

EVALUACIÓN DE LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES EN LA CENTRAL  
TERMOELÉCTRICA DE PAIPA EN EL RÍO JORDÁN EN BOYACÁ

CRISTIAN CAMILO SÁNCHEZ ARENAS  
TANIA LORENA SUÁREZ ALFONSO  
JULIAN LEONARDO ARCHILA SANTAMARÍA

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D. C.  
2016

EVALUACIÓN DE LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES EN LA CENTRAL  
TERMOELÉCTRICA DE PAIPA EN EL RÍO JORDÁN EN BOYACÁ

CRISTIAN CAMILO SÁNCHEZ ARENAS  
TANIA LORENA SUÁREZ ALFONSO  
JULIAN LEONARDO ARCHILA SANTAMARÍA

Entregado a la Universidad La Gran Colombia, como requisito para obtener el  
grado de Ingeniero Civil

Asesor disciplinar  
Christian Giovanni Herrera Novoa  
christian.herrera@ugc.edu.co

Asesora Metodológica  
Mary Luz Parra Gómez  
Mary.parra@ugc.edu.co

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D. C.  
2016

NOTA DE ACEPTACIÓN:

---

---

---

---

---

---

---

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

---

FIRMA DEL JURADO

---

FIRMA DEL JURADO

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de grado va dedicado a todas y cada una de las personas que nos acompañaron en este camino y a todos los que creyeron en nosotros, a nuestros padres por ser ese apoyo incondicional tanto económico como moral, a ustedes familia por ese ejemplo tan importante para nuestra formación personal y profesional, y primordialmente a la comunidad, para quien va dirigido este trabajo que esperamos sea la semilla que permita germinar en nuestra sociedad la idea de priorizar nuestro medio ambiente por encima de las necesidades individuales y egoístas. Por último a todos los que inician este camino para que sirva de motivación y ejemplo a las nuevas generaciones de ingenieros.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a La Universidad La Gran Colombia por brindarnos la enseñanza suficiente para alcanzar este logro.

Gracias a nuestros padres, por su paciencia, dedicación, confianza y por la educación que dieron a bien brindarnos para forjar en nosotros las personas que somos.

Gracia a nuestras familias, por levantarnos en nuestras caídas y proveer la fuerza y el ánimo necesarios para continuar con nuestros proyectos y por inculcar en nosotros los valores que se perpetúan en la vida profesional

Gracias a nuestros seres queridos cercanos por su permanente apoyo en todas las fases de nuestras vidas, por su incansable compañía, constante motivación e importantes aportes a nuestro progreso como personas y profesionales.

Gracias a la profesora Mary Luz Parra Gómez por su apoyo constante en la elaboración de este documento.

Gracias al Ingeniero Christian Herrera por ser la guía en el desarrollo de esta investigación.

Gracias a los Profesores, Maestros, Ingenieros y Arquitectos cuyas enseñanzas durante el curso de la carrera nos han permitido adquirir el conocimiento necesario para lograr el objetivo de ser Ingenieros Civiles íntegros y capacitados.

Gracias todos nuestros compañeros de pregrado por esta lucha conjunta, porque solo nosotros sabemos la satisfacción de llegar hasta esta instancia.

Gracias a Dios por permitirnos culminar esta etapa tan importante en nuestra vida y desde luego a mis compañeros de tesis por este excelente trabajo en equipo, pues el compromiso conjunto con esta investigación permitió que llegásemos a buen término y podamos finalmente presentar los resultados de este, que esperamos sea

un trabajo que sirva como base para la mejora de las condiciones de los ríos de nuestro país.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
2. JUSTIFICACIÓN.....	14
3. OBJETIVOS.....	18
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	19
5. MARCO TEÓRICO .....	24
5.1. EL AGUA.....	24
5.1.1. Características del agua.....	24
5.1.2. Características de las aguas residuales:.....	25
5.1.3. Parámetros y calidad de las aguas residuales: .....	30
5.1.4. Parámetros y calidad de las aguas residuales.....	32
5.2. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	35
5.2.1. Fases .....	35
5.2.1.1. Pretratamiento .....	35
5.2.1.2. Tratamiento primario.....	37
5.2.1.3. Tratamiento secundario .....	39
5.2.1.4. Tratamiento terciario:.....	41
6. DISEÑO METODOLÓGICO .....	43
6.1. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.....	43
6.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	43
6.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA.....	44
6.5.1. Toma directa (Temperatura): .....	47
6.5.2. Electrométrico (pH): .....	47
6.5.3. Reflujo abierto (DQO): .....	48
6.5.4. Método volumétrico – cono de imhoff (Sólidos sedimentables): .....	49
6.5.5. Método gravimétrico – secado a 105°C (Sólidos totales):.....	50
6.5.6. Turbidimétrico (Turbiedad): .....	50
6.5.7. Absorción atómica de llama: .....	50

6.5.8. Titulometría (Alcalinidad).....	51
6.5.9. Volumétrico con edta .....	52
7. MARCO GEOGRAFICO .....	53
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	56
8.1. RESULTADOS .....	56
8.2. ANÁLISIS:.....	57
8.2.1. Temperatura .....	58
8.2.2. Parámetros generales.....	59
8.2.3. Iones:.....	60
8.2.4. Metales.....	60
8.2.5. Otros parámetros .....	61
9. DISCUSIÓN .....	63
10. CONCLUSIONES .....	66
11. RECOMENDACIONES .....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	70
ANEXOS.....	73
Anexo 1: Instructivo del IDEAM para toma de muestras de aguas residuales. ..	73
Anexo 2: Tabla de resultados suministrada por ANALQUIM LTDA. ....	79
Anexo 3 Registro Fotográfico.....	81



## INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Contaminantes eliminados en el proceso de desmineralización .....	20
Tabla 2 Parámetros para estudio de factibilidad .....	21
Tabla 3 Parámetros fisicoquímicos y sus valores máximos permisibles.....	27
Tabla 4 Clasificación de microorganismos.....	29
Tabla 5 Características físicas del agua.....	30
Tabla 6 Características químicas del agua.....	31
Tabla 7 Características químicas del agua Características biológicas del agua .....	32
Tabla 8 Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no doméstica – ARnD de las actividades de servicio y otras actividades a cumplir. ....	32
Tabla 9 Tipos de tratamiento primario. ....	38
Tabla 10 Características de procesos de lodos activados .....	39
Tabla 11 Análisis de variables .....	45
Tabla 12 Técnicas de análisis .....	47
Tabla 13 Listado de coordenadas planta Termopaipa IV .....	55
Tabla 14 Reporte de resultados* .....	56
Tabla 15 Comparativos aguas arriba y aguas abajo entre los parámetros obtenidos y los máximos permitidos. ....	57
Tabla 16 Temperatura aguas arriba y aguas abajo.....	58
Tabla 17 Parámetros generales.....	59
Tabla 18 Parámetros Iones .....	60
Tabla 19 Parámetros Metales .....	60
Tabla 20 Rango de alcalinidad.....	61
Tabla 21 Otros Parámetros .....	62
Tabla 21 Requerimientos para conservación y almacenamiento de muestras de agua ....	78

## INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 Propuesta de estructuración de la P.T.A.R. ....	22
Figura 2 Sistema centralizado .....	23
Figura 3 Sistema descentralizado .....	23
Figura 4 Ubicación geográfica Central Termoeléctrica de Paipa .....	53
Figura 5 Polígono aproximado de la planta Termopaipa IV .....	54
Figura 6 Planta Central Termoeléctrica TERMOPAIPA.....	55
Figura 7 Central Termoeléctrica TERMOPAIPA Sochagota .....	81
Figura 8 Carbón utilizado para generación de electricidad .....	81
Figura 9 Lagunas de oxidación Central Termoeléctrica TERMOPAIPA Sochagota .....	82
Figura 10 Central Termoeléctrica TERMOPAIPA GENSA.....	82
Figura 11 Lagunas de oxidación Central Termoeléctrica TERMOPAIPA GENSA .....	83
Figura 12 Salida de aguas residuales Central Termoeléctrica TERMOPAIPA .....	83
Figura 13 Muestras tomadas en campo .....	84
Figura 14 Toma de temperatura del agua.....	84

## LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1: Instructivo del IDEAM para toma de muestras de aguas residuales	70
Anexo 2: Tabla de resultados suministrada por ANALQUIM LTDA.....	76
Anexo 3: Registro Fotográfico .....	80

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales acarrea tanto impactos ambientales como impactos a la salud de nuestra propia comunidad, en esta oportunidad se pretende mostrar la problemática del río Jordán ubicado en Boyacá, conocido como río chulo, el cual está siendo contaminado por aguas residuales domesticas e industriales. Este estudio se encarga de realizar el análisis de los vertimientos de aguas residuales industriales que afectan el cauce en el punto en que la termoeléctrica de Paipa utiliza el cuerpo de agua para refrigerar sus procesos de generación eléctrica. Todos estos procesos pueden generar descargas de sustancias cuyas características podrían ser tóxicas y afectar al cuerpo de agua, además de generar cambios radicales de temperatura, que incluso con la presencia de las lagunas de oxidación cuya función es reducirla y permitir la sedimentación y oxidación de algunas partículas presentes, pueden afectar el ecosistema fluvial si no son manejados de manera adecuada.

