

**PROPUESTA DE APLICACIÓN
DE LA ECONOMÍA CIRCULAR
PARA LA SÍNTESIS DE
NANODESINFECTANTES DEL
AGUA RESIDUAL**

Facultad de Ingenierías

**Cristian Olmos Vargas
Olga Lucía Borda Prada
Ariel Fabricio Guerrero Rodríguez**

N.º ININ3/2025



**UNIVERSIDAD
La Gran Colombia**



Resumen

Los lodos residuales se producen como un subproducto en el proceso de tratamiento de aguas residuales. A lo largo de las distintas etapas de una planta de tratamiento, se van separando del agua los sólidos y la materia orgánica, que se concentran para formar el lodo. Así, inicialmente, en el tratamiento primario el agua residual, que contiene grandes cantidades de sólidos en suspensión y materia orgánica, entra en tanques de sedimentación. Aquí, la velocidad del flujo se reduce considerablemente, permitiendo que las partículas más pesadas se asienten por gravedad en el fondo del tanque. Estos sólidos decantados, que pueden incluir partículas de arena, grasas, aceites y materia orgánica gruesa, se acumulan y se recogen para formar el lodo primario y biomasa microbiana. La gestión de estos residuales presenta varios desafíos:

- Riesgos para la salud y el medio ambiente: Contienen agentes patógenos y contaminantes persistentes que pueden contaminar suelos y fuentes de agua, afectando la vida silvestre y la agricultura.
- Altos costos: Su tratamiento y eliminación requieren tecnologías costosas, como procesos de estabilización y deshidratación para reducir su toxicidad y volumen.
- Crecimiento constante: El aumento de la población y la industrialización genera un volumen cada vez mayor de lodos, lo que complica su almacenamiento y gestión, especialmente en áreas densamente pobladas.

Debido a estos desafíos, es crucial que la ingeniería se centre en un enfoque de economía circular, transformando los lodos de un residuo problemático a un recurso valioso. En este contexto, se ha propuesto una metodología para la síntesis de nanodescontaminantes (nanocarbons). Estos materiales, obtenidos mediante procesos termoquímicos, son capaces de eliminar una amplia gama de contaminantes del agua residual, incluyendo: metales pesados (plomo, mercurio, arsénico); compuestos orgánicos persistentes: (pesticidas, fármacos, disruptores endocrinos) y colorantes y microplásticos.

Palabras clave

agua residual, lodo residual, nanocarbons, nanodescontaminante.

Abstract

Sewage sludge is produced as a by-product of the wastewater treatment process. Throughout the various stages of a treatment plant, solids and organic matter are separated from the water and concentrated to form sludge. Initially, in primary treatment, wastewater containing large amounts of suspended solids and organic matter enters sedimentation tanks. Here, the flow velocity is significantly reduced, allowing heavier particles to settle by gravity to the bottom of the tank. These settled solids, which may include sand particles, fats, oils, and coarse organic matter, accumulate and are collected to form primary sludge and microbial biomass. The management of these residues presents several challenges:

- Health and environmental risks: They contain pathogens and persistent pollutants that can contaminate soil and water sources, affecting wildlife and agriculture.
- High costs: Its treatment and disposal require expensive technologies, such as stabilization and dewatering processes to reduce its toxicity and volume.
- Constant growth: Population growth and industrialization generate an increasing volume of sludge, complicating its storage and management, especially in densely populated areas.

Due to these challenges, it is crucial that engineering focuses on a circular economy approach, transforming sludge from a problematic waste product into a valuable resource. In this context, a methodology for the synthesis of nanodecontaminants (nanocarbons) has been proposed. These materials, obtained through thermochemical processes, are capable of removing a wide range of contaminants from wastewater, including: heavy metals (lead, mercury, arsenic); persistent organic compounds (pesticides, pharmaceuticals, endocrine disruptors); and dyes and microplastics.

Keywords

nanocarbons, nanodecontaminant, sewage sludge, wastewater.

