

MONITOREO CUENCA RIO CHICAMOCHA ÁREA DE INFLUENCIA EN SOGAMOSO

MONITORING OF THE CHICAMOCHA RIVER BASIN AREA OF INFLUENCE IN SOGAMOSO

CASTRO G, Cristian

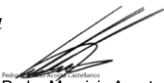
Universidad Santo Tomas Seccional Tunja

cristian.castro@usantoto.edu.co

MOTTA M. Juan

Universidad Santo Tomas Seccional Tunja

juan.motta@usantoto.edu.co



Pedro Mauricio Acosta
Profesor Titular

Facultad de ingeniería Civil

Resumen

El presente artículo de investigación tiene como objetivo principal la recopilación de información sobre aspectos de vital importancia, como lo son las características del agua, su calidad, cantidad y tipo de contaminantes; además, de las actividades presentes en la zona de influencia. Para esto, se utilizaron diversas herramientas digitales como Google Académico, revistas de investigación de distintas universidades (incluidas las de la USTA), Corpoboyacá y la página de la Gobernación del departamento de Boyacá, entre otras fuentes de información.

Posteriormente, se filtró la información consultada, logrando exponer en este documento únicamente datos relevantes; para ello, se elaboran tablas de datos y diversos mapas utilizando la aplicación ArcGIS, los cuales representan los municipios del departamento de Boyacá por donde fluye el río Chicamocha. Esto facilita la identificación de los sitios en los cuales se podría implementar una Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), lo que permite evidenciar las áreas que presentan mayor contaminación y de esta forma, establecer medidas necesarias para disminuir la carga contaminante presente.

Por otro lado, se realiza un mapa de los municipios que tienen como fuente de abastecimiento de agua potable, ya

sea principal o secundaria, el río Chicamocha; hecho de gran importancia que permite comprender el impacto que generan las actividades realizadas por el ser humano en relación con el recurso hídrico; garantizando la calidad del agua y su adecuado uso; todo lo mencionado anteriormente busca responder a la necesidad de generar conciencia acerca de las afectaciones que genera el inadecuado manejo de las aguas residuales y sus repercusiones en el medio.

Palabras clave: Boyacá, Río Chicamocha, Monitoreo de cuenca, Agua potable, Carga contaminante, Mapas de información.

Abstract

The main objective of this research article is to gather information on vitally important aspects, such as the characteristics of water, its quality, quantity and type of pollutants; in addition, the activities present in the area of influence. To do this, various digital tools were used such as Google Scholar, research journals from different universities (including those of the USTA), Corpoboyacá and the website of the Government of the Department of Boyacá, among other sources of information.

The information consulted was subsequently filtered, resulting in only the relevant data being presented in this document. To do this, data tables and various maps were created using the ArcGIS application, which represent the municipalities of the Boyacá department through which the Chicamocha River flows. This facilitates the identification of the sites where a Wastewater Treatment Plant (WWTP) could be implemented, which makes it possible to identify the areas with the greatest contamination and thus establish the necessary measures to reduce the present contaminant load.

On the other hand, a map is made of the municipalities that have the Chicamocha River as a source of drinking water supply, whether primary or secondary; a fact of great importance that allows us to understand the impact

generated by the activities carried out by human beings in relation to the water resource; guaranteeing the quality of the water and its adequate use; everything mentioned above seeks to respond to the need to generate awareness about the effects generated by the inadequate management of wastewater and its repercussions on the environment.

Keywords: Boyacá, Chicamocha River, Basin monitoring, Drinking water, Contaminant load, Information maps.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se han presentado diversas crisis ambientales relacionadas con la deforestación, el calentamiento global, la pérdida de biodiversidad, la escasez del recurso hídrico y la contaminación de fuentes hídricas debido a los vertimientos de aguas residuales. Este último, ha tenido un fuerte impacto no solo en Colombia, sino también a nivel mundial, debido a las grandes cantidades de aguas residuales que son producidas y que tienen graves consecuencias en el medio ambiente y en la salud pública. Así como se menciona en el artículo de investigación titulado “Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse”, el cual dice que “a nivel mundial, cada año se producen alrededor de $359.4 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$ de aguas residuales” (Jones y otros, 2021), y que a su vez “el 48% de la producción mundial de aguas residuales se libera al medio ambiente sin tratar” (Jones y otros, 2021), un valor notablemente alto.

