

## Técnicas sostenibles para el tratamiento de aguas

Contribuir a solucionar desafíos ambientales, formar profesionales capacitados e interactuar con la comunidad son los objetivos de los proyectos que viene desarrollando el Grupo Udecino de Investigación Ambiental (GUIA) del programa de Ingeniería Ambiental, seccional Girardot.

Por: John J. Sandoval \*; Dalia Xiomara Suarez Pulido; María Aldaya Rodríguez y Hernán Darío Fontecha Tarazona. Docentes Ocasionales Tiempo Completo. Ingeniería Ambiental. Universidad de Cundinamarca, Seccional Girardot.

Email\*: [jjairosandoval@ucundinamarca.edu.co](mailto:jjairosandoval@ucundinamarca.edu.co)

En la actualidad, Colombia es uno de los 17 países megadiversos, que albergan 70% de la biodiversidad mundial, en solo el 10% del territorio nacional, lo que representa una condición endémica y privilegiada para los amantes de la naturaleza.<sup>1,2</sup> Sin embargo, en los últimos años se ha observado un constante deterioro de la calidad de los recursos aire, suelo y agua, a pesar de las normativas ambientales (Anexo 1) establecidas a nivel nacional que velan por su preservación y correcto aprovechamiento.<sup>3</sup> Tan solo se puede exceptuar la reducción de la contaminación atmosférica por las restricciones de movilidad y productividad industrial, a causa de situación de pandemia (COVID-19).<sup>4,5</sup>

Al contrastar la legislación y las malas prácticas ambientales, se podría decir que es una situación contradictoria, y acontece quizás porque parte de la sociedad deja a un lado los valores éticos y satisface sus intereses personales sin pensar en las consecuencias.

Muchas comunidades colombianas (en zonas urbanas y rurales), en pleno siglo XXI, carecen de los mínimos servicios domiciliarios como el agua potable, la energía, sistemas de alcantarillado, acceso a las Tecnologías de Información y Comunicación (TICs), entre otros.<sup>6</sup>

- 
- 1) Rubiano Pinzón, G. A. (2018). Una revisión al turismo de observación de Vida Silvestre. Bogotá D.C.
  - 2) De Vega, J. J., Davey, R. P., Duitama, J., Escobar, D., Cristancho-Ardila, M. A., Etherington, G. J., Minotto, A., Arenas-Suárez, N. E., Pineda-Cárdenas, J. D., Correa-Álvarez, J., Camargo Rodríguez, A. V., Haerty, W., Mallarino-Robayo, J. P., Barreto-Hernández, E., Muñoz-Torres, M., Fernández-Fuentes, N., & Di Palma, F. (2020). Colombia's cyberinfrastructure for biodiversity: Building data infrastructure in emerging countries to foster socioeconomic growth. *Plants, People, Planet*, 2(3), 229–236. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10086>
  - 3) IDEAM. (2016). Informe de Estado del Ambiente y los Recursos Naturales. Bogotá D.C.
  - 4) Wang, Q., & Su, M. (2020). A preliminary assessment of the impact of COVID-19 on environment – A case study of China. *Science of the Total Environment*, 728, 138915. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138915>
  - 5) Semana Sostenible (2020, 15 de abril). Mejora la calidad del aire en Soacha y Mosquera y se levanta el estado de prevención. <https://sostenibilidad.semmana.com/medio-ambiente/articulo/mejora-la-calidad-del-aire-en-soacha-y-mosquera-y-se-levanta-el-estado-de-prevencion/49954>
  - 6) DNP. (2017). Estudio Sectorial de los servicios públicos. Bogotá D.C.

Todos estos son factores determinantes para garantizar la calidad de vida, la formación integral del individuo y la preservación del medio ambiente.

Desde un punto de vista más inocente, “inconscientemente” la sociedad contamina las fuentes hídricas con sustancias de uso común, como son: productos farmacéuticos (antibióticos y analgésicos), drogas ilegales, hormonas, antisépticos y productos de limpieza personal. También las moléculas que no son absorbidas por nuestro organismo se excretan y terminan en el sistema de alcantarillado. Los principios activos de estos productos son catalogados como contaminantes emergentes y, a pesar, de su baja concentración se ha empezado a demostrar que presentan efectos negativo para el medio ambiente y la salud de las personas.<sup>7,8,9,10</sup>

Por otro lado, de una manera más consiente, muchas industrias dedicadas a la extracción de petróleo y minerales, fabricación de papel, procesos de curtido de pieles, teñido de telas y superficies, y al uso de agroquímicos para garantizar la productividad en el campo, utilizan gran cantidad agua en sus procesos para generar sus bienes y servicios. Por lo tanto, la calidad de dicho recurso está sujeto a sufrir cambios biológicos y fisicoquímicos.