Cómo citar / How to cite?:

Olmos Vargas, C., Borda Prada, O. L. y Guerrero Rodríguez, A. F. (2025). Propuesta de aplicación de la economía circular para la síntesis de nanodesinfectantes del agua residual [documento de trabajo n.º ININ3]. Universidad La Gran Colombia. <https://hdl.handle.net/11396/8941>

1. Introducción

La gestión de lodos residuales (biosólidos) generados en plantas de tratamiento de agua es un desafío ambiental y económico significativo a nivel global, debido a su gran volumen de producción, alto contenido de humedad y presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Wang *et al.*, 2017). Tradicionalmente, estos lodos se gestionan mediante incineración, vertido o uso agrícola, métodos que a menudo implican costos elevados y preocupaciones ambientales asociadas a la emisión de gases o la dispersión de contaminantes (Lu *et al.*, 2020).

En respuesta a la necesidad de estrategias de valorización sostenibles, ha surgido la investigación en la conversión de lodos residuales en materiales de alto valor añadido. Una de las rutas más prometedoras es la pirólisis o la carbonización hidrotérmica, procesos que transforman la materia orgánica rica en carbono de los lodos en diversos tipos de nanomateriales de carbono –nanocarbons– (Tang *et al.*, 2021).

Estos nanocarbons, que incluyen puntos cuánticos de carbono (CQDs), nanotubos de carbono (CNTs) o biocarbón/carbón activado de alto rendimiento, poseen propiedades únicas como alta área superficial, porosidad controlable y funcionalidad superficial. Estas características los hacen ideales para aplicaciones avanzadas en almacenamiento de energía (supercondensadores y baterías), catálisis y, especialmente, en el tratamiento de aguas como adsorbentes eficientes para la eliminación de contaminantes emergentes (Chen *et al.*, 2022). Este enfoque no solo resuelve un problema de residuos, sino que también contribuye a la economía circular al reintroducir el carbono contenido en los lodos en cadenas de valor tecnológico.

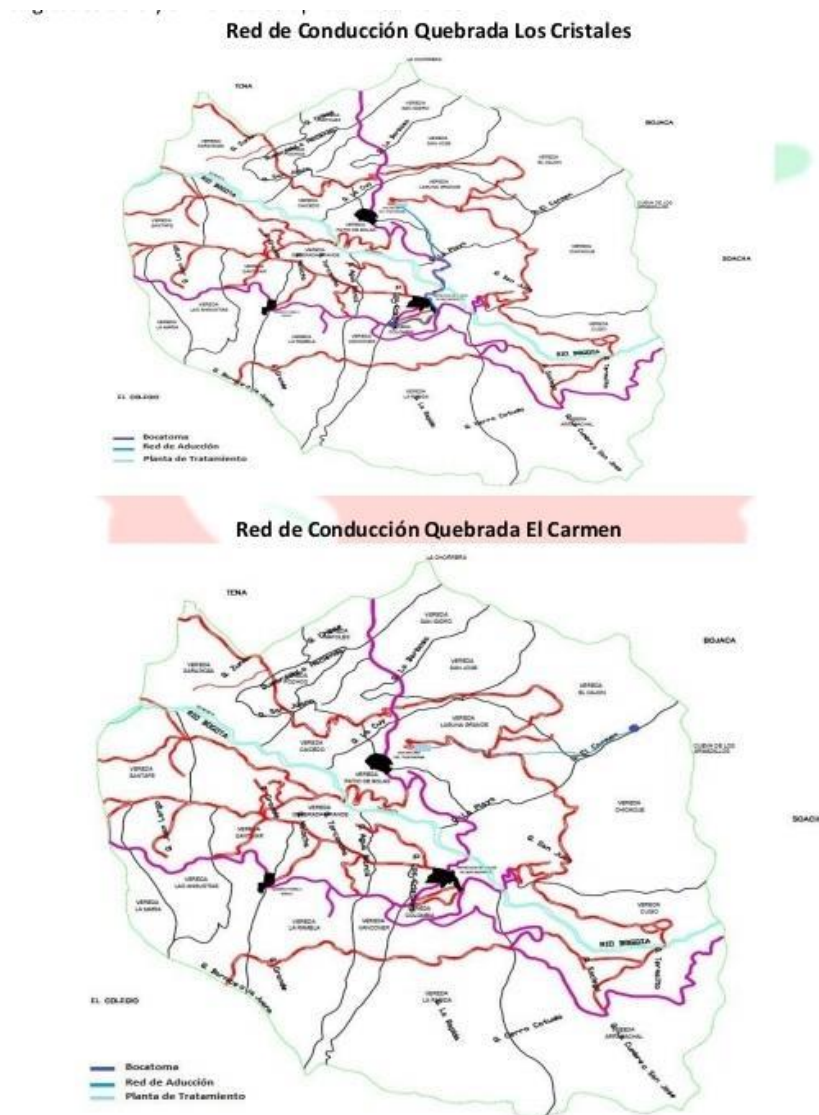
Así, se propone implementar la obtención de estos contaminantes a partir de los lodos provenientes del municipio de San Antonio de Tequendama, teniendo en cuenta la creciente producción de sólidos de esta zona.

