuó entre  $0.936 \pm 0.151 \text{ mg.L}^{-1}$  en Zambrano y  $1.865 \pm 0.150 \text{ mg.L}^{-1}$  en Las Pitillas. En cuanto a  $\text{PO}_4^{3-}$ , los valores oscilaron entre  $1.514 \pm 0.022 \text{ mg.L}^{-1}$  en San Juan y  $2.739 \pm 0.022 \text{ mg.L}^{-1}$  en Salguero en la estación lluviosa, mientras que la estación seca varió entre  $2.405 \pm 0.156 \text{ mg.L}^{-1}$  en San Juan y  $5.553 \pm 0.143 \text{ mg.L}^{-1}$  en Salguero. Comparando con los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS y WHO, 2004), solo en Salguero ( $5.553 \pm 0.143 \text{ mg.L}^{-1}$ ) superó el valor permisible para  $\text{PO}_4^{3-}$  durante la estación seca. Finalmente, El NPI indicó una contaminación moderada en Salguero en la estación seca.

**Palabras clave:** cuenca fluvial, espectroscopía, eutroficación, iones

## ABSTRACT

**Contextualization:** Anthropogenic activities influence the nitrogen and phosphorus cycle in surface waters, being a significant environmental problem.

**Knowledge gap:** At present, there is no research that addresses the study of  $\text{NO}_3^-$

(Nitrates) and  $\text{PO}_4^{3-}$  (Phosphates) ions by spectrophotometric methods in the Cesar River basin (Colombia).

**Purpose:** This research studied the concentrations of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  in the Cesar River, between Zambrano and Las Pitillas,

during rainy (September 2022) and dry (January 2023) seasons, in areas with grazing, agricultural and domestic activities, to evaluate the Nutrient Pollution Index (NPI).

**Methodology:** Spectrophotometric methods were used to detect  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{PO}_4^{3-}$ .

**Results and conclusions:**  $\text{NO}_3^-$  concentration ranged between  $0.460 \pm 0.044 \text{ mg.L}^{-1}$  at San Juan and  $1.182 \pm 0.032 \text{ mg.L}^{-1}$  at Salguero in the rainy season, while in the dry season it fluctuated between  $0.936 \pm 0.151 \text{ mg.L}^{-1}$  at Zambrano and  $1.865 \pm 0.150 \text{ mg.L}^{-1}$  at Las Pitillas.

As for  $\text{PO}_4^{3-}$ , values ranged between  $1.514 \pm 0.022 \text{ mg.L}^{-1}$  at San Juan and  $2.739 \pm 0.022 \text{ mg.L}^{-1}$  at Salguero in the rainy season, while the dry season ranged between  $2.405 \pm 0.156 \text{ mg.L}^{-1}$  in San Juan and  $5.553 \pm 0.143 \text{ mg.L}^{-1}$  in Salguero. Compared with the limits established by the World Health Organization (WHO, 2004), only in Salguero ( $5.553 \pm 0.143 \text{ mg.L}^{-1}$ ) exceeded the permissible value for  $\text{PO}_4^{3-}$  during the dry season. Finally, the NPI indicated moderate pollution in Salguero during the dry season.

**Keywords:** eutrophication, ions, river basin, spectroscopy

## RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

## 1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo humano ha sido frecuentemente asociado a impactos negativos sobre el medioambiente, especialmente en el agua (Salgot y Folch, 2018). Los contaminantes del agua son variados, aunque los más comunes corresponden por ejemplo a contaminantes orgánicos e inorgánicos ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_3^-$ , HTP, HAP, BTEX, AOX), (De Girolamo *et al.*, 2019), iones de metales pesados, metaloides tóxicos o compuestos químicos orgánicos sintéticos (Braun *et al.*, 2019).

En el caso particular de los nitratos y fosfatos, diversas fuentes puntuales o difusas contribuyen al incremento de las concentraciones de los mismos en aguas superficiales, como pueden ser la agricultura intensiva y los vertidos de aguas residuales domésticas, industriales y ganaderas (Soro *et al.*, 2023; Priya *et al.*, 2022; Jiang *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2020; Bhateria y Jain, 2016). Estos fenómenos ocasionan una severa degradación de la calidad del agua, provocando el crecimiento excesivo de plantas acuáticas y floraciones de algas (Vu *et al.*, 2019), situación que conlleva a una disminución en la concentración de oxígeno disuelto en el agua, generando condiciones de anoxia e hipoxia, las cuales puede ocasionar la asfixia y muerte de organismos acuáticos (Soro *et al.*, 2023).

El río Cesar constituye una fuente vital de agua dulce en los territorios de los departamentos del Cesar y La Guajira (Colombia). Recibe en su cauce, afluentes con descargas de naturaleza doméstica (Oñate y Cortez, 2020) e industriales, procedentes de actividades como minería, agricultura y ganadería, dando lugar a la degradación de la calidad del agua (Madera *et al.*, 2016). Oñate y Madera utilizaron macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la contaminación del río Cesar, evidenciando una baja calidad del agua en ciertos tramos debido a actividades antropogénicas (Oñate y Cortez, 2020; Madera *et al.*, 2016), sin embargo, no existe información que refiera al estudio de la concentración  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  del río Cesar empleando métodos espectrofotométricos.