Es importante resaltar, que el gobierno nacional y las empresas privadas, han venido implementando conceptos (Anexo 2) como la economía circular, la simbiosis industrial, la química verde y las buenas prácticas agrícolas, los cuales están acorde con los objetivos de desarrollo sostenible.<sup>11</sup> Implementar estos criterios y garantizar la calidad del agua se convierten en un reto cuando los tratamientos convencionales no son capaces de eliminar o degradar contaminantes persistentes.<sup>12</sup>

En consecuencia, se puede presentar fenómenos de acumulación de sustancias químicas en los organismos vivos, así como la propagación de elementos tóxicos en los ecosistemas perturbando la cadena trófica, que daría lugar a malformaciones genéticas u otra

- 
- 7) Lofrano, G., Libralato, G., Meric, S., Vaiano, V., Sacco, O., Venditto, V., Guida, M., & Carotenuto, M. (2020). Occurrence and potential risks of emerging contaminants in water. In *Visible Light Active Structured Photocatalysts for the Removal of Emerging Contaminants*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818334-2.00001-8>
  - 8) Reinoso Carrasco, J. C., Serrano Delgado, C.Y. & Orellana Cobos, D.F. (2017). Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca*, 35(2), pp 55 - 59.
  - 9) Peña-Guzmán, C., Ulloa-Sánchez, S., Mora, K., Helena-Bustos, R., López-Barrera, E., Álvarez, J., & Rodríguez-Pinzón, M. (2019). Emerging pollutants in the urban water cycle in Latin America: A review of the current literature. *Journal of Environmental Management*, 237(December 2018), 408–423. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.100>
  - 10) Richardson, S. D., & Kimura, S. Y. (2016). Water Analysis: Emerging Contaminants and Current Issues. *Analytical Chemistry*, 88(1), 546–582. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b04493>
  - 11) Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
  - 12) Westerhoff, P., Yoon, Y., Snyder, S., Wert, E. (2005). Fate of Endocrine-Disruptor , Pharmaceutical , and Personal Care Product Chemicals during Simulated Drinking Water Treatment Processes. *Environ. Sci. Technol.* 39(17), 6649–6663. <https://doi.org/10.1021/es0484799>

alteración en los seres vivos, causas que dependen del agente xenobiótico, concentración y tiempo de exposición.<sup>13</sup> Es por esta razón, que continuamente se deben hacer análisis rigurosos de las fuentes hídricas y evaluar eficientes protocolos para la eliminación de contaminantes.

## Proyectos de la Universidad

La Universidad de Cundinamarca a través del Grupo Udecino de Investigación Ambiental (GUIA), del programa de Ingeniería Ambiental, Seccional Girardot, viene desarrollando proyectos que pretenden contribuir a la solución de los desafíos ambientales, la formación profesional y la interacción social de la región.

Uno de esos proyectos es el de “Validación de Técnicas Analíticas (Volumétricas, Electroodos Selectivos y de Espectroscopia Visible) para el Análisis de Aguas de la provincia del Alto Magdalena”, financiado con recursos de Balance - Estampilla (año 2019).

En él se estudian las principales fuentes hídricas del municipio de Girardot (ríos Bogotá y Magdalena) para comprender su comportamiento y buscar metodologías que permitan asegurar la calidad del agua con distintos fines, bien sea para consumo humano o usos agropecuarios.

Este proyecto se encuentra en una fase inicial y se centra en: i) Seguir las metodologías cualitativas y cuantitativas para el análisis de aguas y ii) el desarrollo de protocolos eficientes y económicos para la retención, eliminación y degradación de contaminantes orgánicos e inorgánicos en medio acuoso, ver Figura 1.