Por un lado, existen diversos países que descargan sus aguas residuales como es el caso de Japón, el cual busca la implementación de medidas de compensación frente a los daños ocasionados debido a su contaminación inducida por el vertimiento de aguas residuales radioactivas, así como se menciona en un artículo encontrado en la base de datos ScienceDirect, en el cual los japoneses anunciaron la decisión de verter sus aguas residuales contaminadas al océano después de casi 10 años de un desastre ocasionado en una central nuclear llamada Fukushima Daiichi (Wang y otros, 2022). Para el caso de Colombia, también se han implementado diversas normativas para regular los vertimientos de las aguas residuales, como lo son: los Decretos 1594 de 1984, 3930 de 2010 y la Resolución 0631 de 2015 (Ministerio de Ambiente, 2014), los cuales contribuyen con el proceso de control de la carga contaminante descargada a los diferentes cuerpos hídricos; dentro de los departamentos en los cuales esta

afectación se ha hecho evidente a lo largo de los años, se encuentra Boyacá, en donde fluye el río Chicamocha, uno de los más importantes del centro oriente colombiano.

Por esta razón, el presente artículo de investigación está centrado únicamente en el territorio Boyacense, ubicado en el centro oriente colombiano; a su vez, colinda con los departamentos de Santander y Norte de Santander (al norte), Cundinamarca y una pequeña porción del Meta (al sur), Arauca y Casanare (al oriente), y Antioquia y Caldas (al occidente) (Gobernación de Boyacá, 2012). Este territorio, junto a su gran diversidad, presenta una topografía cambiante y una red hidrográfica que a su paso da vida a una geografía compleja y fascinante, con ríos emblemáticos como el Magdalena, Arauca, Suarez, Meta y Chicamocha (Gobernación de Boyacá, 2012).

Dentro de esta riqueza hidrográfica, el río Chicamocha sobresale como un protagonista vital en la historia geográfica del departamento, ya que es conocido como uno de los cuerpos de agua más importantes de Boyacá (Guerrero Cadavid & Acevedo Pinto, 2021), teniendo como caudal promedio valores entre $117 \text{ m}^3/\text{s}$ y $167 \text{ m}^3/\text{s}$, que varían según la alimentación pluvial que se tenga (Cajal, 2021). Naciendo en las tierras del sur de Tunja, este curso fluvial teje su camino a través del altiplano, pasando por municipios como Tunja, Tuta, Paipa, Duitama y Sogamoso; sin embargo, dicha cuenca enfrenta desafíos cruciales derivados de las aguas residuales domésticas y la contaminación industrial, una realidad que compromete su integridad y la salud ambiental de la región. Las empresas notables como Acerías Paz del Río y Termopaipa, junto con otras áreas de producción industrial, contribuyen a la degradación de las aguas del Chicamocha (Gobernación de Boyacá, 2012).

Antes de abordar la problemática a tratar en el presente trabajo, es necesario conocer un poco acerca de ciertos términos que explican o definen algunos de los diversos contaminantes presentes en las fuentes hídricas, como lo son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), el cual hace referencia a la cantidad de O_2 que se necesita para descomponer la materia orgánica presente en el agua (DANE, DANE, 2011) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST), los cuales se pueden definir como el material particulado que se encuentra en suspensión en las corrientes de agua (DANE, DANE, 2007). El estudio de dichos parámetros es de gran importancia, ya que permiten determinar y evaluar la eficiencia de remoción de los contaminantes presentes en la fuente de agua (Vargas y

otros, 2019). Para ello, se pretende efectuar un análisis parcial de carácter estadístico descriptivo que permita generar modelos gráficos los cuales faciliten la comprensión de datos (Velandia Trejos, 2023).

En este contexto, se vuelve esencial abordar con mayor profundidad las implicaciones de la contaminación industrial en el río Chicamocha; como es el caso de Acerías Paz del Río, una de las empresas más prominentes de la región, la cual ha sido una fuente significativa de contaminación hídrica. Esta liberación de efluentes industriales y desechos tóxicos ha dejado una marca muy fuerte en las aguas del Chicamocha, afectando no solo la calidad del agua, sino también la biodiversidad del ecosistema acuático circundante. Este fenómeno plantea preguntas críticas sobre la responsabilidad ambiental de las industrias en la región y la urgencia en el planteamiento de medidas más rigurosas para mitigar su impacto.