El objetivo de esta investigación fue determinar las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  en el río Cesar, entre Zambrano (La Guajira) y Las Pitillas (Cesar), usando métodos espectrofotométricos como metodología para evaluar el NPI. Se compararon los resultados obtenidos con los límites establecidos por la OMS (2004) para estos iones en aguas superficiales.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

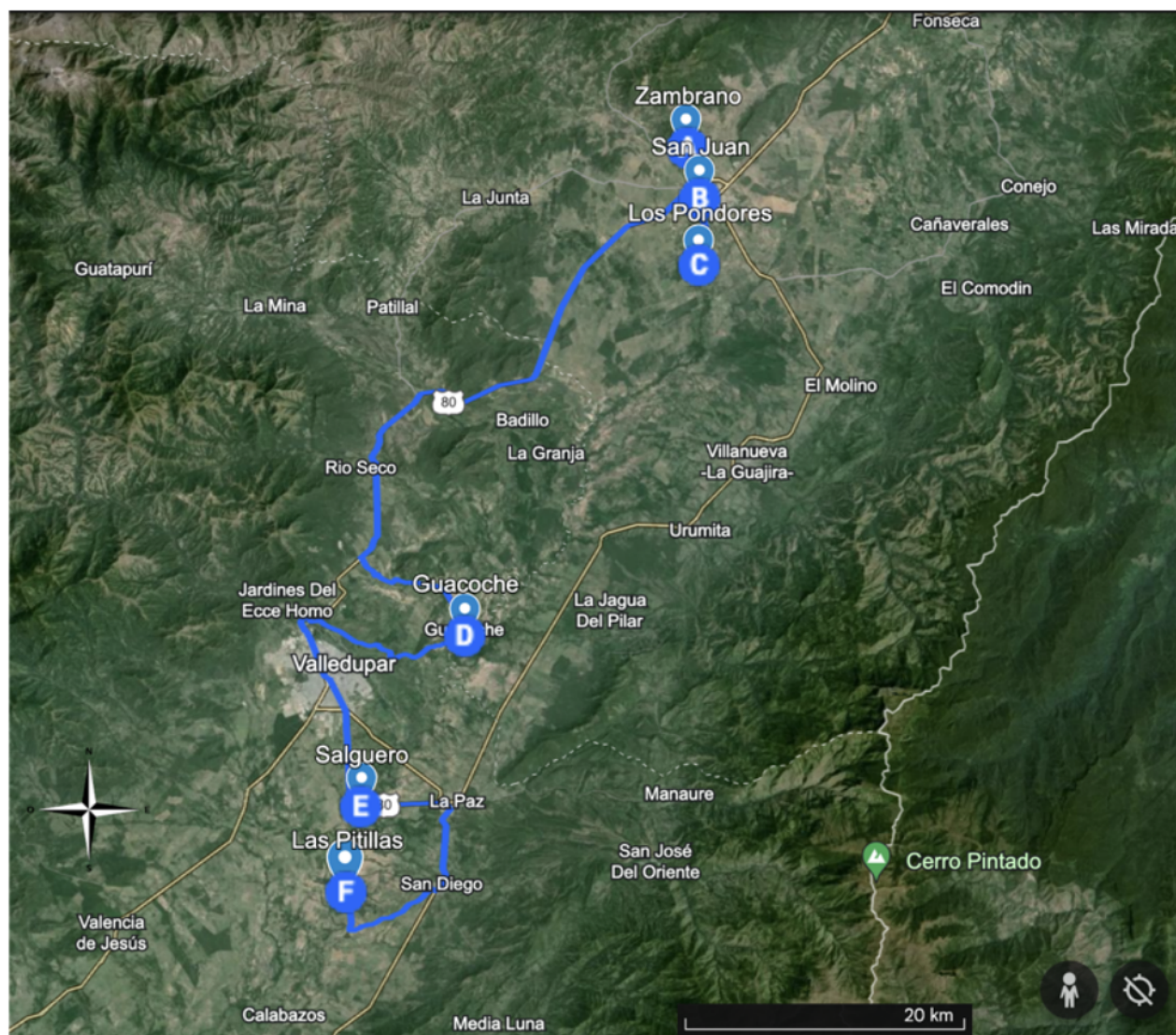
### Descripción del área de estudio

La cuenca del río Cesar, según la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR), citado por Guzmán (2013), nace en las estribaciones surorientales de la Sierra Nevada de Santa Marta, delimitada por el valle del río Ariguaní y la Serranía del Perijá, culminando su trayecto al desembocar en la ciénaga de Zapatosa. Esta cuenca abarca un territorio de 1.776.900 hectáreas, distribuyéndose en un 65% en el departamento del Cesar y el 35% restante en el departamento de La Guajira.