En el laboratorio de aguas de la seccional Girardot se seguirán las metodologías establecidas en el “Standard methods for the examination of water and wastewater”<sup>14</sup> para el análisis de diferentes parámetros de calidad agua, tales como: pH, conductividad eléctrica (CE), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sulfatos, cloruros, turbidez, dureza total, dureza cálcica, hierro total, fósforo, alcalinidad, oxígeno disuelto, coliformes totales, Escherichia Coli, grasas y aceites y color.

Estos parámetros serán validados por los investigadores del proyecto, el personal a cargo del laboratorio, por estudiantes con horas asignadas por Bienestar Universitario y jóvenes investigadores que realicen sus propuestas de opción de grado en la modalidad de investigación o pasantía.

---

13) Giannuzzi, L. (2018). Toxicología general y aplicada. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).

14) Baird, R. B. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. New York: American water works association.

Una vez establecidas las metodologías analíticas para caracterizar las muestras de agua, se estudiarán protocolos que han sido investigados a nivel mundial y que han contribuido a la remediación ambiental de fuentes hídricas, su aprovechamiento, reutilización y cumplimiento con los estándares de calidad en cuanto a los vertimientos generados en los procesos industriales.

Teniendo presente las actividades agrícolas, las problemáticas ambientales y el uso del recurso hídrico en Girardot (Cundinamarca) y alrededores<sup>15,16</sup> (Anexo 3), se han considerado las siguientes estrategias de investigación:

- ✓ Aprovechamiento de la biomasa para la obtención de materiales adsorbentes y coagulantes de bajo costo. i) Uso de la cascarilla de arroz para la retención de metales y aniones (fosfatos, nitrato, etc), estos últimos responsables de la eutrofización o contaminación del agua. ii) Modificación estructural de los polisacáridos (almidón de yuca o papa) mediante reacciones de oxidación y su efecto en la reducción de la turbidez en muestras de aguas. La búsqueda de coagulantes orgánicos es una alternativa para reducir los costos de operación y concentración de aluminio (Al) residual en el agua potable y en las aguas superficiales, puesto que dicho elemento podría estar asociado a enfermedades cerebrales en animales y en el ser humano, al mal de Alzheimer.<sup>17,18</sup>
  
- ✓ Uso de la fotocatalisis (homogénea y heterogénea) para la degradación de contaminantes persistentes, emergentes y plaguicidas de uso común en actividades agrícolas. El uso de catalizadores como el óxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) y sales de hierro, aceleran la mineralización de las sustancias orgánicas en medio acuoso hasta convertirlas en CO<sub>2</sub>, procesos de oxidación avanzada (POAs) que requieren menos tiempo respecto a los tratamientos biológicos de oxidación aeróbica o anaeróbica. El consumo energético para la generación de radiación ultravioleta, el costo de los catalizadores y el limitado volumen de agua contaminada a tratar, son unas de las desventajas que presenta esta tecnología. Sin embargo, la comunidad científica de la catálisis y de los nanomateriales han venido desarrollando estrategias que satisfacen

---

15) Oscar E., R. A., & Crispín A., C. Z. (2017). Accumulation of heavy metals by *Conyza bonariensis* (L.) Cronq in the upper basis of the river Bogotá. *Pharmacologyonline*, 1, 5–10.

16) Ortiz Romero, L. T., Delgado Tascón, J. G., Pardo Rodríguez, D. A., Murillo Perea, E., & Guio Duque, A. J. (2015). Determinación De Metales Pesados E Índices De Calidad En Aguas Y Sedimentos Del Río Magdalena – Tramo Tolima, Colombia. *Revista Tumbaga*, 2(10), 43–60.

17) Flaten, T. P. (2001). Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. *Brain Research Bulletin*, 55(2), 187–196. [https://doi.org/10.1016/S0361-9230\(01\)00459-2](https://doi.org/10.1016/S0361-9230(01)00459-2)

18) Tomljenovic, L. (2011). Aluminum and Alzheimer's disease: After a century of controversy, is there a plausible link? *Journal of Alzheimer's Disease*, 23(4), 567–598. <https://doi.org/10.3233/JAD-2010-101494>

dichas problemáticas, por ejemplo, la síntesis de catalizadores fotosensibles (se activan con la luz solar)<sup>19</sup>, la heterogenización y recuperación del catalizador y otros factores que tienden a garantizar la calidad del agua, sobre todo para la eliminación de sustancias orgánicas y microorganismos resistentes a los típicos tratamientos (coagulación-floculación, lagunas de oxidación y filtros de arena).