El río Jordán nace en la vereda la Runta en Boyacá y atraviesa el departamento por los municipios de Cómbita y Oicatá hasta desembocar en el embalse La Playa, por esta razón su análisis es de gran importancia para el departamento. En últimos años se han realizado estudios bordeando el río y en especial sobre el presente tema de investigación, la Central Termoeléctrica TERMOPAIPA, la cual se presume que puede ser un gran foco de contaminación, debido a que sus aguas residuales pasan únicamente por el proceso de lagunas de oxidación antes de realizar su descarga sobre el río Jordán, lo cual puede o no garantizar que las condiciones del cuerpo de agua sean las adecuadas bajo las normas ambientales actuales.

El objetivo de esta investigación es realizar un análisis **generalizado** del agua del río antes y después de su paso por la central Termoeléctrica, y de esa manera identificar si estas aguas residuales cumplen con la norma legal vigente sobre aguas residuales expedida en el 2015. También se busca dar una caracterización general

de los contaminantes y la solución sobre los posibles incumplimientos a la legislación.

El alcance, en un principio, abarca el análisis químico de las aguas residuales para determinar su grado de contaminación y la variación ejercida por la central. Aunque este trabajo tiene la limitante de la falta de información por parte de la central, ya que parte de su proceso es de política confidencial, solo disponible para entes reguladores estatales.

El diseño de estudio de esta investigación es observacional descriptivo que permite la recolección de muestras en sitio, y teniendo en cuenta variables como los contaminantes y la temperatura para delimitar el campo de acción.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación se planteará una solución que permita satisfacer las condiciones aceptables para el cuerpo de agua estudiado.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El río Jordán, ubicado dentro de la cuenca hidrológica del río Chicamocha, en el departamento de Boyacá, es uno de los más contaminados a nivel Colombia, superando incluso al Río Bogotá. Dicha contaminación se debe a diferentes agentes contaminantes resultado de la descarga directa de residuos sólidos y orgánicos, dejados allí, no solo por la comunidad rural colindante, sino también al sector industrial ubicado en las cercanías, y también el aporte de las zonas urbanas cercanas.

El tramo entre el punto de vertimiento de aguas residuales de la Ciudad de Tunja hasta la captación de la Hidroeléctrica Termo-Paipa; ha estado afectado de manera importante durante bastante tiempo debido a la cantidad y tipo de actividades desarrolladas durante su recorrido, entre estas el sector agrícola, ganadero e industrial. Aun así hay diversidad de usos dados al Río Jordán a pesar del alto grado de contaminación que presenta por las descargas de las aguas residuales de la ciudad de Tunja; y siendo esta una de las fuentes hídricas que da origen al río más importante de Boyacá como lo es el río Chicamocha; debe prestarse la atención suficiente para evitar que se sigan agravando las condiciones actuales que se pueden considerar precarias, pues presenta olores putrefactos originados por la contaminación, posiblemente agentes patógenos provenientes de todo tipo de desechos, sustancias químicas inorgánicas como mercurio, plomo, cromo, hierro, plásticos, plaguicidas y detergentes que podrían causar enfermedades no solo a la población circundante sino que también amenazan la flora y fauna de la vida acuática.

Teniendo en cuenta la importancia de la gestión ambiental, la cual se trata de un proceso en permanente cambio pero que naturalmente está conformado por objetivos claros y prioridades, se requiere de la planeación y ejecución de

mecanismos de seguimiento que pretendan una continua evaluación de los resultados, y de esta forma lleven a mejorar la calidad del cuerpo de agua objeto de estudio, que como otros en la región y en el territorio nacional, es de gran interés social, económico, ambiental y cultural para la población.

Esto no es una problemática actual, se está hablando de un daño medio ambiental que se ha mencionado desde hace varios años, pero que aún no se ha atacado de completamente y de forma consiente, así lo dice un artículo del periódico EL TIEMPO del año 2007, el cual argumentaba que Tunja, Duitama, y Sogamoso aportan el 90% De los contaminantes de esta cuenca. “Según datos de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpo-boyacá), Tunja es la responsable del 40 por ciento de los contaminantes que van al río; Duitama, del 30 por ciento, y Sogamoso, del 20 por ciento de las impurezas que han convertido el Chicamocha en una cloaca”<sup>1</sup>. En el mismo artículo se asegura que la contaminación en la cuenca del Río Chicamocha empezó cuando llegaron las grandes empresas ““Acerías le bota al río alquitrán y agua caliente”, afirmó Víctor Antonio Rincón, quien aseguraba que la contaminación del Chicamocha empezó cuando llegaron las grandes empresas al sector”<sup>2</sup>

Aunque los responsables de la contaminación del río Jordán son muchos, hay quienes podrían tener una mayor participación y al mismo tiempo capacidad de respuesta, por lo tanto es vital realizar los análisis correspondientes por lo menos en una muestra representativa de la población que por supuesto permita tener una perspectiva de la situación y contribuya a entender de mejor manera la problemática para poder hacer énfasis en la necesidad de un sistema artificial de recolección de

---

<sup>1</sup> Redacción, **EL TIEMPO**. 2007. El río Chicamocha es la alcantarilla de Tunja, Duitama y Sogamoso. *EL TIEMPO*. 19 de Noviembre de 2007,

<sup>2</sup> **Ibid**

aguas residuales que realice un tratamiento adecuado de los residuos orgánicos e inorgánicos suspendidos en el agua que terminara en el río objeto de estudio.

¿Cuál es nivel de contaminación en las aguas residuales que descarga la Central Termoeléctrica TERMOPAIPA al río Jordán en Boyacá?



## 2. JUSTIFICACIÓN

La problemática ambiental para las fuentes hídricas superficiales; tiene diferentes tipos de afectación, entre estos esta la descarga excesiva de contaminantes y la utilización de los cuerpos de agua como transporte de desechos líquidos y sólidos. En especial se vierten sobre estos las aguas residuales domésticas, industriales y comerciales que son generadas en las ciudades y en los centros rurales. Se deben crear procesos que permitan controlar los impactos negativos que las descargas residuales tienen sobre el medio ambiente y en especial sobre las fuentes de agua, cuya salud peligra debido a la falta de conciencia de las Instituciones gubernamentales, las cuales son las principales responsables de implementar las políticas, la normatividad, el control y evaluación del estado de estas, y generar una reacción inmediata que permita asegurar la supervivencia de la red hidrológica Nacional. De esta manera se lograría evitar que a lo largo del territorio colombiano se encuentre infraestructura para el tratamiento de aguas residuales completamente fuera de servicio, a pesar del evidente decaimiento en el estado de las fuentes hidrológicas, mitigando la falta de controles, mala utilización de los recursos, infraestructura y procesos de tratamiento.

Desde el año 1995 existen estudios desde diferentes entidades sobre la contaminación de la cuenca alta del río Chicamocha que apenas ahora han sido tomados en serio. Sin embargo la constante contaminación y el deterioro de los cauces que lo componen, como en el río Jordán, muestran un completo olvido sobre la situación crítica que presentan, además de la afectación que desde hace ya bastante tiempo está generando a las poblaciones aledañas al cauce que cada vez encuentran más difícil extraer agua de este río para potabilizarla debido a la cantidad y tipo de contaminantes que se vierten.