Por otra parte, se ha identificado la necesidad de mejorar y expandir las infraestructuras de tratamiento de aguas residuales en los municipios que bordean el Chicamocha. La falta de un enfoque integral para la gestión de estas aguas (ARD) simboliza un desafío en la búsqueda de garantizar un estado óptimo del río, y la ausencia e insuficiencia de las PTARs, como lo menciona Caracol Radio en un artículo acerca de la insuficiencia en el funcionamiento de la PTAR ubicada en la ciudad de Tunja (Velandia Trejos, 2023).

Este artículo investigativo sobre el río Chicamocha en Boyacá aborda no solo la problemática específica de la contaminación del agua, sino también una serie de desafíos interrelacionados que impactan la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida de la población local. Desde la contaminación industrial hasta la falta de infraestructuras adecuadas, cada aspecto requiere un enfoque integral y colaborativo para encontrar soluciones duraderas. La investigación, basada en el compendio de datos de diversas fuentes, destaca la necesidad de una gestión ambiental proactiva, la aplicación efectiva de regulaciones y la participación activa de las comunidades en el cuidado y la preservación de los recursos hídricos en Boyacá. La historia del río Chicamocha, marcada por desafíos, también ofrece la oportunidad de escribir un nuevo capítulo, donde la protección y conservación del medio ambiente y el desarrollo sostenible se convierten en objetivos compartidos para toda la humanidad.

El propósito fundamental de este artículo de investigación es llevar a cabo un análisis del uso y manejo de las aguas del río Chicamocha; recopilando

y analizando datos sobre la calidad del agua, la identificación y el estudio de los contaminantes, de la mano con las PTARs para el manejo de estos en los municipios circundantes. Para abordar esta se ha recurrido a diversas fuentes de información, que incluyen a CORPOBOYACÁ, Google Scholar, la Gobernación y la Secretaría de Salud de Boyacá, entre otras instancias especializadas y otras aplicaciones como ArcGIS para la generación de los diversos mapas que muestren la información consultada y Excel para realizar las tablas encontradas en dicha investigación.

2. MATERIALES Y METODOS

Para el proceso de monitoreo de las cargas contaminantes en el río Chicamocha, en primer lugar, se busca información acerca de los municipios de Boyacá que cuentan con una PTAR, para ello, se consulta información en páginas de alcaldías, artículos de investigación, noticias, entre otras., y con dicha información, se genera un mapa en ArcGIS.

Por otro lado, se consulta información acerca de las fuentes de abastecimiento de agua potable de los 123 municipios de Boyacá, para determinar cuáles de estos tienen como fuente de agua potable el río Chicamocha, para esto, se realiza una hoja de cálculo que permita recopilar dicha información y a su vez, generar un mapa mediante la aplicación de ArcGIS (EPIDAT, 2014).

El siguiente esquema muestra el procedimiento que se llevó a cabo durante el transcurso de esta investigación, en donde se toma como base fundamental la búsqueda de información acerca de las descargas de aguas residuales y/o industriales realizadas al río, para ello, se utilizan como fuentes las alcaldías, Corpoboyacá, entre otras fuentes de información oficiales, con el fin de organizar la información de manera clara y concisa, hasta culminar con la elaboración de los diferentes mapas y tablas.