- ✓ Considerando que uno de los ecosistemas más amenazados en el mundo es el Bosque Seco Tropical, el uso de plantas [p.ej. las especies *Pistia stratiotes* (lechuga de agua), *Eichornia crassipes* (Buchón de agua) y la *Chrysopogon zizanioides* (pasto Vetiver)] o la fitorremediación es una alternativa para mejorar las características de los recursos agua y suelo. No obstante, el estudio de los fenómenos de acumulación de contaminantes o nutrientes en la flora pueden definir el verdadero impacto ambiental y la disponibilidad del material vegetal.

Todos los métodos mencionados se pueden combinar y hacer del proceso un tratamiento eficiente. Sin embargo, su elección depende de la rigurosa caracterización de los parámetros biológicos y fisicoquímicos del agua; teniendo presente, que la normativa Colombiana en términos de vertimientos a cuerpos de agua no es muy rigurosa con respecto a la legislación Europea y Estadounidense como referentes. Además, son pocas las investigaciones que hay en Cundinamarca y en Colombia sobre el efecto de los contaminantes de uso común a corto, mediano y largo plazo en el ambiente y en la salud de las personas. Es por ello que las entidades públicas y privadas deben promover, de manera exponencial, los procesos de formación posgradual, la transferencia de conocimiento, la obtención de infraestructura y tecnología de calidad que nos permita estar a la vanguardia y realmente construir las ciudades sostenibles que tanto deseamos.

---

19) Murcia, J. J. (2020). Visible active noble metals–structured photocatalysts for the removal of emerging contaminants. In Visible Light Active Structured Photocatalysts for the Removal of Emerging Contaminants. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818334-2.00002-x>

**Ley de conservación de la materia.  $Entrada = Salida + Acumulación$ ;  $Agua\ contaminada = Agua\ tratada + subproductos$**