Respecto a las acciones del Estado, a nivel nacional y como instrumento planificador estuvo el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos creado por el

CONPES 3177 DEL 2004<sup>3</sup> como Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales, el cual con la intención de apoyar la implementación de la Tasa Retributiva por vertimientos puntuales, reglamentó los procesos correspondientes a través de decretos y resoluciones con sus respectivos complementos. Apoyado además por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT, diseñó la Guía Metodológica para el Establecimiento de Objetivos de Calidad de los Cuerpos de Agua en Ausencia de los Planes de Ordenamiento del recurso Hídrico. Pero hoy en día el control y las metodologías se están realizando bajo la RESOLUCIÓN 631 DEL 17 DE MARZO DE 2015<sup>4</sup>, la cual establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, además de dictar otras disposiciones respecto al saneamiento ambiental.

Sin embargo, en la mayoría sino todos los informes sobre el río Jordán se encuentra que el contiene varios tipos de contaminantes, como los desechos domésticos, desechos industriales, afluentes agrícolas de instalaciones zootécnicas y fincas aledañas, drenajes de sistemas de riego, minería, plaguicidas y fertilizantes químicos. Esto es un problema de salud pública que puede tener consecuencias desastrosas si no se toman las medidas adecuadas y en el tiempo adecuado.

Las proyecciones realizadas a los principales ríos contaminados de la cuenca del río Chicamocha determinaron que el tiempo de vida de estas fuentes podría estar cerca de los 25 años en un estudio ha sido realizado en el año 1995, mostrando un problema crítico, que podría terminar en una catástrofe ambiental.

---

<sup>3</sup> **COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2002.** CONPES 3177 (15 de Julio de 2002). *Acciones Prioritarias y Lineamientos para la Formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales.* Diario Oficial Bogotá D. C. : s.n., 2002.

<sup>4</sup> **COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2015.** Resolución 631 (17 de marzo de 2015). *Por el cual se establecen los parametros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.* Diario Oficial. Bogotá, D. C. : s.n., 2015.

Desde el punto de vista de la gestión ambiental, se sabe que es un proceso que debe estructurarse con objetivos y estrategias de ejecución, a través de mecanismos que faciliten analizar y evaluar los resultados en forma permanente para trabajar en la mejora de la calidad del cuerpo de agua, que además es de gran interés social, económico, ambiental y cultural para la población. Entonces es vital plantear una propuesta de gestión en la captación de la Central Termoeléctrica TERMOPAIPA; y debido a la gran presencia de actividades desarrolladas en esta zona relacionadas con el sector energético además de la diversidad de usos dados al Río Jordán a pesar del alto grado de contaminación que presenta por las descargas de las aguas residuales de la ciudad de Tunja.

Esto implica que el Río Jordán aporta gran parte de la contaminación a la cuenca del Río Chicamocha, el más importante de Boyacá; el cual presenta condiciones deplorables, entre estas olores putrefactos ocasionados por la contaminación, generación de brotes de virus, bacterias, virus y parásitos que provienen de las descargas de todo tipo de desechos, también sustancias químicas inorgánicas como hierro en exceso, plomo, cromo, plásticos, residuos de los plaguicida usados en las zonas agrícolas y detergentes que amenazan la calidad del ecosistema acuático, lo que se traduce en la afectación directa de la flora y fauna del cuerpo de agua..

Por otra parte, en este momento algunos municipios y ciudades de Boyacá, responsables de la contaminación del río, están actuando ante esta situación. En este momento se están realizando proyectos como es el caso de Tunja y Sogamoso, quienes están implementando plantas de tratamiento de aguas residuales para el manejo de las aguas contaminadas dentro del casco urbano. Todo esto ha implicado que estas dos ciudades tengan que crear toda una infraestructura para generar sistemas de colectores e interceptores que permitan unificar sus vertimientos para el adecuado tratamiento de las aguas residuales. Es un gran esfuerzo que reducirá en gran medida los niveles de contaminación de los ríos sobre los cuales vierten sus desechos.

Como se mencionaba anteriormente, la contaminación no solamente es producto de la disposición de residuos generados en el casco urbano. El desarrollo, creación y crecimiento de la industria además de otros causantes, también vienen afectando las zonas rurales, que como es sabido son parte importante del desarrollo económico del departamento. Por lo tanto se busca generar acciones para las zonas industriales rurales en un punto específico: la central eléctrica Termo-Paipa, que suministra energía eléctrica a Boyacá y Casanare, pues en sus procesos de enfriamiento de calderas hace uso de las del río Jordán que posteriormente son regresadas con temperaturas altas que modificaban los parámetros físico-químicos y bacteriológicos de la fuente hídrica.

Aunque se han realizado grandes esfuerzos por aparte de las Autoridades Ambientales basados en un soporte jurídico bien fundamentado; aún se dispone de un río con presencia materia, orgánica, residuos sólidos, producción malos olores, donde el uso principal está dado en el re-uso de las aguas contaminadas.

Es de gran importancia actuar prontamente, para que los esfuerzos realizados por las entidades encargadas en el departamento de Boyacá, encuentren un apoyo que complemente su proyección de crecimiento en el cuidado medioambiental.

Por tal motivo, realizar un diagnóstico y efectuar un análisis adecuado directamente en el punto de la Central Termoeléctrica TERMOPAIPA, puede ayudar a determinar una solución fundamental que posteriormente se pueda aplicar a otras regiones con la misma problemática.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la contaminación en la descarga de aguas residuales en Central Termoeléctrica TERMOPAIPA sobre el río Jordán en Boyacá.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar el nivel de contaminación del río Jordán antes de la Central Termoeléctrica TERMOPAIPA.
- Evaluar la contaminación en el río Jordán después de la descarga de la Central Termoeléctrica TERMOPAIPA.
- Comparar los valores obtenidos con la norma vigente en Colombia.

#### 4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

A continuación se presentan los estudios que se han realizado como análisis para conocer tratamiento sobre temas similares al eje de esta investigación.

En el 2008<sup>5</sup>, se realizó el estudio sobre la alternativa de tratamiento de aguas residuales de la industria textil en México. En este se encontró que era de vital importancia la utilización de un sistema de tratamiento que pudiese disminuir los niveles de contaminación para cumplir con los parámetros permisibles por la norma nacional vigente. Además, se debe tener en cuenta el costo que un sistema de las características propuestas debe estar dentro de las posibilidades económicas de la industria

En la Universidad Industrial de Santander, en 2010<sup>6</sup> se realizó diseño del sistema de gestión de calidad para la termoeléctrica Termopaipa en donde se garantice el control adecuado de los proceso de operación y mantenimiento. Con base en este estudio se denota que la central cumple parcialmente con los parámetros básicos de calidad de funcionamiento. Sumado a lo anterior brinda la información de contaminantes eliminados en el proceso interno de desmineralización con el que cuenta la compañía. (Ver Tabla 1)

---

<sup>5</sup>**CORTINA DOMINGUEZ, Carlos Fortino y MÁRQUEZ ORTIZ, Ricardo. 2008.** Alternativa de tratamiento de aguas residuales de la industria textil. *Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil*. México D. F. : Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, 2008.

<sup>6</sup>**ORTÍZ CABRERA, Mario Germán y VEGA SÁNCHEZ, Iván Rodrigo. 2010.** Diseño del sistema de gestión de calidad basado en la norma ISO 9001:2008 para la operación y mantenimiento de la compañía eléctrica de Sochagota S.A. E.S.P.-termopaipa IV. *Monografía para optar al título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento*. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, 2010.