El río Cesar desempeña un papel crucial en el desarrollo de las localidades ribereñas, siendo el epicentro de actividades económicas primordiales en la región, tales como: la agricultura, la pesca, la explotación de materiales de arrastre y la ganadería (Guzmán, 2013). El clima en la cuenca al norte del departamento del Cesar se presenta como cálido semiárido con una temperatura media anual superior a 28°C. La precipitación media anual oscila entre 1000 y 1500 mm. Además, el patrón de precipitaciones presenta un carácter bimodal, con dos estaciones se-

cas y dos estaciones lluviosas; los periodos secos están comprendidos entre los meses de junio a julio, y los meses entre diciembre a abril, mientras que las estaciones lluviosas comprenden el mes de mayo, y los meses entre agosto a noviembre (IDEAM, s.f.).

Para el muestreo en el río Cesar, se seleccionaron seis sitios distribuidos a lo largo de su longitud de estudio (Figura 1). Se tomaron muestras de aguas superficiales en estos sitios durante los meses de septiembre de 2022 y enero de 2023, correspondientes a las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Las muestras se filtraron y conservaron refrigeradas a 4°C en recipientes de vidrio ámbar, siguiendo las directrices del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM (2020). Los análisis se realizaron en las 24 horas posteriores a la toma de las muestras en las instalaciones del laboratorio de Microbiología Agrícola y Ambiental (MAGYA) de la sede Sabana de la Universidad Popular del Cesar (Valledupar, Colombia). La Tabla 1 detalla los sitios de muestreo, las coordenadas geográficas y el uso del suelo en las cercanías de las cuencas fluviales.



**Figura 1.** Mapa de los sitios de muestreo estudiados del río Cesar

**Fuente:** (Google, s.f.)

**Tabla 1.**

Detalles de sitios de muestreo del río Cesar

| Sitio de muestreo | Código del sitio | Característica del sitio de muestreo             | Coordenadas                  | Elevación (m.s.n.m) |
|-------------------|------------------|--------------------------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Zambrano          | A                | Tierra de pastoreo habitada por pocos habitantes | 10°48'15.5"N<br>73°01'16.2"O | 250                 |
| San Juan          | B                | Actividades agrícolas y domésticas               | 10°46'18.3"N<br>73°00'44.7"O | 250                 |

|              |   |                                                       |                              |     |
|--------------|---|-------------------------------------------------------|------------------------------|-----|
| Los Pondores | C | Actividades agrícolas y pastoreo                      | 10°43'37.6"N<br>73°00'46.8"O | 250 |
| Guacoche     | D | Excavación de arena y actividades agrícolas           | 10°29'30.3"N<br>73°09'54.1"O | 180 |
| Salguero     | E | Excavación de arena, actividades agrícolas y pastoreo | 10°23'01.1"N<br>73°13'55.9"O | 180 |
| Las Pitillas | F | Tierra de pastoreo habitada por pocos habitantes      | 10°19'44.0"N<br>73°14'34.8"O | 180 |

**Nota.** N: norte; O: oeste; m.s.n.m: metros sobre el nivel del mar.

**Fuente:** autores.

## Análisis de muestras

### Nitratos

Se aplicó el método espectrofotométrico 0.2 - 20.0 mg.L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub>-N 0.9 - 88.5 mg.L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub>⁻ Spectroquant® obtenidos de Merck. Para ello, se introdujeron una cantidad equivalente a una microcuchara rasa del reactivo NO<sub>3</sub>⁻ en un tubo de ensayo seco. Posteriormente, se añadió 5.0 ml de reactivo NO<sub>3</sub>⁻, agitándose vigorosamente durante 1 minuto hasta la disolución completa del reactivo NO<sub>3</sub>⁻. Luego, se incorporaron gradualmente 1.5 ml de la muestra filtrada. Las muestras fueron dejadas en reposo a temperatura ambiente durante un periodo de 10 minutos. Las absorbancias de NO<sub>3</sub>⁻ fueron analizadas por triplicado y determinadas espectrofotométricamente a una longitud de onda máxima (λ máx.) de 525 nm, utilizando un espectrofotómetro UV-vis GENESYS 10S de la marca Thermo scientific.

### Fosfatos

Se aplicó el método espectrofotométrico, VM 0.5 - 30.0 mg.L<sup>-1</sup> PO<sub>4</sub>-P 1.5 - 92.0 mg.L<sup>-1</sup> PO<sub>4</sub>³⁻ 1.1 - 68.7 mg.L<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Spectroquant® obtenidos de Merck. A cada 5.0 ml de cada muestra de agua filtrada, se añadió 1.2 ml del reactivo PO<sub>4</sub>³⁻. Luego, las muestras se analizaron por triplicado espectrofotométricamente utilizando un espectrofotómetro UV-vis GENESYS 10S de la marca Thermo scientific, a λ máx. 410 nm. Este método es análogo al American Public Health Association (APHA) 4500-P C. (Franson, 1992).

### Análisis de datos

Se realizó análisis de varianza (ANOVA) de dos factores y prueba de Tukey para determinar diferencias significativas entre las concentraciones de NO<sub>3</sub>⁻ y PO<sub>4</sub>³⁻ según el sitio de muestreo y la estación con una confianza del 95% mediante el programa estadístico Minitab 18. El coeficiente de variación se calculó utilizando la Ecuación 1. Este coeficiente proporciona información

sobre la variabilidad de las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  en función de la estación (lluviosa o seca).

$$CV = (DE/M) * 100$$

(Ecuación 1)

Donde:

CV = Coeficiente de variación

DE = Desviación estándar

M = Media

La variación fue categorizada en tres niveles: baja variación (%CV <20), variación moderada (%CV = 20-50) y alta variación (%CV >50) (Verla *et al.*, 2020a; 2020b; 2018; 2017 Enyoh *et al.*, 2018). Además, se realizó un análisis de correlación de Pearson para poder determinar la asociación entre  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ . Se procedió a calcular el NPI mediante la Ecuación 2, con el objetivo de evaluar la

contaminación asociada al uso del agua en actividades antropogénicas.

$$NPI = \frac{CN}{MAC\ N} + \frac{CP}{MAC\ P}$$

(Ecuación 2)

Donde:

CN = concentración promedio de  $\text{NO}_3^-$

CP = concentración promedio de  $\text{PO}_4^{3-}$

MAC N = concentración máxima para  $\text{NO}_3^-$  (OMS, 2004)

MAC P = concentración máxima para  $\text{PO}_4^{3-}$  (OMS, 2004)

La clasificación del NPI se divide en categorías que incluyen NPI <1 (sin contaminación), NPI  $1 \leq 3$  (moderadamente contaminado), NPI  $3 < 6$  (considerablemente contaminado) y NPI  $> 6$  (muy altamente contaminado) (Isiuku y Enyoh, 2020).

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza de dos factores mostró que las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  variaron significativamente según la interacción entre el sitio de muestreo y la estación ( $p < 0,05$ ), y con la prueba de Tukey se comprobó que grupos (sitio de muestreo\*estación) son significativamente diferentes entre sí (tablas 2 y 3). En ninguno de los sitios

de muestreo se superó el valor límite (10  $\text{mg.L}^{-1}$ ) para  $\text{NO}_3^-$ , establecido en la resolución 2115 de 2007 para aguas de consumo humano (potable), en ambas estaciones. Sin embargo, la concentración de  $\text{PO}_4^{3-}$  en todos los sitios de muestreo en ambas estaciones excedió el umbral de 0.5  $\text{mg.L}^{-1}$  (Resolución 2115 de 2007).

**Tabla 2.**

Concentración media de  $\text{NO}_3^-$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) de sitios de muestreo en estación lluviosa y seca

| Sitio de muestreo | Estación lluviosa    | Estación seca        |
|-------------------|----------------------|----------------------|
| Zambrano          | $0.496 \pm 0.047$ EF | $0.936 \pm 0.015$ D  |
| San Juan          | $0.460 \pm 0.044$ F  | $1.332 \pm 0.029$ BC |
| Los Pondores      | $0.506 \pm 0.046$ EF | $1.353 \pm 0.025$ B  |
| Guacoche          | $0.626 \pm 0.006$ E  | $1.389 \pm 0.066$ B  |
| Salguero          | $1.182 \pm 0.032$ C  | $1.861 \pm 0.006$ A  |
| Las Pitillas      | $0.919 \pm 0.046$ D  | $1.865 \pm 0.150$ A  |
| Media             | 0.698                | 1.456                |
| DE                | 0.037                | 0.048                |
| % CV              | 5.27                 | 3.33                 |

**Nota.** Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Fuente:** autores.

**Tabla 3.**

Concentración media de  $\text{PO}_4^{3-}$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) de sitios de muestreo en estación lluviosa y seca

| Sitio de muestreo   | Estación lluviosa    | Estación seca        |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| <i>Zambrano</i>     | $1.537 \pm 0.022$ G  | $2.829 \pm 0.226$ D  |
| <i>San Juan</i>     | $1.514 \pm 0.022$ G  | $2.405 \pm 0.156$ EF |
| <i>Los Pondores</i> | $1.670 \pm 0.022$ G  | $2.962 \pm 0.102$ D  |
| <i>Guacoche</i>     | $2.249 \pm 0.022$ F  | $3.363 \pm 0.022$ C  |
| <i>Salguero</i>     | $2.739 \pm 0.022$ DE | $5.553 \pm 0.143$ A  |
| <i>Las Pitillas</i> | $2.279 \pm 0.046$ F  | $4.410 \pm 0.291$ B  |
| <i>Media</i>        | 1.998                | 3.587                |
| <i>DE</i>           | 0.026                | 0.157                |
| <i>% CV</i>         | 1.32                 | 4.37                 |

**Nota.** Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Fuente:** autores.

La resolución 631 de 2015 en Colombia establece análisis y reporte de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  para los vertimientos en aguas superficiales y sistemas de alcantarillado, el hecho de no contar con límites permisibles puede deber-

se a que los  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  son contaminantes poco estudiados en el país o que dichos márgenes se encuentran en evaluación (Resolución 631 de 2015).