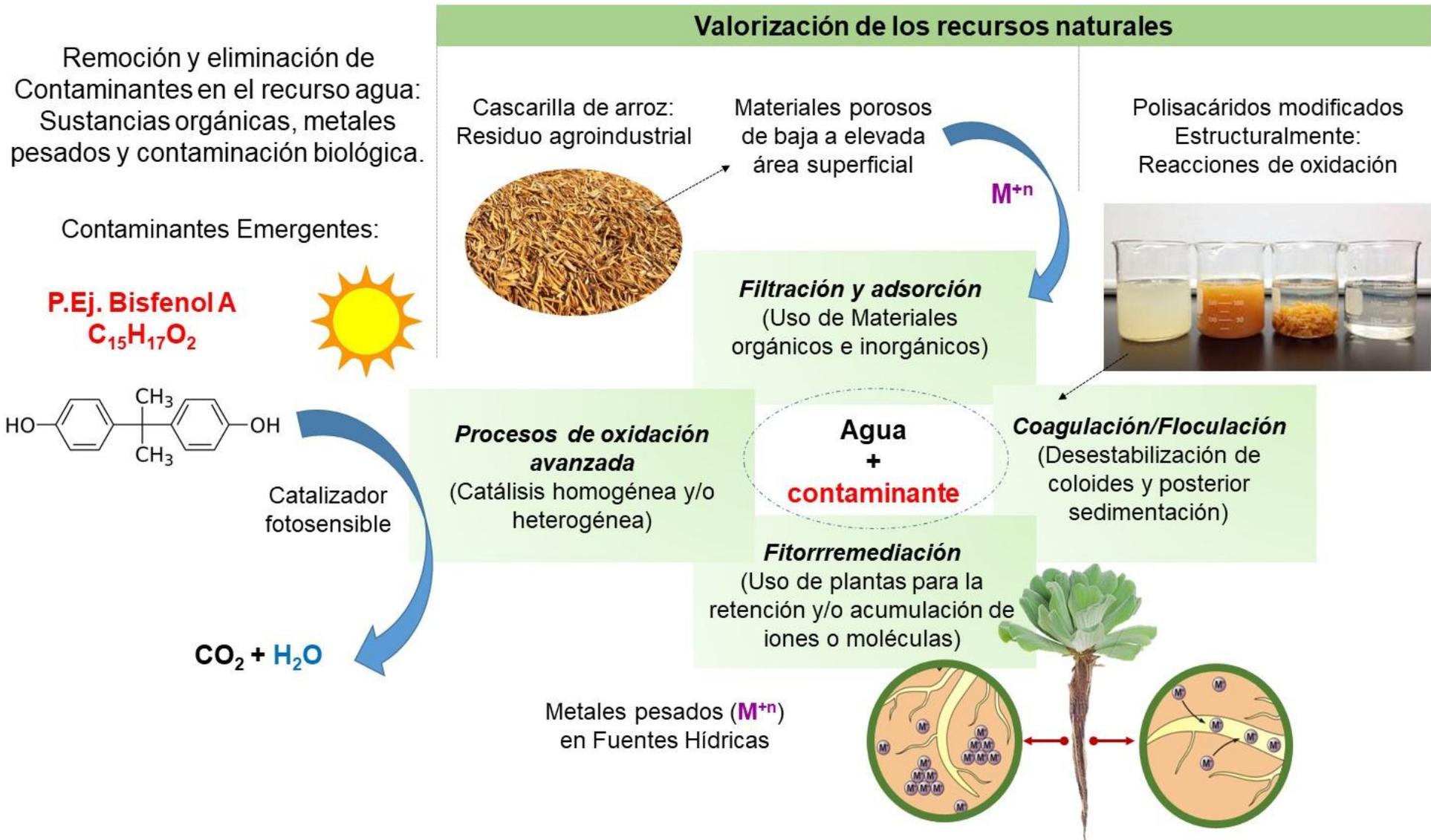


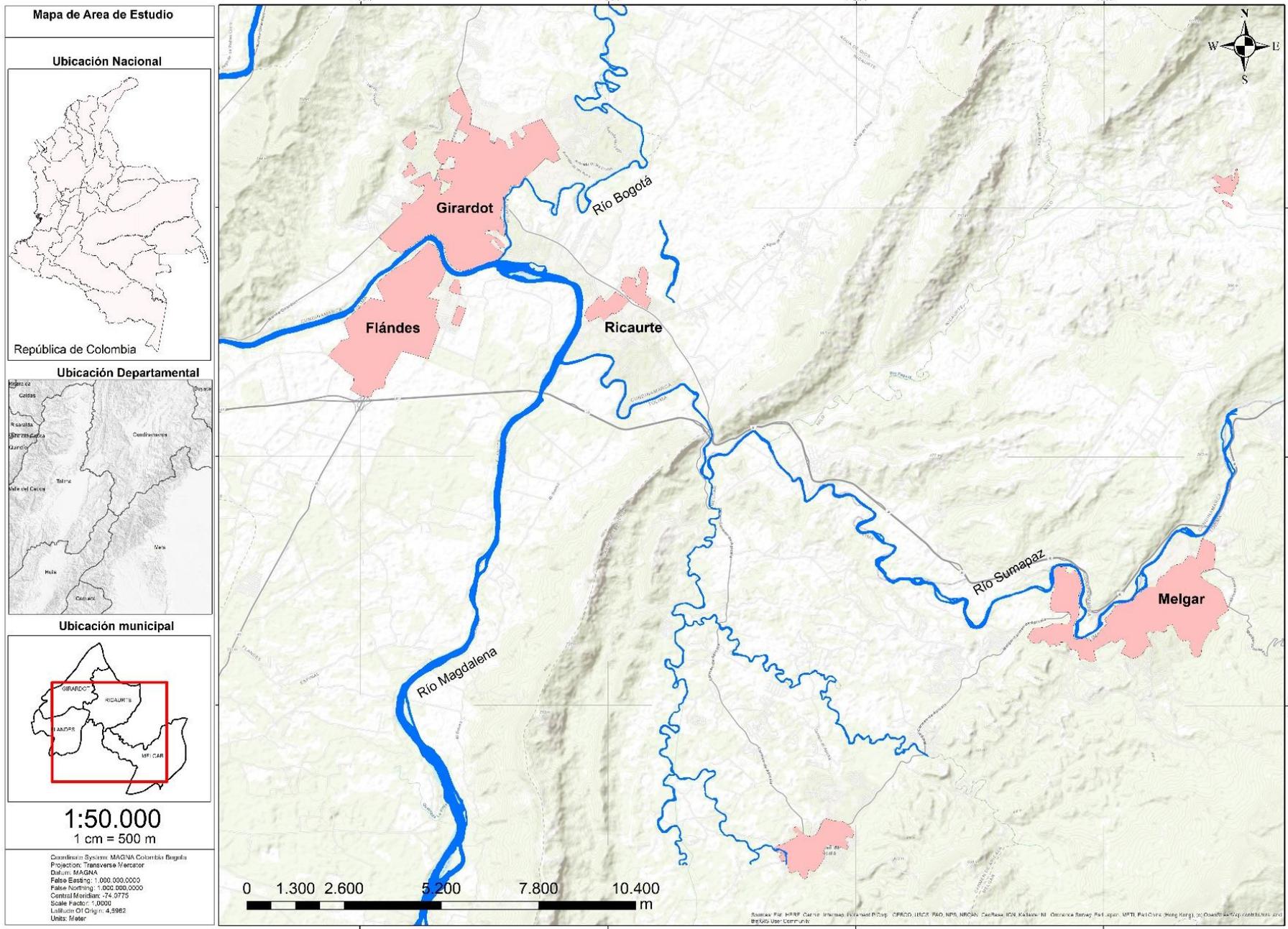
Figura 1. Proyecto en ejecución (Estampilla), Ingeniería Ambiental, Seccional Girardot.