Tabla 1 Contaminantes eliminados en el proceso de desmineralización

Contaminante	Problemas Causados	Método de Tratamiento
Sólidos Suspendidos	Incrustaciones en altas concentraciones	Desmineralización
Alcalinidad	Incrustación, arrastre de sólidos en el vapor, bicarbonatos y carbonatos producen CO <sub>2</sub> en el vapor causando corrosión en las líneas de condensado	Desmineralización
Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Combinado con calcio, incrustaciones de sulfato de calcio	Desmineralización
Cloruros Cl <sup>-</sup>	Incrementa el carácter corrosivo del agua	Desmineralización
Nitratos NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Suma en el contenido de sólidos en el agua	Desmineralización
Sílica SiO <sub>2</sub>	Incrustación en calderas, formador de depósitos insolubles en los alabes de la turbina por la evaporación de la sílice	Desmineralización
Hierro Fe <sup>3+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , Magnesio	Da color al agua, fuente de depósitos en tuberías y caldera	Filtración, coagulación
Amonio NH <sub>3</sub>	Corrosión de aleaciones de cobre y zinc	Intercambio catiónico. Clorinación de aireación
Oxígeno O <sub>2</sub>	Corrosión	Desaireación en el tanque de alimentación
Hidrogeno Sulfuro H <sub>2</sub> S	Mal olor corrosión	Aireación, clorinación, resina aniónica

Fuente: Diseño del sistema de gestión de calidad basado en la norma ISO 9001:2008 para la operación y mantenimiento de la compañía eléctrica de Sochagota S.A. E.S.P. -termpaipa IV

En la Universidad Militar Nueva Granada, el 2011<sup>7</sup>, se realiza un estudio sobre la implementación de un sistema integrado de tratamiento de aguas residuales para la descontaminación de la cuenca del río Chicamocha, a la altura de la población de Sogamoso. En dicho estudio se evidencia la composición de las aguas residuales vertidas por parte de la comunidad que habita Sogamoso sobre el río Chicamocha, (Ver tabla 2)

<sup>7</sup> ORJUELA BRAVO, Marisol, y otros. 2011. Implementación de un sistema integrado de tratamiento de aguas residuales como aporte para la descontaminación de la cuenca del río Chicamocha. *Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en ingeniería civil*. Bogotá D.C. : Universidad Militar Nueva Granada, 2011.

Tabla 2 Parámetros para estudio de factibilidad

Parámetro	Promedio Ponderado caracterización*	Promedio Ponderado caracterización**	Composición promedio
Caudal medio, l/s	318.82	294.64	307
Temperatura, °C	18.21	18.21	18.2
pH, un	7.25	7.25	7.3
DQO, mg/l	336.46	332.57	335
DBO, mg/l	174.25	171.95	173
Grasas y Aceites	44.24	44.08	44
Fósforo Total	4.75	4.72	5
Nitrogeno Total	37.07	36.91	37
SST, mg/l	140.32	133.78	137
SSV, mg/l	113.11	106.87	110
S sedimentables, ml/l	1.72	1.64	1.7
Caudal promedio futuro, l/s	-	-	384
Población actual, hab			123868
Población futura, hab	-	-	179718
Aporte DBO g/(hab.día)	45.59+	41.58+	44+
Aporte DQO g/(hab.día)	88.03+	80.41+	84+
Aporte SS, g/(hab.día)	36.71+	32.35+	35+
Carga DBO, kg/día	4666	4256	7441
Carga DQO, kg/día	9011	8231	14379
+Carga SS, kg/día	3758	3311	5895

\*Media aritmética

\*\*Media geométrica

+ Aporte calculado con base en el 85% de cobertura actual del alcantarillado

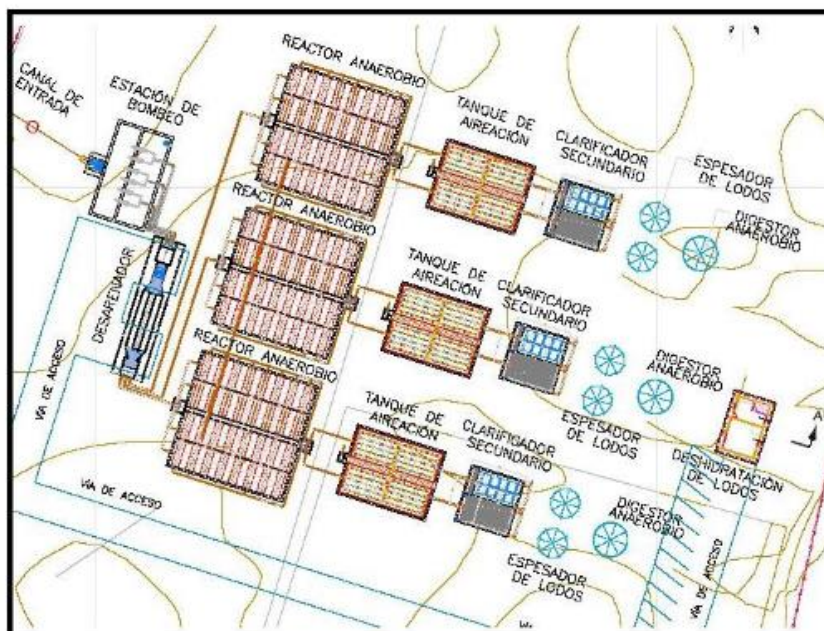
*Fuente: Implementación de un sistema integrado de tratamiento de aguas residuales como aporte para la descontaminación de la cuenca del río Chicamocha (u. Militar Nueva Granada)*

Con base en el anterior este estudio concluyó que la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (P.T.A.R) es la solución óptima, ya que le permitirá a la comunidad solucionar parcialmente el problema de recolección y disposición final de las aguas residuales que descargan sobre el río Chicamocha a través del canal Venecia.

Para lo anterior, se propone la siguiente estructura para la planta de tratamiento:



Figura 1 Propuesta de estructuración de la P.T.A.R.



Fuente: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRADO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES COMO APORTE PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CHICAMOCHA (U. MILITAR NUEVA GRANADA)

Por otro lado, en el 2014<sup>8</sup>, se realizó un estudio de viabilidad económica para la construcción de una P.T.A.R. en la ciudad de Guadalajara de Buga, en el cual se determinó que la descarga de aguas residuales depositada por el sistema de alcantarillado de la ciudad es de 200 litro por segundo en el río Guadalajara.

Se planteó la posibilidad de escoger entre un sistema centralizado, que se basa en una gran P.T.A.R. única para la ciudad, y un sistema descentralizado, el cual se basa en pequeñas P.T.A.R. a lo largo de la ciudad como se muestra en la Figura 2 y Figura 3.

<sup>8</sup> **MACA MILLÁN, Gloria Stefany. 2014.** Evaluación económica de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Guadalajara de Buga. *Trabajo de grado para optar por el título de economista.* Santiago de Cali : Universidad del Valle, 2014.

Figura 2 Sistema centralizado



Fuente: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE GUADALAJARA DE BUGA (U. DEL VALLE)

Figura 3 Sistema descentralizado



Fuente: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE GUADALAJARA DE BUGA (U. DEL VALLE)

En esta investigación se demostró que el sistema más indicado para la descontaminación de la ciudad de Guadalajara de Buga es el sistema descentralizado, ya que es de menor costo y permite una descontaminación de mayor cobertura en la población como usuarios finales de la misma.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1. EL AGUA

Según el primer informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo *Agua para todos*<sup>9</sup>, el 59% del consumo total de agua está destinado a la industria, el 30% al consumo agrícola y solo el 11% al uso doméstico. Se proyecta que para el 2025 el consumo de agua destinada a la industria se aproxima a los 1170 km<sup>3</sup>/año. Con estos datos se puede llegar a la idea aproximada de la importancia del tratamiento de aguas residuales en el mundo.

Se entiende por Aguas residuales Industriales “*Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.*”<sup>10</sup>. Las aguas residuales industriales varían de las domésticas por su variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en la misma, la mayoría de estos compuestos son regulados de manera especial por las autoridades competentes por su toxicidad y afectaciones biológicas a largo plazo.

#### 5.1.1. Características del agua

La Comisión Estatal de Agua de Jalisco<sup>11</sup> define el agua como compuesto químico presenta propiedades químicas que lo alejan de otros compuestos de formación similar, dentro de estos se puede encontrar el hecho de que es el único elemento que se presenta de manera natural en la tierra en los tres estados básicos de la materia. También es la única sustancia que al enfriarse se dilata y aumenta su

---

<sup>9</sup> **ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS.** *Agua para todos Agua para la vida.* Paris: Ediciones Unesco, 2003. p. 13.