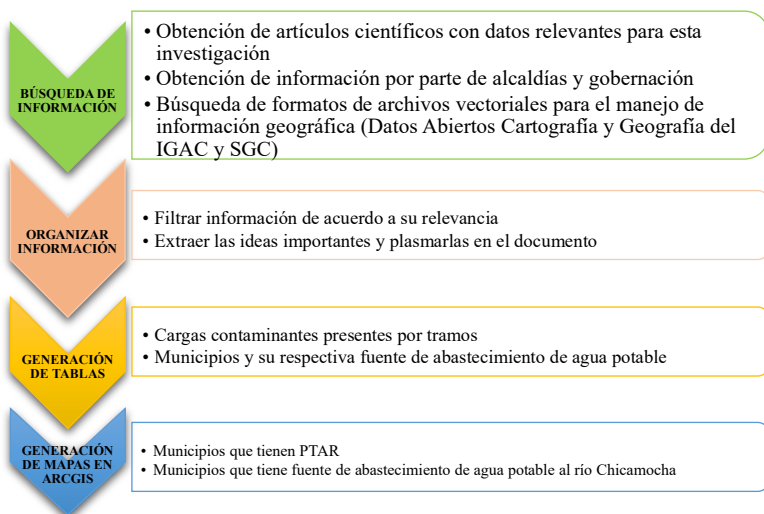


Ilustración 1: Flujograma de la Investigación

3. RESULTADOS

Gracias a toda la información recolectada en las revisiones bibliográficas ya mencionadas y agregando otros trabajos realizados por personas de distintas universidades; se elaboraron diversos mapas mediante el uso de la aplicación ArcGIS que representan la información obtenida. Algunos de los mapas que se realizaron se mostrarán a continuación:

En la Ilustración 1, se generó un mapa que muestra todos los municipios Boyacenses, en donde se encontró que solo algunos de ellos tienen una Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), estos son:

Tabla 1: Tabla de información de los municipios del departamento que tienen PTAR

MUNICIPIO	FUENTE DE INFORMACIÓN
Duitama	Informe Definitivo Auditoría Especial (Contraloría General de Boyacá,, 2020)
Sogamoso	“Sogamoso también avanza en la construcción de la Plata de Tratamiento de Aguas Residuales” (Gobernación de Boyacá, 2014)
Sotaquirá	Artículo de la Universidad de la Salle acerca de un análisis (Bautista Bayona & Ibáñez Ramírez, 2018)
Tunja	Programa Internacional De Cooperación Urbana (García & Ortíz, 2019)

Chiquinquirá	Planta de Tratamiento de Agua Residual inaugurada en mayo de 2015 (consulobras, 2015)
Chinavita	Adecuación de la PTAR y manejo de residuos sólidos (CORPOCHIVOR, 2024)
San Luis de Gaceno	“San Luis de Gaceno recibe beneficios del Plan Departamental de Aguas ” (Gobernación de Boyacá, 2017)

Teniendo en cuenta los municipios que poseen o que están en el proceso de planeación o ejecución de una PTAR mencionados anteriormente, se obtiene como resultado que los municipios que tratan sus aguas y que aportan al río Chicamocha son: Tunja, Duitama, Sogamoso y si se llevara a cabo el proceso de construcción de la PTAR de Iza y la del municipio de Nobsa.

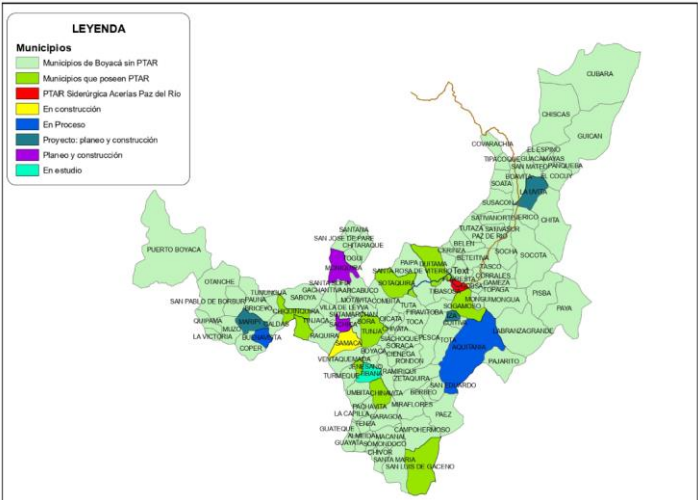


Ilustración 2: Mapa de municipios con y sin PTAR

Por otro lado, mediante la búsqueda de información acerca de los municipios del departamento de Boyacá que consumen o tienen como fuente de abastecimiento de agua potable el río Chicamocha, se realizó una tabla (Ver Tabla 2) para consolidar la información encontrada en las revisiones y de esta manera elaborar el mapa, así como se muestra a continuación. La presente tabla, solo posee la información de los municipios que usan las aguas del Río Chicamocha como fuente de abastecimiento de agua potable