Según la Agencia de Protección Ambiental de Irlanda (EPA, 2023), las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  en aguas superficiales  $<4 \text{ mg.L}^{-1}$  y  $<8 \text{ mg.L}^{-1}$  indican alta y buena calidad respectivamente; por lo cual se demuestra la alta calidad de la cuenca del río Cesar entre Zambrano (La Guajira) y Las Pitillas (Cesar), ya que los sitios de muestreo no superaron estos valores en ambas estaciones. Además, en Irlanda se consideran aguas superficiales de alta calidad con concentraciones de  $\text{PO}_4^{3-}$   $<0.075 \text{ mg.L}^{-1}$ , buena calidad  $<0.105 \text{ mg.L}^{-1}$ , mientras que  $>0.105 \text{ mg.L}^{-1}$  indica menor calidad. A lo largo de los sitios de muestreo del río estudiado, las concentraciones de iones  $\text{PO}_4^{3-}$  indicaron que la calidad del agua es deficiente tanto en la estación lluviosa como en la estación seca.

De forma adicional, conforme a las directrices de la OMS (2004), los límites permisibles en agua superficiales para  $\text{NO}_3^-$  son  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  es  $5 \text{ mg.L}^{-1}$ . Las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  en los sitios de muestreo se mantuvieron por debajo de los límites mencionados anteriormente tanto en la estación lluviosa como en la seca. Sin embargo, sólo se observó un valor superior al permisible en el sitio Salguero, con una concentración de  $\text{PO}_4^{3-}$  ( $5.553 \pm 0.143 \text{ mg.L}^{-1}$ ) durante la estación seca.

Según los registros de precipitación media total mensual para la zona de estudio del IDEAM, el mes de enero (estación seca) presenta un promedio de precipitación mensual acumulada entre 0 a 50 milímetros (mm), mientras que el mes de septiembre (estación lluviosa) presenta un promedio de precipitación acumulada entre 150 a 200

milímetros (mm) (IDEAM, s.f). Como resultado, la disminución de las precipitaciones en la región durante la temporada seca lleva a una disminución del caudal del río Cesar y en un aumento de la concentración de los iones de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  en comparación con la estación lluviosa (Hegarty, *et al.*, 2021; Mosquera-Restrepo y Peña-Salamanca, 2019). Esto concuerda con el estudio de Maderas *et al.* (2016) sobre la calidad del agua en el río Cesar utilizando los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de contaminación, donde se observó que los niveles de fósforo total se incrementan durante el periodo seco.

Según Soro *et al.* (2023), al evaluar la calidad del agua en tres ríos en Costa de Marfil encontraron que durante la estación seca, en comparación con la estación lluviosa, se registra una mayor concentración de iones de  $\text{NO}_3^-$  en los ríos Comoé ( $1.06 \pm 0.44 \text{ mg.L}^{-1} \text{ NO}_3^- \text{ N}$ ) y Bia ( $0.82 \pm 0.40 \text{ mg.L}^{-1} \text{ NO}_3^- \text{ N}$ ), así como una mayor concentración para los iones de  $\text{PO}_4^{3-}$  en el río Comoé ( $0.071 \pm 0.029 \text{ mg.L}^{-1} \text{ PO}_4^{3-} \text{ P}$ ), Bandama ( $0.053 \pm 0.036 \text{ mg.L}^{-1} \text{ PO}_4^{3-} \text{ P}$ ) y Bia ( $0.101 \pm 0.009 \text{ mg.L}^{-1} \text{ PO}_4^{3-} \text{ P}$ ). De forma adicional, Chan y Sahile (2024) reportaron que en el río Elgo en Etiopía la concentración media de  $\text{NO}_3^-$  en la época seca ( $0.198 \pm 0.007 \text{ mg.L}^{-1}$ ) es ligeramente superior en comparación con la época lluviosa ( $0.197 \pm 0.020 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Este fenómeno se atribuye a actividades antropogénicas, escorrentía tierras agrícolas, uso de fertilizantes naturales o sintéticos y filtraciones de aguas residuales. Durante el trayecto Zambrano (La Guajira) y Salguero (Cesar), el río Cesar atraviesa diferentes zonas urbanas y rurales donde se desarrollan varias actividades de pastoreo (Pinilla *et al.*, 2018;

De la Parra-Guerra *et al.*, 2017), industriales y agrícolas, que contribuyen con la descarga de aguas domésticas, industriales, así como la lixiviación de fertilizantes (Chan y Sahile, 2024; Soro *et al.*, 2023; Han *et al.*, 2020; Rütting y Delin, 2018; Bhateria y Jain, 2016). Como consecuencia, a medida que se avanza en los sitios de muestreo entre el tramo Zambrano (La Guajira) y Salguero (Cesar) se puede observar un incremento de las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ , respectivamente.