<sup>10</sup> **RODRIGUEZ FERNÁNDEZ , Antonio; LETÓN GARCÍA, Pedro; ROSAL GARCÍA , Roberto; DORADO VALIÑO, Miriam ; VILLAR FERNÁNDEZ, Susana; SANZ GARCÍA, Juana;.** 2006. *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales.* Madrid : Fundación para el conocimiento Madrid, 2006. M-30985-2006. p. 10

<sup>11</sup> **MARÍN OCAMPO, Armando; OSÉS PERÉZ, Manuel;.** 2013. *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados.* Jalisco : Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013. p. 3-4

volumen a diferencia del resto de compuestos que en temperaturas bajas se contraen y disminuyen su respectivo volumen. Posee la tensión superficial más alta que el resto de líquidos comunes, es por esto que presenta su gran capacidad erosiva. Además se considera que el agua es lo más aproximado al solvente químico universal por alto momento bipolar y su alta constante dieléctrica.

El agua en estado natural no es posible de encontrar, ya que a lo largo de las eras geológicas de la tierra distintos compuestos y componentes se han adherido a está, formando compuestos acuosos, de tal manera el agua que se encuentra en depósitos como lagunas, ríos o mares puede contener 3 tipos de características:

- Físicas: estas son las características que pueden ser percibidas de manera organoléptica como la turbiedad, el color, olor, sabor, temperatura sólidos y conductividad.
- Químicas: en estas se encasillan las que se refieren a la estructura química del elemento como el pH, dureza, acidez, alcalinidad, fosfatos, sulfatos, fe, manganeso (Mg), cloruros, oxígeno disuelto, grasas y aceites, amoníaco, mercurio (Hg).
- Biológicas: en esta última se hace referencia a microorganismos que se encuentran suspendidos en ellos, como protozoos y helmintos, ambos patógenos.

### **5.1.2. Características de las aguas residuales:**

En la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible<sup>12</sup> presenta dos tipos de agua, la primera aguas residuales domiciliarias, que son procedentes de hogares industria y comercio siempre y cuando estas provengan de retretes y servicios sanitarios, áreas de cocina, sistemas de aseo personal, pocetas

---

<sup>12</sup> **COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE.** Resolución 631 (17 de marzo de 2015). *Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.* Diario Oficial. Bogotá, D. C., 2015. P. 2

de lavado de elementos de aseo, lavado de paredes y pisos y lavado de ropa, donde se exceptúa la lavandería industrial. Las segundas como aguas residuales no domiciliarias que son procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicio que no estén contempladas dentro de las aguas residuales domiciliarias.

Dentro de las características que se deben medir en las aguas residuales hay que referirse nuevamente a las características físicas que son<sup>13</sup>:

- Sólidos: Se refiere a elementos sólidos ya sean disueltos o en suspensión, como materia orgánica, arenas, arcillas, rocas.
- Olor: Como producto de la descomposición de la materia orgánica se liberan gases que producen una variación en el olor del agua.
- Temperatura: Al incorporar descargas de agua correspondientes a otros usos la temperatura podría variar.
- Densidad: Al encontrarse elementos sólidos en suspensión o disueltos la cantidad de masa por unidad de medida cúbica en el agua aumenta.
- Color: Esta puede determinar la antigüedad de la existencia de las aguas residuales.

Dentro de las características químicas de las aguas residuales tenemos los valores dados en la tabla contenida en el Artículo 8 de la Resolución 0631 de 2015<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> SNOEYINK, Vernon L. y JENKINS, David. 2002. *Química del agua*. México : LIMUSA, 2002. ISBN 968-18-1608-0. 13-15

<sup>14</sup> Opc. COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE..., p. 7.

Tabla 3 Parámetros fisicoquímicos y sus valores máximos permisibles

Parámetro	Unidades	Aguas residuales domésticas –ARD, y Aguas residuales no domésticas ARnD de los prestadores del servicio público de alcantarillado, con una carga mayor a 625.00 Kg/día y menor o igual a 3000.00 Kg/día DBO	Aguas residuales domésticas – ARD, y Aguas residuales no domésticas ARnD de los prestadores del servicio público de alcantarillado, con una carga mayor 3000.00 Kg/día DBO
<b>Generales</b>			
<b>pH</b>	Unidades de pH	6.00 a 9.00	6.00 a 9.00
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	mg/L O <sub>2</sub>	180.00	150.00
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b>	mg/L O <sub>2</sub>	90.00	70.00
<b>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</b>	mg/L	90.00	70.00
<b>Sólidos Sedimentales (SSED)</b>	mg/L	5.00	5.00
<b>Grasas y Aceites</b>	mg/L	20.00	10.00
<b>Compuestos Semivolátiles Fenólicos</b>	mg/L		Análisis y Reporte
<b>Fenoles Totales</b>	mg/L		Análisis y Reporte
<b>Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)</b>	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Hidrocarburos</b>			
<b>Hidrocarburos Totales (HTP)</b>	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)</b>	mg/L		Análisis y Reporte
<b>BTEX (Benceno, Tolueno, Etibenceno y Xileno)</b>	mg/L		Análisis y Reporte

<b>Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)</b>	mg/L		Análisis y Reporte
<b>Compuestos de Fósforo</b>			
<b>Ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub>)</b>	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Fósforo total (P)</b>	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Compuestos de Nitrógenos</b>			
<b>Nitratos (N-NO<sub>3</sub>)</b>	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Nitritos (N-NO<sub>2</sub>)</b>	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Nitrógeno Amoniacal (N-NH<sub>3</sub>)</b>	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Nitrógeno total (N)</b>	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Iones</b>			
<b>Cianuro total (CN<sup>-</sup>)</b>	mg/L	0.50	0.50
<b>Cloruros (Cl<sup>-</sup>)</b>	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Sulfuros (S<sup>2-</sup>)</b>	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Metales y Metaloides</b>			
<b>Aluminio (Al)</b>	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Cadmio (Cd)</b>	mg/L	0.10	0.10
<b>Zinc (Zn)</b>	mg/L	3.00	3.00
<b>Cobre (Cu)</b>	mg/L	1.00	1.00
<b>Cromo (Cr)</b>	mg/L	0.50	0.50
<b>Hierro (Fe)</b>	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Mercurio (Hg)</b>	mg/L	0.02	0.02
<b>Níquel (Ni)</b>	mg/L	0.50	0.50
<b>Plata (Ag)</b>	mg/L		Análisis y Reporte
<b>Plomo (Pb)</b>	mg/L	0.50	0.50
<b>Otros parámetros para análisis y reporte</b>			
<b>Acidez total</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Alcalinidad Total</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Dureza cálcica</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

<b>Dureza total</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Color real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)</b>	m <sup>-1</sup>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Fuente: Resolución 0631 de 2015

Como último parámetro, son las características biológicas en las cuales se enmarca la presencia de microorganismos, generalmente patógenos que pueden ser organismos eucariotas, eubacterias o arqueobacterias. Para la clasificación de los mismos y los virus que pueden contener se cita la tabla 1.2.10 *Clasificación de los microorganismos* de Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados<sup>15</sup>.

Tabla 4 Clasificación de microorganismos.

Grupo	Estructura celular	Caracterización	Miembros representativos
<b>Eucariotas</b>	Eucariota *	Multicelular, con gran diferenciación de las células o el tejido	Plantas (plantas de semilla, musgos y helechos) Animales (vertebrados e invertebrados)
		Unicelular o coenocítica o micelial; con escasa o nula diferenciación de tejidos	Protistas (algas, hongos y protozoos)
<b>Eubacterias</b>	Procariota **	Química celular parecidas a las eucariotas	La mayoría de bacterias
<b>Arqueobacterias</b>	Procariota **	Química celular distintiva	Metanógenos, halófilos, termacidófilos

\*: Contienen un núcleo definido. \*\*: No contienen membrana nuclear

Fuente: Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados

<sup>15</sup> MARÍN OCAMPO, Armando; OSÉS PERÉZ, Manuel;. 2013. *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados*. Jalisco : Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013. p. 7



### 5.1.3. Parámetros y calidad de las aguas residuales:

Las aguas residuales deben caracterizarse por sus parámetros tanto físicos, químicos y biológicos.

Tabla 5 Características físicas del agua.