Anexo 1. Normativas ambientales - Recurso hídrico en Colombia.

Título	Descripción
<a href="#">ODS en Colombia: Los retos para 2030.</a>	<p>Desarrolla (1) diagnóstico general sobre los recientes avances hacia el cumplimiento; (2) principales metas trazadoras y los resultados o carencias para su logro; y (3) retos, necesidades y recomendaciones para su cumplimiento, por cada uno de los ODS en el contexto colombiano.</p> <p>Objetivo 6 Agua limpia y saneamiento. El cual busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.</p> <p>Objetivo 12 Producción y consumo responsable. El cual busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.</p>
<a href="#">Estrategia Nacional De Economía Circular –ENEC 2019</a>	<p>Propone un nuevo modelo de desarrollo económico que incluye la valorización continua de los recursos, el cierre de ciclos de materiales, agua y energía, la creación de nuevos modelos de negocio, la promoción de la simbiosis industrial y la consolidación de ciudades sostenibles.</p>
<a href="#">Resolución ICA 30021 de abril de 2017</a>	<p>Establece los requisitos para la certificación en Buenas Prácticas Agrícolas, BPA.</p>
<a href="#">CONPES 3915</a>	<p>Establece las estrategias para el desarrollo regional sostenible del Macizo Colombiano, entre las cuales se encuentra la consolidación de sistemas productivos sostenibles a partir de la diversificación de los sectores y las actividades productivas.</p> <p>Nota: Cada sector cuenta con directrices propias para la sostenibilidad.</p>
<a href="#">Plan de Acción Cuatrienal PAC 2020-2023 CAR</a>	<p>La CAR contempla dar continuidad a la implementación del Plan Regional de Negocios Verdes, así como el fomento de la ecocultura para la producción y consumo responsable en el territorio CAR.</p>
<a href="#">CUNDINAMARCA +VERDE</a>	<p>Estrategia de la Gobernación de Cundinamarca para la sostenibilidad, contempla acciones para la medición de huella de carbono y la gestión integral de residuos entre otras.</p>
<a href="#">Política Nacional de Producción más Limpia 1997</a>	<p>Política formulada como respuesta a la solución de las problemáticas ambientales de los sectores productivos, que busca la prevención de la contaminación en su origen, para la generación de posibilidades de sostenibilidad y competitividad sectorial.</p>
<a href="#">Marco legal vigente políticas generales de P.M.L y GIRESPÉL</a>	<p>Resume la normatividad vigente aplicable al sector salud, diferenciando aspectos ambientales que dan cumplimiento a los permisos, autorizaciones, planes y licencias ambientales otorgados por entidades del Estado.</p>

Anexo 2. Políticas de Desarrollo Sostenible en Colombia.



Anexo 3. Mapa del recurso hídrico de la zona. Fuente: Héctor Fabio Cruz Cuellar.