En el sitio Salguero (Cesar) fue encontrada la mayor concentración en  $\text{mg.L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ , independientemente de las condiciones climáticas de la estación lluviosa o estación seca. De acuerdo con el NPI existe una contaminación moderada, producto de la descarga de aguas residuales provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Valledupar que recibe y trata aguas residuales industriales y domésticas. La presencia de este efluente puede deteriorar la calidad del agua en la cuenca baja

del río Cesar, afectando negativamente a la biodiversidad en este ecosistema acuático y al suministro del recurso hídrico a las poblaciones vecinas, tal como quedó demostrado en los trabajos de De la Parra y García-Alzate (2019) y Carreño y Méndez (2011).

La correlación de Pearson arrojó un coeficiente  $\rho = 0.909$  y un valor  $p = 0.000$ , lo que indica una fuerte correlación positiva y significativa entre los niveles de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ . Esta relación sugiere que cuando los niveles de  $\text{NO}_3^-$  aumentan también lo hacen los de  $\text{PO}_4^{3-}$ , y viceversa, sin implicar una relación causal. Ambos parámetros parecen estar influenciados por un tercer factor externo desconocido.

El NPI en aguas superficiales permite evaluar la contribución acumulativa de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  a la salud ambiental, proporcionando una evaluación rápida de la calidad del agua. Los valores del NPI calculado en los distintos sitios de muestreos del río Cesar se presentan en las tablas 4 y 5.

**Tabla 4.**

NPI de los sitios de muestreos en estación lluviosa

| Sitio de muestreo | Estación lluviosa | Observación       |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| Zambrano          | 0.32              | Sin contaminación |
| San Juan          | 0.31              | Sin contaminación |
| Los Pondores      | 0.34              | Sin contaminación |
| Guacoche          | 0.46              | Sin contaminación |
| Salguero          | 0.57              | Sin contaminación |
| Las Pitillas      | 0.47              | Sin contaminación |

**Fuente:** autores.

**Tabla 5.**

NPI de los sitios de muestreos en estación seca

| Sitio de muestreo | Estación seca | Observación               |
|-------------------|---------------|---------------------------|
| Zambrano          | 0.58          | Sin contaminación         |
| San Juan          | 0.51          | Sin contaminación         |
| Los Pondores      | 0.62          | Sin contaminación         |
| Guacoché          | 0.70          | Sin contaminación         |
| Salguero          | 1.15          | Moderadamente contaminado |
| Las Pitillas      | 0.92          | Sin contaminación         |

**Fuente:** autores.

Durante la estación seca, únicamente Salguero exhibe una categoría moderada de contaminación (con un valor de 1.15), mientras que los demás sitios de muestreos en esta estación no denotan la presencia de contaminantes, lo cual se refleja en el siguiente

orden: Salguero > Las Pitillas > Guacoché > Los Pondores > Zambrano > San Juan. En la estación lluviosa, ningún sitio de muestreo presenta contaminación, manteniendo el mismo orden observado en la estación seca.

## 4 CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio indican que la estación y el sitio de muestreo influyen en la concentración de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  ( $p < 0,05$ ) de las aguas superficiales del río Cesar. A lo largo de la cuenca del río Cesar, desde Zambrano (La Guajira) hasta Las Pitillas (Cesar), los niveles de  $\text{NO}_3^-$  se encuentra entre los límites permitidos por la OMS y la EPA de Irlanda. Por otro lado, la concentración de iones  $\text{PO}_4^{3-}$  supera los límites establecidos

por la EPA de Irlanda en todos los sitios de muestreo, sin embargo, según los límites establecidos por la OMS solo el sitio de muestreo Salguero superó el valor permitido para el parámetro de  $\text{PO}_4^{3-}$  durante la estación seca. Por último, el NPI indicó una contaminación moderada en Salguero durante la estación seca atribuida a las descargas de efluentes de la PTAR de Valledupar.

## CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

**Jean Carlos Ospino-Jiménez:** administrador del proyecto, metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **María I. Téllez-Luna:** escritura, revisión y edición. **Yessica L. Perdomo Useche:** revisión y

edición. **Néstor F. Plata:** análisis de datos y revisión. **Javier G. Gómez:** adquisición de recursos, administrador del proyecto, supervisión, conceptualización, escritura, revisión y edición.