<b>Característica físicas</b>	
<b>Temperatura</b>	La temperatura en aguas residuales normalmente es mayor debido al calor específico del agua natural y el aire, por lo tanto esta solo debe ser menor en épocas de intenso verano
<b>pH</b>	Este determina un valor característico relacionado con el nivel de acidez de la solución analizada. Lo más común para los casos de aguas residuales es que se realice por medio de un potenciómetro
<b>Materia Flotante</b>	Este material es todo aquel que quede atrapado entre la malla de aberturas de 2.8 mm y 3.3 mm
<b>Sólidos Totales</b>	Se refiere a todo aquel materiales que queda depositado en un contenedor después de haber evaporado una muestra de agua y posterior secado en una estufa de temperatura fija. Estos están compuestos por los sólidos suspendidos menores a 2.8 mm y los sólidos disueltos
<b>Sólidos sedimentables</b>	Estos son los sólidos que se sedimentan después de dejar en reposo el agua por una hora. Estos son los responsables de la turbiedad en el agua. Los cuerpos acuosos que presente una gran cantidad de sólidos sedimentables no pueden ser usados directamente por industrias o plantas potabilizadoras.
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	“Son sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica, suspensión y/o coloidal que son retenidos en el elemento filtrante” (1). Estos sólidos corresponden a la porción de sólidos retenidos en un filtro de fibra de vidrio y secados a 103°C.
<b>Sólidos Disueltos Totales</b>	Los sólidos disueltos que no son retenidos en el material filtrante anteriormente descrito se encasillan en esta característica.
<b>Sólidos suspendidos volátiles</b>	Se consideran sólidos volátiles a aquella materia orgánica e inorgánica que es capaz de incinerarse y convertirse en CO <sub>2</sub> a 550°C entre 15 y 20 minutos.

Fuente: Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados

Tabla 6 Características químicas del agua.

<b>Característica químicas</b>	
<b>Demanda bioquímica de oxígeno</b>	En este parámetro se mide la materia orgánica biodegradable y la cantidad de oxígeno necesaria para descomponerse.
<b>Demanda química de oxígeno</b>	En esta se estima la materia susceptible a la oxidación.
<b>Nitrógeno Total</b>	Es la suma del nitrógeno amoniacal y orgánico contenido en el cuerpo acuoso
<b>Fósforo Total</b>	El fósforo se encuentra en forma de fosfatos en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Este es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos, por lo mismo es necesario de este para el crecimiento de macro y microorganismos fotosintéticos nocivos
<b>Arsénico</b>	La explosión al arenisco puede causar consecuencias nocivas para el ser humano, estas dependiendo de la cantidad a la que se haya expuesto
<b>Cadmio</b>	Este elemento puede provocar en el ser humano lesiones renales, y se relaciona en gran medida con el cáncer de próstata
<b>Cianuro</b>	El cianuro puede presentarse en forma de venenos de alta velocidad y se encuentra en el agua por medio de descargas de extracción mineral
<b>Zinc</b>	El zinc puede causar pérdida del apetito, pérdida de los sentidos del gusto y olfato y la aparición de pequeñas llagas y erupciones en la piel
<b>Mercurio</b>	El consumo de mercurio provoca fallas renales, y presentado como vapor corroe las membranas del organismo y provoca envenenamiento progresivo
<b>Níquel</b>	El consumo de agua con presencia de níquel puede producir dolores de estómago y alteraciones sanguíneas. Sus vapores pueden ser cancerígenos en pulmón, nariz, laringe y próstata
<b>Plomo</b>	Los síntomas que incurren a la exposición al plomo provoca cólicos, pigmentación en la piel, y parálisis
<b>Bario</b>	La exposición a altas cantidades de este elemento puede causar alzas en la presión arterial, parálisis y en algunos casos puede resultar mortal
<b>Sílice</b>	Puede tener efectos crónicos nocivos en la respiración
<b>Cloruros</b>	El alto contenido de cloruro en el agua puede corroer las tuberías y estructuras de edificaciones
<b>Azufre</b>	Puede causar alteración en la circulación sanguínea, daños cardiacos, efecto en la vista y fallos reproductores entre otros

Fuente: Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados

Tabla 7 Características químicas del agua Características biológicas del agua

Característica biológicas	
<b>Huevos de helminto</b>	Grupo de microorganismos compuestos por nemátodos, tremátodos, y cestodos. Representan un gran peligro patológico a los seres humanos ya que posee diversos estados infecciosos y son altamente persistentes en el agua contaminada. Puede producir cuadros gastrointestinales.
<b>Coliformes fecales</b>	Están conformados por los <i>Escherichia coli</i> y ciertas especies de <i>Klebsiella</i> y son capaces de fermentar la leche a 44.5°C.
<b>Coliformes fecales totales</b>	Comprende todos los bacilos Gram-negativos aerobios y anaerobios además de 4 géneros de bacterias los cuales son <i>Enterobacter</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Citrobacter</i> , <i>Klebsiella</i> . Son indicadores de presencia de materia fecal en el agua.

Fuente: Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados

#### 5.1.4. Parámetros y calidad de las aguas residuales

Dado lo anterior expuesto, la norma colombiana contemplada en la Resolución 0631 del 2015<sup>16</sup>, en su artículo 14 establece unos valores máximos fisicoquímicos de las aguas residuales para el sector de generación de energía eléctrica, sector en el cual se encuentra la Central Termoeléctrica TERMOPAIPA.

Tabla 8 Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no doméstica – ARnD de las actividades de servicio y otras actividades a cumplir.

Parámetro	Unidades	Generación de energía eléctrica
<b>Generales</b>		
<b>pH</b>	Unidades de pH	6.00 a 9.00
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	mg/L O <sub>2</sub>	200.00
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b>	mg/L O <sub>2</sub>	150.00
<b>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</b>	mg/L	100.00
<b>Sólidos Sedimentables (SSED)</b>	mg/L	5.00
<b>Grasas y Aceites</b>	mg/L	20.00
<b>Compuestos Semivolátiles Fenólicos</b>	mg/L	-

<sup>16</sup> Opc. COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE..., p. 23

<b>Fenoles</b>	mg/L	0.20
<b>Formaldehido</b>	mg/L	-
<b>Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)</b>	mg/L	Análisis y Reporte
<b>Hidrocarburos</b>		
<b>Hidrocarburos Totales (HTP)</b>	mg/L	10.00
<b>Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)</b>	mg/L	-
<b>BTEX (Benceno, Tolueno, Etibenceno y Xileno)</b>	mg/L	-
<b>Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)</b>	mg/L	-
<b>Compuestos de Fósforo</b>		
<b>Ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub>)</b>	mg/L	-
<b>Fósforo total (P)</b>	mg/L	Análisis y Reporte
<b>Compuestos de Nitrógenos</b>		
<b>Nitratos (N-NO<sub>3</sub>)</b>	mg/L	-
<b>Nitritos (N-NO<sub>2</sub>)</b>	mg/L	-
<b>Nitrógeno Amoniacal (N-NH<sub>3</sub>)</b>	mg/L	-
<b>Nitrógeno total (N)</b>	mg/L	Análisis y Reporte
<b>Iones</b>		
<b>Cianuro total (CN<sup>-</sup>)</b>	mg/L	-
<b>Cloruros (Cl<sup>-</sup>)</b>	mg/L	250.00
<b>Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	mg/L	250.00
<b>Sulfuros (S<sup>2-</sup>)</b>	mg/L	-
<b>Metales y Metaloides</b>		
<b>Aluminio (Al)</b>	mg/L	-
<b>Arsénico (As)</b>	mg/L	0.50
<b>Bario (Ba)</b>	mg/L	-
<b>Berilio (Be)</b>	mg/L	-

<b>Boro (B)</b>	mg/L	-
<b>Cadmio (Cd)</b>	mg/L	0.10
<b>Cinc (Zn)</b>	mg/L	3.00
<b>Cobalto (Co)</b>	mg/L	-
<b>Cobre (Cu)</b>	mg/L	1.00
<b>Cromo (Cr)</b>	mg/L	0.50
<b>Estaño (Sn)</b>	mg/L	-
<b>Hierro (Fe)</b>	mg/L	1.00
<b>Litio (Li)</b>	mg/L	-
<b>Manganeso (Mn)</b>	mg/L	-
<b>Mercurio (Hg)</b>	mg/L	0.005
<b>Molibdeno (Mo)</b>	mg/L	-
<b>Níquel (Ni)</b>	mg/L	0.50
<b>Plata (Ag)</b>	mg/L	-
<b>Plomo (Pb)</b>	mg/L	0.50
<b>Selenio (Se)</b>	mg/L	-
<b>Vanadio (Va)</b>	mg/L	-
<b>Otros parámetros para análisis y reporte</b>		
<b>Acidez total</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte
<b>Alcalinidad Total</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte
<b>Dureza cálcica</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte
<b>Dureza total</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte
<b>Color real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)</b>	m <sup>-1</sup>	Análisis y Reporte

*Fuente: Resolución 0631 de 2015*

## 5.2. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Una planta de tratamiento de aguas residuales hace referencia a un conjunto de estructuras destinadas a remover y eliminar total o parcialmente los contaminantes en cuerpos acuosos. Estas pueden utilizar una gama de procesos tanto físicos como químicos dependiendo de las necesidades de la zona o necesidad del agua a tratar.