Dicha red sigue el esquema tradicional de un acueducto: captación, tratamiento, conducción, almacenamiento y distribución. A continuación, se describe su estructura (figura 1).

Fuente de captación (agua cruda)

El sistema de captación para el tratamiento del recurso hídrico del municipio inicia en las quebradas “los cristales” y “el carmen”, donde el recurso se obtiene de las partes más altas de estas fuentes hídricas, ubicadas en las veredas “Caidedo” y “el Arracachal”. Y mediante un sistema de tuberías es transportada a la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Ubicada sobre la cabecera del casco urbano del municipio.

Figura 1. Redes de abastecimiento.



Fuente: tomado de Progresar S.A. E.S.P. (2024, p. 1).

Tratamiento (PTAP)

La infraestructura incluye una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) para la cabecera municipal y los diferentes acueductos veredales asociados (figura 2).

- Optimización: Se ha reportado inversión y ejecución de proyectos para la optimización del sistema de acueducto y la fase dos de la PTAP, buscando mejorar la calidad del agua y la capacidad de tratamiento del lodo generado, beneficiando.

Figura 2. PTAP San Antonio del Tequendama.



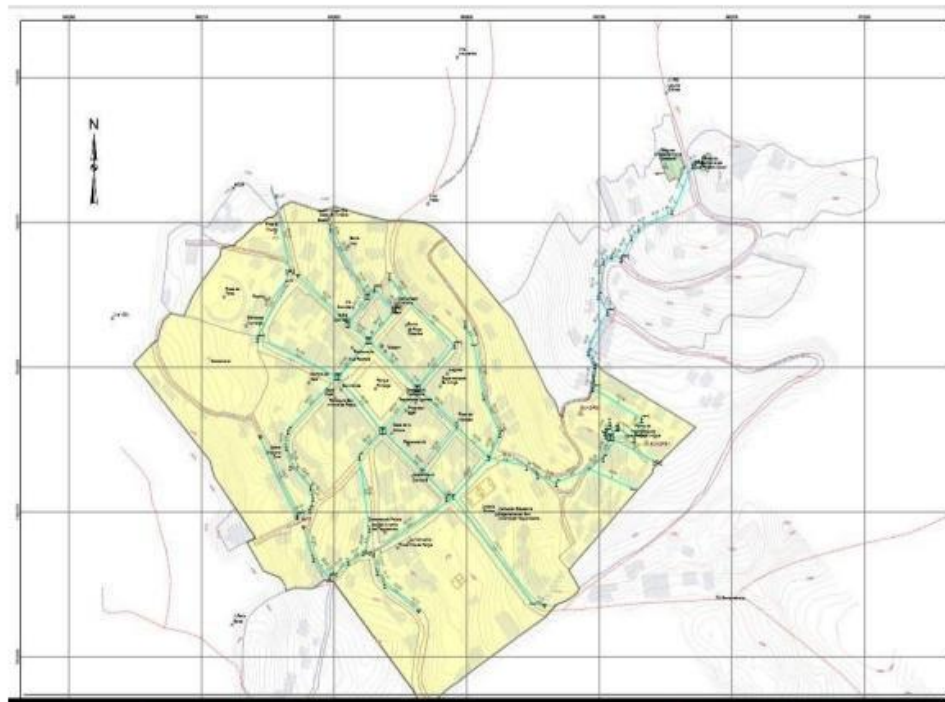
Fuente: tomado de Progresar S.A. E.S.P. (2024, p. 1).