## AGRADECIMIENTOS

La Universidad Popular del Cesar (sede Valledupar), brindó respaldo financiero en el contexto de la convocatoria interna

para financiar proyectos de investigación de grupos de investigación mediante el convenio 069 del 19 de diciembre de 2022.

## FINANCIAMIENTO

El estudio fue realizado con financiamiento de la Universidad Popular del Cesar a través del proyecto “Microalgas como biorremediadoras de aguas contaminadas por nitratos

y fosfatos postratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Valledupar-cesar”, en el marco del convenio 069, suscrito el 19 de diciembre de 2022.

## LITERATURA CITADA

Bhateria, R., & Jain, D. (2016). Water quality assessment of lake water: a review. *Sustainable Water Resources Management*, 2(2), 161–173. <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0014-7>

Braun, J.C. A., Borba, C. E., Godinho, M., Perondi, D., Schöntag, J. M., & Wenzel, B. M. (2019). Phosphorus adsorption in

Fe-loaded activated carbon: Two-site monolayer equilibrium model and phenomenological kinetic description. *Chemical Engineering Journal*, 361, 751–763. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.12.073>

Carreño, U. F., y Méndez, J. A. (2011). Estimación de la confiabilidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales que

- operan con lagunas de estabilización en la cuenca alta y media del río Bogotá. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 10, 55-64. <https://www.redalyc.org/pdf/2311/231122666005.pdf>
- Chan, D., & Sahile, Z. A. (2024). Water quality assessment of Elgo river in Ethiopia using CCME, WQI and IWQI for domestic and agricultural usage. *Heliyon*, 10(1), e23234. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23234>
- De Girolamo, A. M., Spanò, M., D'Ambrosio, E., Ricci, G. F., & Gentile, F. (2019). Developing a nitrogen load apportionment tool: Theory and application. *Agricultural Water Management*, 226, 105806. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105806>
- De la Parra, A., y García-Alzate, C. (2019). Metabolismo de un tramo en la cuenca baja del río Cesar, departamento del Cesar, en una época de sequía, Colombia. *Intropica* 14(1), 16-23. <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.2719>
- De la Parra-Guerra, A., García-Alzate, C., Rodelo-Soto, K., y Gutiérrez-Moreno, L. (2017). Composición y estructura fitoperifítica de la cuenca media y baja del río Cesar, departamento Cesar-Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 22 (2), 5938-5950. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1029>
- Enyoh, C. E., Verla, A. W., & Egejuru, N. J. (2018). pH variations and chemometric assessment of borehole water in Orji, Owerri Imo State, Nigeria. *Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 5(2), 1-9. <https://doi.org/10.4172/2380-2391.1000238>
- Environmental Protection Agency. [EPA]. (2023). *Water Quality in 2022 - An Indicators Report*. EPA (IE). <https://www.epa.ie/publications/monitoring--assessment/freshwater--marine/Water-Quality-2022-Indicator-Report-Web.pdf>
- Franson, M. (Ed.). (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (18th ed.). American Public Health Association. [https://beta-static.fishersci.com/content/dam/fishersci/en\\_US/documents/programs/scientific/technical-documents/white-papers/apha-phosphates-standard-methods-white-paper.pdf](https://beta-static.fishersci.com/content/dam/fishersci/en_US/documents/programs/scientific/technical-documents/white-papers/apha-phosphates-standard-methods-white-paper.pdf)
- Google. (s.f.). [Indicaciones de Zambrano (La Guajira) a Las Pitillas (Cesar)]. [https://www.google.com/maps/d/edit?mid=17v-jkAqOlwdso72IKk4e5k\\_PbTE2x-9Y&usp=drive\\_link](https://www.google.com/maps/d/edit?mid=17v-jkAqOlwdso72IKk4e5k_PbTE2x-9Y&usp=drive_link)
- Guzmán Finol, K. (2013). *El río Cesar*. Banco de la República. [https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser\\_188.pdf](https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser_188.pdf)
- Han, J. Y., Kim, D. H., Oh, S., & Moon, H. S. (2020). Effects of water level and vegetation on nitrate dynamics at varying sediment depths in laboratory-scale wetland mesocosms. *Science of the Total Environment*, 703, 134741. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134741>
- Hegarty, S., Hayes, A., Regan, F., Bishop, I., & Clinton, R. (2021). Using citizen science to understand river water quality while filling data gaps to meet United Nations Sustainable Development Goal 6 objectives. *Science of the Total Envi-*

ronment, 783, 146953. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146953>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. [IDEAM]. (s.f.). *Atlas climatológico de Colombia*. IDEAM.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2020). *Instructivo de toma y preservación de muestras sedimentos y agua superficial para la red de monitoreo de calidad del IDEAM*. IDEAM.

Isiuku, B. O., & Enyoh, C. E. (2020). Pollution and health risks assessment of nitrate and phosphate concentrations in water bodies in South Eastern, Nigeria. *Environmental Advances*, 2, 100018. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2020.100018>

Jiang, H., Zhang, Q., Liu, W., Zhang, J., Pan, K., Zhao, T., & Xu, Z. (2021). Isotopic compositions reveal the driving forces of high nitrate level in an urban river: Implications for pollution control. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126693. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126693>

Madera, L. C., Angulo, L. C., Díaz, L. C., y Rojas, R. (2016). Evaluación de la Calidad del Agua en Algunos Puntos Afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación. *Información Tecnológica*, 27(4), 103–110. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642016000400011>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles*

*en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones*. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-631-de-2015/>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2007). *Resolución 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*. [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n\\_2115\\_de\\_2007.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n_2115_de_2007.pdf)

Mosquera-Restrepo, D., y Peña-Salamanca, E. J. (2019). “Ensamblaje” de macroinvertebrados acuáticos y su relación con variables fisicoquímicas en un río de montaña en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 67(6), 1235-1246. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i6.30842>

Oñate Barraza, H. C., y Cortez Henao, G. Y. (2020). Estado del agua del río Cesar por vertimientos residuales de la ciudad de Valledupar. Bioindicación por índice BMWP/Col. *Tecnura*, 24(65), 39-48. <https://doi.org/10.14483/22487638.15766>

Pinilla, J. C., Flórez, P., Sierra, M., Morales, E., Sierra, R., Vásquez, M. C., Tobón, J. C., Sánchez, A., & Ortiz, D. (2018). Point prevalence of gastrointestinal parasites in double purpose cattle of Rio de Oro and Aguachica municipalities, Cesar state, Colombia. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 12, 26–30. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2018.01.003>

- Priya, E., Kumar, S., Verma, C., Sarkar, S., & Maji, P. K. (2022). A comprehensive review on technological advances of adsorption for removing nitrate and phosphate from waste water. *Journal of Water Process Engineering*, 49, 103159. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103159>
- Rütting, T., Aronsson, H., & Delin, S. (2018). Efficient use of nitrogen in agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 110(1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9900-8>
- Salgot, M., & Folch, M. (2018). Wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.005>
- Singh, G., Patel, N., Jindal, T., Srivastava, P., & Bhowmik, A. (2020). Assessment of spatial and temporal variations in water quality by the application of multivariate statistical methods in the Kali River, Uttar Pradesh, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(6), 1-26. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08307-0>
- Soro, M., N’Goran, K. M., Ouattara, A. A., Yao, K. M., Kouassi, N. L. B., & Dia-co, T. (2023). Nitrogen and phosphorus spatio-temporal distribution and fluxes intensifying eutrophication in three tropical rivers of Côte d’Ivoire (West Africa). *Marine Pollution Bulletin*, 186, 114391. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114391>
- Verla, E. N., Verla, A. W., & Enyoh, C. E. (2020a). Bioavailability, Average Daily Dose and Risk of Heavy Metals in Soils from Children Playgrounds Within Owerri, Imo State, Nigeria. *Chemistry Africa*, 3(2), 427–438. <https://doi.org/10.1007/s42250-020-00124-9>
- Verla, E. N., Verla A. W., & Enyoh C. E. (2020b). Finding a relationship between physicochemical characteristics and ionic composition of River Nworie, Imo State, Nigeria. *PeerJ Analytical Chemistry* 2:e5. <https://doi.org/10.7717/peerj-achem.5>
- Verla, A. W., Verla, E. N., & Amaobi, C. E. (2018). Water pollution scenario at river Uramurukwa flowing through owerri metropolis, Imo state, Nigeria. *International Journal of Environment and Pollution Research*, 6(4), 38-49. <https://ejournals.org/ijepr/vol-6-issue-4-november-2018/water-pollution-scenario-at-river-uramurukwa-flowing-through-owerri-metropolis-imo-state-nigeria/>
- Verla, E. N., Verla, A. W., & Enyoh, C. E. (2017). Pollution assessment models of surface soils in Port Harcourt city, Rivers State, Nigeria. *World News of Natural Sciences*, 12, 1-20. <http://www.worldnewsnaturalsciences.com/wp-content/uploads/2012/11/WNOFNS-12-2017-1-20-3.pdf>
- Vu, H. H. T., Khan, M. D., Chilakala, R., Lai, T. Q., Thenepalli, T., Ahn, J. W., Park, D. U., & Kim, J. (2019). Utilization of Lime Mud Waste from Paper Mills for Efficient Phosphorus Removal. *Sustainability*, 11(6), 1524. <https://doi.org/10.3390/su11061524>

World Health Organization. [WHO]. (2004). *Guidelines for water quality* 3rd ed. <https://www.who.int/home/search-results?indexCatalogue=genericsearchindex1&->

[searchQuery=Guidelines%20for%20water%20quality%203rd%20ed&words-Mode=AnyWord](https://www.who.int/home/search-results?searchQuery=Guidelines%20for%20water%20quality%203rd%20ed&words-Mode=AnyWord)

**Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



**Licencia de Creative Commons**

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.