La profesora Kelly Reynolds de la universidad de Arizona expone que *“solamente 10% de las aguas de alcantarillado recolectadas en Latinoamérica son sujetas a cualquier tipo de tratamiento. Además continúan las dudas acerca del modo apropiado de operar las plantas de tratamiento existentes”*.<sup>17</sup>

En este mismo artículo se mencionan los pasos básicos para el tratamiento de aguas residuales que consisten en:

- **Pretratamiento**, que alude a la remoción física de desechos de gran tamaño.
- **Disposición primaria**, trata de la sedimentación de partículas sólidas por gravedad.
- **Tratamiento secundario**, uso de lodos activos o filtros de goteo para la gestión biológica por parte de microorganismos.
- **Tratamiento terciario**, en este caso se trata del tratamiento químico ya sea precipitación o desinfección por ejemplo.

### 5.2.1. Fases

#### 5.2.1.1. Pretratamiento

El objeto de esta fase es la remoción de elementos contaminantes de considerable tamaño, esto para proteger las posteriores etapas de posibles complicaciones por trabas a causa de estancamientos o trabas en las máquinas necesarias.

---

<sup>17</sup> REYNOLDS, Kelly A *Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica*. 5, Tucson, Arizona: Agua Latinoamérica, 2002, De la Llave, Vol. 2. p.2

Como primer paso de esta fase de debe realizar una **separación de sólidos grandes** en un pozo de gruesos, que debe ubicarse en la entrada del colector de la planta. Consiste en una “Reja de muy gruesos” compuesta de una serie de vigas de acero dispuestas de manera vertical que impide la entrada de material muy grueso que pueda obstruir la entrada de la planta.

Luego, se pasa al **desbaste**, en donde se pasa el agua por 3 rejillas que están conformadas por barrotes de acero separados a distintas distancias. La primera rejilla tiene una separación de 50 a 100 mm, la segunda cuenta con separaciones de 10 a 25 mm y por último una rejilla muy fina con separaciones entre los 6 y los 12 mm.

Como paso a seguir se procede a un **cribado**, que consiste en la separación por medio de coladeras del material suspendido de tamaños mayores a 25mm, con esto se busca proteger el equipo de bombeo, en ocasiones es recomendable usar un cribado menor o igual a 6 mm.

Para evitar el atascamiento en tuberías se usa un proceso de **tamizado**, en que se usan tamices de aberturas no mayores a 2.5 mm. Se recomienda ubicar dichos tamices de manera diagonal para permitir el flujo del agua y que se deslicen los desechos fuera del tamizado. Se pueden realizar macrotamizados en los cuales su enrejado es mínimo de 0.2 mm hasta 2.5 mm y se usa para retener sólidos en suspensión y residuos tanto vegetales como animales. También se puede usar el microtamizado en donde la malla es menor a 100 micras y estos se usan para remover suspensiones muy pequeñas como el Plancton.

Luego el agua pasa a un **desarenador**, *“el objeto de esta operación es eliminar aquellas partículas de granulometría superior a 200 micras”*<sup>18</sup>, en este se busca sedimentar estas partículas para que estas no lleguen a los canales de conducción.

---

<sup>18</sup> **MARÍN OCAMPO, Armando; OSÉS PERÉZ, Manuel;.** 2013. *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados.* Jalisco : Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013, 2013 p.92

A continuación se pasa al **desengrasado**, en el que se busca la eliminación de aceites, grasas y espumas que puedan afectar los procesos posteriores. Esto se hace mediante la inyección de aire para desemulsionar las grasas.

Seguido, el agua llega al **tanque de regulación**, en donde se disminuye las variaciones de caudal, ya que los caudales que ingresan a la planta de tratamiento nunca son constantes, donde oscilan entre caudales próximos 0 y caudales 4 veces mayores al caudal medio diario. Se busca que un reposos medio entre 4 y 8 horas se consiga estabilizar el caudal entrante.

Por último en esta fase se llega a la **preparación**, que con difusores y aereadores mecánicos, ya sean porosos o no porosos busca mejorar la tratabilidad del agua, controlar olores, mejorar la separación de grasas y favorecer la floculación de sólidos.

#### **5.2.1.2. Tratamiento primario**

El tratamiento primario más importante que recibe el agua después de la fase preliminar es la sedimentación que puede ser simple, en donde se busca que por meros efectos de la gravedad los sólidos en suspensión se depositen dentro del tanque, pero también se puede usar efectos secundarios como sustancias coagulantes y floculantes o con flotación del aire disuelto, para ilustrar mejor estos aspectos se cita la tabla 3.3-01 del libro Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados:



Tabla 9 Tipos de tratamiento primario.

Concepto	Tipo de tratamiento		
	Sedimentación Simple	Sedimentación con sustancias químicas	Flotación con aire disuelto (DAF)
<b>Sustancias añadidas</b>	Ninguna	Coagulantes y floculantes: Sulfato de amonio Cloruro férrico Polímeros catiónicos	Aire a alta presión  Coagulantes y floculantes
<b>Remoción de contaminantes</b>			
Sólidos suspendidos	40%-60%	70%-90%	70%-90%
Grasas y aceites	60%-80%	>90%	>90%
Materia orgánica (DBO <sub>5</sub> )	20%-40%	50%-60%	50%-60%
Fósforo	Despreciable	>90%	No hay datos
<b>Costos</b>			
Costos de inversión	Medios	Medios	Altos
Costos de operación	Bajos	Altos	Altos
<b>Usos principales</b>	Plantas medias y grandes	Plantas que no incluyen tratamiento secundario	Plantas con limitación de espacio  Presencia de material flotante

Fuente Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados

En cualquiera de los tres casos existen distintos tipos de tanques a usar, puede ser un tanque circular cuyo flujo es radial y cuenta con un brazo desnatador que tiene la función de retirar la espuma. El agua puede ser introducida por el centro o por la periferia, ambas configuraciones producen buenos resultados. También existe la opción del tanque rectangular en donde la espuma se retira usando unas rastas de lodo.

El tipo de tanque a usar depende del tamaño de la planta, se recomienda para plantas grandes el uso de tanques rectangulares y con paredes comunes para

reducir costos. En el caso de plantas pequeñas por la sencillez del dispositivo es recomendable usar taques circulares.

### 5.2.1.3. Tratamiento secundario

Este tratamiento se usa para eliminar todo residuo en el que la sedimentación no puede remover. La forma más habitual es el uso de un proceso biológico en que las bacterias aerobias pueden digerir el material orgánico. “Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activos”<sup>19</sup>. Luego se conduce el agua a tanque con sección cónica para realizar la decantación de los lodos. Estos son de naturaleza floculante y a concentración menor a 1000 mg/l, aunque la mayoría de reactores biológicos operan a concentraciones mayores a 1000 mg/l.