Distribución y cobertura

La red de distribución conecta la PTAP con el perímetro urbano.

- Zona Urbana: cuenta con la red principal operada por la Empresa de Servicios Públicos Progresar S. A. E.S.P.
- Zona Rural: la cobertura se complementa con múltiples acueductos veredales que operan de forma autónoma, a menudo con tecnologías más sencillas y que requieren apoyo constante para garantizar potabilidad y continuidad del suministro a las comunidades dispersas, algunos de estos en sociedad con La Empresa de Servicios Públicos Progresar S.A. E.S.P. (figuras 3 y 4).

Figura 3. Red de conducción zona urbana.



Fuente: tomado de Progresar S.A. E.S.P. (2024, p. 1).

Figura 4. Red de conducción zona rural.



Fuente: tomado de Progresar S.A. E.S.P. (2024, p. 1).

Tratamiento de aguas residuales

Seguido del proceso de distribución del agua potable apta para el consumo humano, el siguiente paso es el manejo de las aguas que contienen residuos provenientes de factores bióticos y humanos, este proceso se lleva a cabo con la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

Captación y distribución

El primer paso es el proceso de captación de estas aguas, donde por medio de alcantarillas se recolecta el agua proveniente de factores bióticos, y por medio de tuberías se recoge el agua proveniente de los residuos humanos.

Tratamiento

El tratamiento de esta agua requiere un manejo riguroso, y por ello el municipio cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR. La cual es operada por la Empresa de Servicios Públicos Progresar S.A. E.S.P., donde el producto final es una agua tratada, limpia, cumpliendo así requerimientos por parte de la normativa y entes de control (figura 5).

Figura 5. PTAR San Antonio del Tequendama.



Fuente: tomado de Progresar S.A. E.S.P. (2019, p. 1).

Así, la red de San Antonio del Tequendama es un sistema mixto, con una gestión centralizada en la cabecera a cargo de la Empresa de Servicios Públicos Progresar S.A. E.S.P. y una gestión comunitaria dispersa en el área rural. La sostenibilidad del servicio depende de la operación eficiente de la PTAP municipal y del fortalecimiento de los acueductos comunitarios.

2. Metodología

Se adecuará una técnica para la obtención de nanocarbonos, a partir de los lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de agua residual de la zona, la técnica consiste en tres fases:

Fase 1. Pretratamiento del lodo

Antes de la conversión, el lodo residual debe ser preparado para optimizar el rendimiento y la calidad del producto final:

1. **Deshidratación:** se reduce el alto contenido de humedad del lodo (que puede superar el 80 %) mediante filtrado, centrifugación o secado térmico, hasta alcanzar un contenido de humedad ideal para el proceso seleccionado.
2. **Pretratamiento:** puede incluir trituración o molienda para reducir el tamaño de partícula y aumentar la superficie de contacto. La extracción de metales pesados o la eliminación de cenizas a través de lavados ácidos o básicos puede ser necesaria para mejorar la pureza y las propiedades electroquímicas de los nanocarbonos.

Fase 2. Carbonización

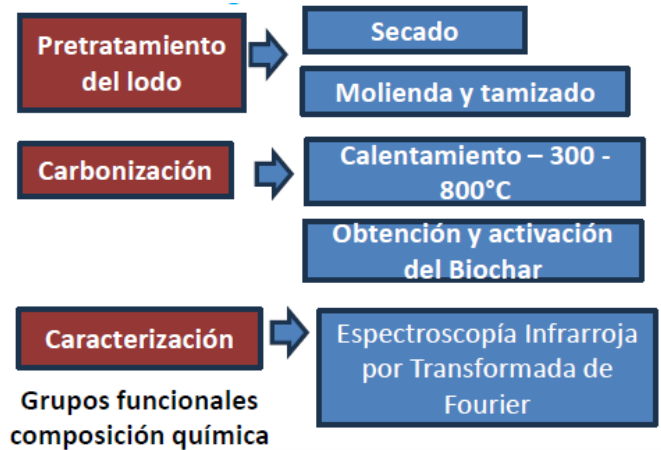
Este se llevará a cabo, mediante un proceso de pirólisis descrito a continuación:

- El lodo seco se calienta en un ambiente inerte (sin oxígeno, utilizando gases como nitrógeno o argón) a altas temperaturas, generalmente entre 300 y 900 °C.
- Descomposición de la materia orgánica: Bio-oil: Una fracción líquida, Gases no condensables como el metano, el hidrógeno, el dióxido de carbono y el monóxido de carbono, y el sólido (Biocarbón/Nanocarbón): El residuo carbonizado de alta superficie que se utiliza como precursor de nanocarbonos.

Fase 3. Caracterización de los lodos obtenidos

Para la operativización de esta fase se aplicará la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, la cual funciona midiendo la absorción de luz infrarroja por una muestra. Cuando la luz infrarroja pasa a través del nano carbono, las uniones covalentes dentro de los grupos funcionales vibran o se flexionan a frecuencias características. El espectro resultante es una gráfica de la intensidad de absorción frente al número de onda, que actúa como una "huella dactilar" molecular, así puede confirmarse la presencia de grupos oxigenados necesarios para la identificación de estos nanocarbonos. En la figura 6, muestran dichas fases.

Figura 6. Fases para la obtención de nanocarbons a partir de lodos residuales.



Fuente: elaboración propia.

3. Resultados esperados

- Adecuación de una técnica de obtención y caracterización de lodos residuales.
- Aplicación de los nanocarbons obtenidos para tratar la contaminación de metales pesados en muestras de agua residual.
- Aportar a la economía circular y mitigación de los impactos mencionados en este documento.

4. Conclusiones

La obtención de nanocarbons transforma un residuo voluminoso y contaminante (lodo residual) en un material valioso, mitigando los problemas de disposición final (vertedero o incineración) y sus costos asociados. Este proceso reduce la huella ambiental de las plantas de tratamiento de agua.

Los nanocarbons derivados de lodos poseen una estructura porosa, alta área superficial y dopaje intrínseco (principalmente por nitrógeno y oxígeno).

Estas propiedades los hacen excepcionalmente efectivos para aplicaciones avanzadas, especialmente como adsorbentes eficientes en la eliminación de contaminantes emergentes del agua y como materiales anódicos para el almacenamiento de energía.

Al aprovechar el alto contenido de carbono de los lodos, esta metodología permite la recuperación de recursos que de otro modo se perderían. Esto contribuye directamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables), al fomentar la gestión sostenible de los residuos y la innovación en el tratamiento del agua.

4. Referencias

- Hen, W., Li, H., Zhai, X., & Peng, Z. (2022). Transformation of sludge to carbon materials and its application in energy storage and environmental protection. *Chemical Engineering Journal*, 427, 131977.
- Lu, Y., Wang, Z., Zhang, Z., Liu, S., & Li, C. (2020). A review of resource utilization of sewage sludge: Focusing on energy recovery and nutrient recycling. *Waste Management*, 108, 203–220.
- Progresar S.A. E.S.P. (2019). *Manual de operación y mantenimiento planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio del Tequendama*.
- Progresar S.A. E.S.P. (2024). *Informe ejecutivo del estado actual del servicio público de acueducto*.
- Tang, B., Guo, H., Shi, X., Hu, Z., & Chen, J. (2021). From waste sludge to valuable carbon materials: A review of preparation and application. *Journal of Hazardous Materials*, 408, 124888.
- Wang, G., Zhang, S., Liu, C., & Zhang, W. (2017). A comprehensive review on the treatment and resource recovery of sewage sludge: Current status and future trends. *Science of The Total Environment*, 605–606, 1–17.



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia