

## MODELO DE EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DESCARGADA EN HUMEDALES PRODUCTO DE LA ESCORRENTÍA URBANA

**Autor:** Juan David Sebastián Osorio Sánchez<sup>1</sup> – jdosorios@udistrital.edu.co

**Docente asesor – Coautor:** Carlos Alfonso Zafra Mejía – czafra@udistrital.edu.co

**Grupo de investigación:** GIIAUD

### RESUMEN DE TRABAJO DE GRADO

La existencia de componentes metálicos en zonas geográficamente aisladas ha suscitado un considerable interés en examinar los mecanismos de dispersión en el entorno urbano a través de medios como el aire, el agua y el suelo. En estas áreas urbanas, la principal vía de entrada de metales pesados ha sido la atmósfera. Este fenómeno según lo observado por Zafra, Temprano, and Tejero (2007), se explica en parte por la alta volatilidad de ciertos metales, como el mercurio (Hg) y el plomo (Pb), lo que facilitó el transporte de estos.

Por otro lado, los metales menos volátiles, como el cobre (Cu) y el zinc (Zn), se encontraban asociados a partículas finas presentes en las masas de aire, lo que fortalece

el transporte atmosférico. En ese sentido, existen pruebas contundentes, que a nivel nacional, la contaminación del aire provocada por actividades relacionadas con el transporte y la industria, han alcanzado niveles críticos en las principales rutas de tránsito del país, como reportaron (Zafra et al., 2013).

A nivel acuático los metales pesados tales como Hg, As, Cd, Pb, Cr, Zn y Ni tienen un impacto significativo en las comunidades biológicas. Estos metales han sido identificados por la U.S. EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos Americanos) como parte de los 10 metales tóxicos prioritarios, los cuales están prohibidos de ser descargados o vertidos en sistemas marinos y de agua dulce según

---

<sup>1</sup> Maestría en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental, Universidad Distrital Francisco José de Caldas

acuerdos internacionales (Pabón et al., 2020).

La contaminación acuática por metales pesados derivada de actividades antrópicas puede ocurrir debido al vertido directo de aguas residuales, tanto de forma intencional como accidental, así como por la filtración de estas aguas al subsuelo (Aguilar et al. 2023). Estas fuentes de contaminación representan una preocupación importante, ya que pueden introducir cantidades significativas de metales pesados en los sistemas acuáticos, alterando su equilibrio ecológico (Arroyo, 2021).

En los sistemas de captación de aguas lluvias, la contaminación, generada por actividades humanas en la superficie de estas captaciones, se transporta a través del flujo de escorrentía, incluyendo la suspensión de sedimentos como metales pesados. Los estudios sobre la caracterización de la contaminación en la escorrentía urbana han aumentado significativamente en número en los últimos años (Anta et al., 2007). Para la ciudad de Bogotá estos sistemas de captación de aguas lluvias en su mayoría terminan en los cuerpos de agua como ríos y humedales (Secretaría

Distrital de planeación, 2020).

Es en ese sentido, surge la pregunta de investigación bajo la cual se desarrolla el trabajo de grado: ¿Qué variables debe considerar un modelo de evaluación integral de la contaminación por metales pesados en humedales, a partir de la escorrentía superficial generada por la ciudad de Bogotá D.C.? Para dar respuesta se planteó el siguiente objetivo principal: Desarrollar un modelo de evaluación de la contaminación por metales pesados descargada en el humedal de Capellanía (Bogotá, Colombia) producto de la escorrentía superficial.

La investigación se desarrolló en el humedal de Capellanía, el cual se ubica en la localidad de Fontibón (Bogotá D.C.). El Humedal Capellanía abarca una superficie total de 27 hectáreas (EAAB, 2008).

La primera fase de la investigación consistió en una revisión sistemática de literatura acerca de los contaminantes presentes en los sedimentos, variables que los afectan

metales pesados y modelos para evaluar el grado de contaminación por sedimentos viales asociados con el sistema hídrico urbano. La revisión se realizó durante el período comprendido entre los años 2012-2022 (Fuentes y López, 2020).

Esta revisión permitió determinar las principales variables agrupadas en las siguientes categorías: comportamiento de los sedimentos, hidrología del humedal y metales pesados en sedimentos. Dando paso a la siguiente fase, la cual consistió en el desarrollo del modelo de evaluación de contaminación por metales pesados en el humedal Capellanía, este se fundamentó en diversas etapas. Inicialmente, se recopiló información internacional procedente de dos estudios llevados a cabo en La Coruña, España, realizados por (Anta et al., 2007) y (Jiménez et al., 2022). A partir de estos estudios, se construyó una base de datos que incluye las concentraciones de sólidos totales y metales pesados en sedimentos viales.

Posteriormente, se empleó un análisis de

componentes principales para identificar variables clave en el comportamiento de los metales pesados (Rendón et al., 2016). A partir de estos resultados, se diseñaron regresiones lineales que modelaron la relación entre sólidos totales y metales pesados específicos. Este enfoque permitió establecer la conexión entre la presencia de sólidos en la escorrentía y la concentración de metales pesados, mejorando las estimaciones de contaminación estas regresiones presentaron valores de  $R^2$  significativos para cada metal: 0,63 para el cromo, 0,68 para el cobre, 0,76 para el níquel, 0,67 para el plomo y 0,87 para el zinc. Además, se consideraron datos climáticos y morfológicos del humedal para desarrollar un modelo dinámico que simula su comportamiento hidrológico y su interacción con los metales pesados.

Este estudio aseguró la confiabilidad del modelo mediante dos métodos de validación. En primer lugar, se realizó un análisis de sensibilidad utilizando Vensim® para

evaluar la respuesta del modelo ante cambios en sus parámetros clave, identificando las variables más influyentes (García et al., 2020). En segundo lugar, se llevó a cabo una comparación detallada entre los datos modelados y la información real de cuatro humedales en Bogotá (El Burro, Juan Amarillo, Torca Guaymaral y Capellanía), incluyendo la concentración de metales pesados y sólidos totales en la escorrentía superficial. Esta comparación validó la precisión del modelo y su capacidad para representar adecuadamente el comportamiento de los metales pesados en la cuenca del humedal Capellanía.

Durante el desarrollo de la investigación, se logró evaluar la contaminación por metales pesados en el Humedal de Capellanía, donde se obtuvo que la carga anual estimada de metales pesados que ingresan al humedal a través de los sedimentos en toneladas es de: 6,89 de zinc, 4,86 de plomo, 4,42 de níquel, 5,08 de cromo y 4,19 de cobre. La solidez de estos hallazgos se fundamenta en pruebas estadísticas rigurosas y validaciones

exhaustivas del modelo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, D. Díaz, A. Ortega, B. Lira, M. F. & López, M. (2023). Evaluación de la presencia de metales pesados en los sedimentos del río de Cata. *Verano de La Ciencia*. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4075>
- Anta, J. Peña, E. & Suárez, J. (2007). *Un proceso de selección de BMP basado en la granulometría de los sólidos de escorrentía en una cuenca urbana independiente*.
- Arroyo, C. (2021). *Revisión Sistemática: Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores del Estado Ecológico de los Cuerpos de Agua Lóticos, para Monitoreo no Tradicionales. 0–2*.
- EAAB. (2008). Plan de Manejo Ambiental Humedal Capellanía.

- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá*, 3(9), 1–521.
- Fuentes Nieto, C. & López Velandia, C. C. (2020). Análisis de las transformaciones en las coberturas del humedal urbano Tibanica, localidad de Bosa, Bogotá D. C. *Territorios*, 43, 1–24. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.7951>
  - García-León, G. Beltrán-Vargas, J. & Zafra-Mejía, C. (2020). Modelación dinámica del comportamiento hidrológico de un humedal urbano bajo condiciones del fenómeno ENSO. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1750>
  - Jiménez-Fernández, V. Suárez-López, J. & Zafra-Mejía, C. A. (2022). *Análisis de parámetros fisicoquímicos sustitutos para el estudio de la contaminación por metales pesados en la escorrentía viaria urbana.*
  - Pabón, S. Benítez, R. Sarria, R. & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-83672020000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
  - Rendón-Macías, M. Villasís-Keever, M. & Miranda-Novales, M. (2016). Estadística descriptiva. *In Rev Alerg Mex* 63(4). <https://revistaalergia.mx/ojs/index.php/ram/article/view/230>
  - Secretaría Distrital de planeación. (2020). *Documento de diagnóstico POT Bogotá D.C.*
  - Zafra, C. Rodríguez, L. & Torres, Y. (2013). Metales pesados asociados con las partículas atmosféricas y sedimentadas de superficies viales: Soacha (Colombia). *Revista Científica*,

1(17), 113. <https://doi.org/10.14483/23448350.4571>

- Zafra, C. Temprano, J. & Tejero, I. (2007). Contaminación por escorrentía superficial urbana: metales pesados acumulados sobre la superficie de una vía. *Ingeniería e Investigación*, 27(1), 4–10.