Tabla 2: Tabla de información de los municipios con su respectiva fuente de abastecimiento de agua potable

MUNICIPIO	FUENTE DE ABASTECIMIENTO
PAIPA	Quebrada Toibita y en situaciones de emergencia extrema o por motivos de fuerza mayor toman el agua del Río Chicamocha (Gobernación de Boyacá, Secretaría de Salud de Boyacá, 2014)
TIBASOSA	Planta de Tratamiento de agua potable La Boyera (su fuente de abastecimiento es el río Chicamocha), Planta de Tratamiento La Capilla (su fuente de abastecimiento son Quebrada Grande y Mana del Padre) (Gobernación de Boyacá, Secretaría de Salud de Boyacá, 2014)

Gracias a toda la información recolectada y recopilada en la tabla anterior y mediante el uso de la aplicación ArcGIS, se generó el mapa que representa la información de manera gráfica para su fácil comprensión.

Para el mapa, se tiene como cuadro de convenciones:

- Color verde hace referencia a los municipios del departamento de Boyacá que no tienen como fuente de abastecimiento de agua potable el Río Chicamocha
- Color rosado hace referencia a los municipios de los cuales no se logró conseguir la información de su fuente de abastecimiento
- Color naranja hace referencia a los municipios que toman agua del río solo en ocasiones de fuerza mayor
- Color rojo que representa los municipios que tienen como fuente de abastecimiento el río Chicamocha (Ver Ilustración 2).

la otra que toma las aguas del río Chicamocha ubicada en el sector del museo del arte religioso (que según el título del artículo de la Gobernación de Boyacá dice que esta es la fuente que abastece al casco urbano del municipio) (Gobernación de Boyacá, Secretaría de Salud de Boyacá, 2014).

- Para el caso del municipio de Paipa, el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) para el año 2022 según la Gobernación de Boyacá, presenta un valor de 13.58 (Gobernación de Boyacá, 2022), es decir, se encuentra entre en el rango entre 5,1 y 14,09 (Gobernación de Boyacá, Gobernación de Boyacá, 2018), lo que corresponde a un índice bajo; mientras que el municipio de Tibasosa, presenta un valor de 32.71 (Gobernación de Boyacá, 2022), es decir, un índice medio ya que se encuentra en el rango de 14,1 - 35,09 (Gobernación de Boyacá, Gobernación de Boyacá, 2018).
- Con esto en mente se obtiene que, del total de los municipios presentes en el departamento de Boyacá, solo 8 de ellos cuentan con plantas de tratamiento lo cual equivale a decir que solo el 6.5% del departamento cuenta con un adecuado tratamiento de las aguas residuales que vierten al río Chicamocha. Por otro lado, según un artículo de La República, la cantidad de PTAR presentes en todo el departamento de Boyacá son 39 (VENEGAS LOAIZA, 2018), es decir, un 31.707%.

A continuación, se generan tablas resumen de las cargas contaminantes generadas por las diversas actividades económicas que se encontraban presentes en los tramos de análisis delimitados por la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ – CORPOBOYACÁ, dichos tramos son los siguientes:

- Tramo 1: Aguas arriba Tunja- Estación 1 – Estación Arboleda
- Tramo 2: Estación Oicatá – Estación Playa Arriba
- Tramo 3: Estación Playa abajo - Estación Cábulo
- Tramo 4: Estación Puente Chámeza – Estación La Turca
- Tramo 5: No se encuentran actividades económicas referentes a dicho tramo

Los contaminantes para el tramo 1 son en su mayoría producidos por los desechos provenientes del establecimiento carcelario que se sitúa en el

municipio de Cóbbita. Para el tramo 2 se evidencia que la mayor influencia está regida por los productos lácteos los cuales son producidos por el señor Guignar David y contaminantes producidos por la empresa de Gestión Energética. El tramo 3 se ve afectado por canteras y finalmente el tramo 4 se ve afectado mayoritariamente por procesos de extracción de materiales pétreos.

Tabla 2: Totales de la tabla de actividades económicas

ACTIVIDADES ECONÓMICAS		
TRAMO 1		
	Cc DBO₅ (Ton/año)	Cc SST (Ton/año)
TOTAL	37.82208816	43.44809846
TRAMO 2		
	Cc DBO₅ (Ton/año)	Cc SST (Ton/año)
TOTAL	823.1209961	1316.454832
TRAMO 3		
	Cc DBO₅ (Ton/año)	Cc SST (Ton/año)
TOTAL	8.646640358	24.2776008
TRAMO 4		
	Cc DBO₅ (Ton/año)	Cc SST (Ton/año)
TOTAL	21.84176986	499.9785901

Se generan también tablas resumen que presentan las cargas contaminantes generadas por el propio alcantarillado de cada municipio a lo largo de un año y que permiten la rápida diferenciación entre las ciudades de gran tamaño respecto a las demás en base a su contaminación.

Tabla 3: Servicio de Alcantarillado tramo

SERVICIO DE ALCANTARILLADO	
TRAMO 1	

	Cc DBO₅ (Ton/año)	Cc SST (Ton/año)
TOTAL	1681.560265	1944.648568
TRAMO 2		
	Cc DBO₅ (Ton/año)	Cc SST (Ton/año)
TOTAL	472.5826306	412.811075
TRAMO 3		
	Cc DBO₅ (Ton/año)	Cc SST (Ton/año)
TOTAL	71.82378181	74.22416537
TRAMO 4		
	Cc DBO₅ (Ton/año)	Cc SST (Ton/año)
TOTAL	1095.001672	621.7256529
TRAMO 5		
	Cc DBO₅ (Ton/año)	Cc SST (Ton/año)
TOTAL	381.41075	280.0385028

4. DISCUSIÓN

Este artículo presenta los diversos desafíos en cuanto al proceso de gestión ambiental que tiene el río Chicamocha, en donde se mencionan algunas fuentes de contaminación que son vertidas a dicho río y algunos de los principales parámetros que permiten conocer los contaminantes presentes en dicha fuente de agua, que a su vez para determinados municipios, mencionados en este artículo, es una de sus fuentes de abastecimiento de agua potable, lo que permite enmarcar la relevancia del tratamiento de las aguas residuales; con el fin de optimizar la calidad de este recurso y disminuir el impacto en el ecosistema y en la población local y regional (World Health Organization, 2021).

Además, en el momento de revisar fuentes de información fue posible encontrar soluciones para el manejo de agua de manera responsable como lo es la reutilización de agua potable, así como se menciona en un artículo titulado “A Study of Failure Events in Drinking Water Systems As a Basis for Comparison and Evaluation of the Efficacy of Potable Reuse Schemes”, el cual menciona que se presentan diversos problemas en cuanto a los esquemas de tratamiento de agua potable convencionales,

debido a tratamientos ineficientes, malas prácticas o negligencias mientras que la implementación de los esquemas de reutilización del agua, la vigilancia sindrómica es una buena técnica ya que permite la detección de brotes transmitidos por el agua que afectan la salud de las comunidades (Onyango y otros, 2015).

Retomando lo anterior, el departamento de Boyacá presenta un manejo deficiente en la disposición de sus aguas residuales. Aunque se esperaba que los municipios más grandes, como Tunja, registraran las mayores cargas de DBO5 y SST, los resultados revelaron que varios municipios pequeños también presentan valores sorprendentemente altos en relación con su extensión. Algunos de estos ejemplos son los municipios de Cerinza, Socha, Santa Rosa de Viterbo y Paz de Río. El primero, Cerinza, alcanzó un valor alarmante de DBO5 de 443,16 toneladas por año, cifra desproporcionada si se compara con Tunja, la capital del departamento, que registra 1.520,89 toneladas por año, a pesar de contar con una población casi 54 veces mayor que la de Cerinza.

Para concluir esta investigación, se destaca la importancia de abordar la contaminación del río Chicamocha y la necesidad de realizar un análisis más detallado, como el llevado a cabo por CORPOBOYACÁ en su Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) (Corpoboyacá, 2015). Este plan incluye estudios de laboratorio que permiten cuantificar con mayor precisión las afectaciones presentes en los sectores mencionados, los cuales se encuentran a lo largo del río Chicamocha.

5. CONCLUSIONES

- Este análisis subraya la diversidad de impactos ambientales asociados a distintas actividades económicas, evidenciando la necesidad de considerar no solo la presencia o ausencia de ciertos contaminantes, sino también la magnitud de sus vertimientos. Asimismo, resalta la importancia de adoptar medidas específicas en sectores con elevadas cantidades de Sólidos Suspendidos Totales para mitigar su impacto ambiental y promover prácticas más sostenibles en dichas operaciones económicas.
- Surge una cuestión adicional al abordar la problemática asociada a la entidad GESTIÓN ENERGICA S.A E.S.P, la cual se dedica a la

generación de energía y se encuentra ubicada en el tramo de análisis 2, como se detalla minuciosamente en la tabla 3 de los resultados. En este contexto, la preocupación no se limita únicamente a las cargas de DBO₅, que alcanzan valores máximos de 810.29 toneladas por año, sino que se extiende a la presencia de niveles considerablemente elevados de Sólidos Suspendidos Totales (SST), llegando a una cifra alarmante de 1,297.67 toneladas por año.

Este escenario plantea interrogantes cruciales sobre las prácticas y procedimientos de gestión ambiental implementados por GESTIÓN ENERGICA S.A E.S.P, ya que las elevadas emisiones de contaminantes podrían tener repercusiones significativas en la calidad del entorno. Es imperativo abordar esta situación de manera proactiva, considerando medidas correctivas y estrategias sostenibles para mitigar las consecuencias ambientales asociados a las actividades de generación de energía en este tramo específico. Para realizar la revisión a dicha problemática se hace necesario un análisis adicional y a profundidad comparando los contaminantes producidos por ésta con otras entidades de generación energética con un tamaño similar.

- En el contexto de las actividades económicas que tienen lugar en las zonas examinadas, se llega a la conclusión de que la presencia de operaciones de explotación de material pétreo, específicamente en las canteras, se asoció con una notable ausencia de cargas contaminantes por DBO₅, evidenciando valores máximos de apenas 0.93 Toneladas por Año, según se detalla en la tabla 5 de los resultados. No obstante, este escenario contrasta de manera significativa al analizar las cargas de Sólidos Suspendidos Totales (SST), que experimentaron un considerable aumento en estos mismos sectores, llegando a valores máximos de 159.76 Toneladas por Año, tal como se describe en la tabla 5.
- Este monitoreo y análisis integral, contribuye a la protección del río Chicamocha pues permite identificar las áreas críticas y algunas fuentes de contaminación, lo que, a su vez, facilita la toma de decisiones y la implementación de acciones correctivas que garanticen la calidad del agua y el bienestar de las comunidades que dependen de este recurso vital.

- Gracias al trabajo realizado y a la obtención de información de diversas investigaciones acerca de la contaminación de los ríos en general y otras fuentes hídricas, permite concluir que se requiere un mejoramiento de estructuras, haciéndolas más robustas que permitan aumentar la eficiencia en cuanto al proceso de remoción de partículas contaminantes presentes en el agua (Robles Rodríguez y otros, 2019).

6. REFERENCIAS

- Bautista Bayona, A. M., & Ibáñez Ramírez, P. (2018). *Universidad de la Salle*. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1777&context=ing_ambiental_sanitaria
- Cajal, A. (18 de Febrero de 2021). <https://www.lifeder.com/rio-chicamocha/>
- Consulobras. (2015). <https://consulobras.com/ptar-del-municipio-de-chiquinquirá/>
- Contraloría General de Boyacá,. (2020). <https://cgb.gov.co/Archivos-2021/AUDITORIAS/2020/12-JULIO-2021/11-INFORME-FINAL-PTAR-DUITAMA.pdf>
- Corpoboyacá. (3 de Noviembre de 2015). <https://www.corpoboyaca.gov.co/ventanilla/pomca-cuenca-alta-del-rio-chicamocha/>
- CORPOCHIVOR. (2024). <https://www.webcorpochivor.gov.co/2018/09/26/mas-de-400-millones-para-adecuacion-de-ptar-y-manejo-de-residuos-solidos-en-chinavita/>
- DANE. (2007). DANE: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/solidos_suspension.pdf
- DANE. (2011). DANE. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/DBO_continental_13.pdf
- EPIDAT. (Octubre de 2014). https://www.sergas.es/Saude-publica/Documents/1891/Ayuda_Epidat_4_Analisis_descriptivo_Octubre2014.pdf

- García, M. E., & Ortiz, Y. C. (2019). *PROGRAMA INTERNACIONAL DE COOPERACIÓN URBANA*.
https://iuc.eu/fileadmin/user_upload/Regions/iuc_lac/user_upload/ESP_Tunja_-_Planta_de_tratamiento_de_aguas_residuales-PTAR.pdf
- Gobernación de Boyacá. (21 de 06 de 2012).
<https://www.boyaca.gov.co/hidrografia-boyacense/#:~:text=Los%20r%C3%ADos%20que%20corren%20por,%2C%20Up%C3%ADa%2C%20Cusiana%20y%20Pauto.>
- Gobernación de Boyacá. (29 de 05 de 2012).
<https://www.boyaca.gov.co/localizacion/>
- Gobernación de Boyacá. (30 de 05 de 2014).
<https://www.boyaca.gov.co/sogamoso-tambien-avanza-en-la-construccion-de-la-plata-de-tratamiento-de-aguas-residuales/>
- Gobernación de Boyacá. (Julio de 2014). *Secretaría de Salud de Boyacá*.
https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/wp-content/uploads/sites/67/2014/07/images_Documentos_Salud_Publica_Ano_2014_AGUA_CONSUMO_HUMANO_MAPA_RIESGO_MAPA-DE-RIESGO-DE-PAIPA.pdf
- Gobernación de Boyacá. (2014). *Secretaría de Salud de Boyacá*.
https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/wp-content/uploads/sites/67/2014/07/images_Documentos_Salud_Publica_Ano_2014_AGUA_CONSUMO_HUMANO_MAPA_RIESGO_MAPA-DE-RIESGO-DE-TIBASOSA.pdf
- Gobernación de Boyacá. (15 de 02 de 2017). <https://www.boyaca.gov.co/san-luis-de-gaceno-recibe-beneficios-del-plan-departamental-de-aguas/>
- Gobernación de Boyacá. (2018). *Gobernación de Boyacá*.
https://planeacion.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2018/09/DIMENSION-FUNCIONAL_SERVICIOS_INFRAESTRUCTURA.pdf
- Gobernación de Boyacá. (Diciembre de 2022).
https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/wp-content/uploads/sites/67/2014/07/irca_final_2022_por_municipio.pdf
- Guerrero Cadavid, A. J., & Acevedo Pinto, K. S. (2021). *UNAD*.
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/41549/ajguerreroa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Jones, E., van Vliet, M., Qadir, M., & Bierkens, M. (8 de Febrero de 2021). *Earth System Science Data*.
<https://essd.copernicus.org/articles/13/237/2021/essd-13-237-2021.pdf>
- Ministerio de Ambiente. (2014). <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/vertimientos-y-reuso-de-aguas-residuales/>
- Onyango, L., Quinn, C., Tng, K., Wood, J., & Leslie, G. (08 de Septiembre de 2015). *National Library of Medicine*.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4818024/pdf/ehi-suppl.3-2015-011.pdf>
- epid, A., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M., & Núñez, D. (31 de Enero de 2019). *Scielo*. <https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v28n2/0718-3305-ingeniare-28-02-315.pdf>
- Velandia Trejos, T. (10 de Enero de 2023). *Caracol Radio*.
<https://caracol.com.co/2023/01/10/procuraduria-evidencio-insuficiencia-en-funcionamiento-de-la-ptar-de-tunja/>
- VENEGAS LOAIZA, A. (16 de Marzo de 2018). Solamente 48,2% de los municipios cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales. *La República*. <https://www.larepublica.co/infraestructura/solamente-48-2-de-los-municipios-cuentan-con-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-2611155#:~:text=Cundinamarca%20es%20el%20departamento%20con,%3B%20y%20Tolima%2C%20con%2036.>
- Wang, Q., Zhang, H., & Huang, J. (2022). *ScienceDirect*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964569122002988?via%3Dihub>
- World Health Organization. (23 de Marzo de 2021). *World Health Organization, GUIDELINES FOR DRINKING-WATER QUALITY*.
https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/water-safety-and-quality/dwq-guidelines-4/gdwq4-with-add1-chap3.pdf?sfvrsn=85204bc2_3