Los procesos de lodos activos se pueden caracterizar de la siguiente manera:

*Tabla 10 Características de procesos de lodos activados*

Proceso	Características	SSLM (mg/l)	TMRC	Observaciones
<b>Lodos activados completamente mezclados</b>	En cualquier parte del tanque de aereación, la cantidad de alimento, microorganismos y aire, debe ser igual	2500-4000	5-15	Se utiliza para aguas domésticas y es sensible a la entrada de altas concentraciones. La eficiencia en la remoción de le DBO está entre 85% y 90%
<b>Proceso por contacto estabilización</b>	El proceso de contacto por estabilización utiliza dos tanques para el tratamiento del agua residual y para la estabilización de los lodos activados	1000-3000 en el tanque de contacto 4000-10000 en el tanque de estabilización	5-15	El volumen del tanque de aeración es de 50% menos que en un proceso convencional. Esta variante puede ser una solución para plantas que estén sobrecargadas. La eficiencia en la remoción de la DBO está entre 80% y 90%

<sup>19</sup>Ibid. p.101

<b>Proceso por aereación en etapas</b>	El agua residual puede ser alimentada en diferentes puntos a lo largo del tanque de aereación	2000-3500	5-15	Uso general, las ventajas de este proceso son: una mejor compensación de la carga orgánica, bajo picos de demanda de oxígeno y un volumen del tanque de aereación más chico. La eficiencia en la remoción de la DBO está entre 85% y 95%
<b>Proceso de aereación extendida</b>	Teóricamente no hay producción de biomasa en exceso. En la práctica hay un aumento de material no degradable, el cual debe eliminarse periódicamente para evitar el aumento de sólidos en la concentración del efluente	3000-3600	20-30	Se aplica generalmente para flujos menores a 45LPS ya que se requieren tanques de aereación de grandes volúmenes. La eficiencia en la remoción de la DMO está entre 80% y 95%
<b>Proceso de alta tasa</b>	En este proceso hay una alta concentración de sólidos en el tanque de aereación y maneja altas cargas orgánicas	4000-10000	5-10	Este sistema se usa para uso general. La producción de lodos es alta. La eficiencia de remoción de la DBO está entre 60%-70%
<b>Proceso SBR</b>	El proceso SBR o reactor discontinuo secuencial, es un sistema que consta de un solo tanque en donde ocurren todas las etapas de un proceso por lodos activados, es decir, la aereación y la sedimentación se llevan a cabo en el mismo tanque	1500-5000	5-10	Proceso flexible para uso de aguas problemáticas de tipo industrial; para la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo; para flujos pequeños. La eficiencia de la remoción de la DBO está entre 60% y 75%

Fuente: Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados

#### 5.2.1.4. Tratamiento terciario:

El tratamiento terciario es el más completo que puede recibir cualquier agua residual, solo que este no ha sido muy bien adoptado por su elevado costo, técnicamente el agua que es tratada en este procedimiento casi no genera un desarrollo bacteriano notable. Puede usarse como un complemento al tratamiento biológico secundario.

El tratamiento terciario puede ser por **filtración de arena**, que remueve materia particulada, las formas más comunes de la filtración son:

- Filtración lenta por arena
- Filtración rápida por arenas
- Filtración a presión
- Filtración utilizando diatomeas

También se usa el proceso de **absorción**, que consiste en la captación de sustancias solubles presentes en el medio acuoso. Este proceso se realiza por medio del carbón activado, el cual puede eliminar la materia orgánica disuelta. La absorción por puede ser con:

- Tratamiento con carbón activado granular (CAG)
- Tratamiento con carbón activado en polvo (CAP)

Otro proceso en este tratamiento es la **coagulación – floculación**, la cual usa una serie de químicos que buscan la aglutinación de las partículas de sólidos suspendidos para que estos sean más pesados que el agua y puedan precipitarse.

Los químicos más usados para este tratamiento son:

- Sulfato de aluminio
- Cloruro férrico
- Sulfato Ferroso
- Sulfato Férrico
- Policloruro de Aluminio (PAC)

Sumado a la lista se encuentra el **intercambio iónico**, que comprende el intercambio de iones entre los sólidos suspendidos y una resina. Pueden ser resinas **catiónicas**, generalmente ácidas, fuertes o débiles, o resinas **aniónicas**, que son básicas débiles o fuertes.

## **6. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **6.1. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.**

Esta investigación es de enfoque cuantitativo tiene como principal herramienta la estadística, por medio de esta se puede hacer muestreos aleatorios que permitan identificar variables y cuantificar los datos, de tal forma que se pueda dar una confirmación a la hipótesis de la investigación, o por el contrario se parte de esta y encamine la misma hacia resultados concretos. Para tales efectos se requiere de mediciones controladas y determinantes en cuanto a los datos que se deben recolectar y se respalda con análisis completamente objetivos.

Por lo anterior, esta investigación se realizará sobre la toma de muestras aleatorias y representativas del cauce del río Jordán. La respectiva toma de datos se llevará a cabo con los correspondientes procesos y los cuidados adecuados para recolectar los especímenes requeridos antes y después de la descarga y tratamiento aplicado por la central termoeléctrica de Paipa.

Posteriormente, a los resultados obtenidos de laboratorio se realiza la respectiva verificación con un análisis objetivo, basado en estudios previos y normas que permitan obtener aceptabilidad o rechazo de los resultados, todo esto determinando el tipo de contaminantes que presenta el cuerpo de agua. De esta manera se podrá realizar una descripción de las condiciones del río y a partir de los análisis obtenidos dar un veredicto definitivo y presentar posibles soluciones al problema.

### **6.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.**

La investigación se desarrolla con el fin de realizar un análisis descriptivo, busca medir experimentalmente las variables que afectan la contaminación del cauce del Río Jordán debidas a la descarga de aguas residuales industriales que la central termoeléctrica de Paipa deposita a este. Se pretende analizar la incidencia de estas variables antes y después de la descarga, describir los diferentes aspectos y características que tiene dicho cauce en los dos puntos, todo esto con el objetivo de determinar si hay afectación o no debida a la presencia de la termoeléctrica, y a su

vez describir si las acciones están mitigando total o parcialmente la problemática de la contaminación del río.

Por lo anterior, dado que el enfoque de la investigación es cuantitativo, se tendrá como características la medición del fenómeno que se realizará a través de la toma de datos del cuerpo de agua, utilizará el análisis estadísticos, con pruebas de hipótesis y realizando un análisis de causa y efecto. El proceso con el cual se llevará a cabo el proyecto será inicialmente secuencial, luego de esto será deductivo, probatorio, y posteriormente se realizará un análisis objetivo de los resultados obtenidos.

De esta forma se permitirá una generalización de los resultados concreta, y así mismo control sobre la problemática y completamente aceptable precisión sobre los datos.

### **6.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA.**

Como la metodología de estudio es cuantitativa se busca realizar los siguientes ensayos de laboratorio<sup>20</sup>:

- Temperatura
- pH en el agua
- Demanda química de oxígeno.
- Determinación de calcio total
- Determinación de dureza total
- Determinación de acidez total
- Determinación de Sulfatos
- Determinación de alcalinidad Total
- Determinación de metales:
  - Hierro total

---

<sup>20</sup> **COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2015.** Resolución 631 (17 de marzo de 2015). *Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.* Diario Oficial. Bogotá, D. C. : s.n., 2015, 2015. p 23-25.

- Cromo
- Plomo

El proceso de muestreo se basará en el **INSTRUCTIVO PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES**, descrito por el IDEAM el 10 de septiembre de 2007, ver anexo 1.

#### 6.4. VARIABLES

*Tabla 11 Análisis de variables*

Nombre	Escala	Definición conceptual	Definición operativa	Categoría
General	Cuantitativa	Variables que se determinan con procesos físicos, son características del cuerpo de agua y algunas pueden ser determinadas en el sitio de la toma de muestras.	A través de la determinación de estas variables se encontrarán algunas características que ayudaran a determinar el estado del cuerpo de agua.	Temperatura
				pH
				DQO:Demanda Química y de oxígeno
				Sólidos suspendidos totales
				Sólidos Sedimentables
Iones	Cuantitativa	El contenido en sulfatos de las aguas naturales es muy variable y puede ir desde muy pocos miligramos por litro hasta cientos de miligramos por litros. Los sulfatos pueden tener su origen en que las aguas atraviesen terrenos ricos en yesos o a la contaminación con aguas residuales industriales.	Los sulfatos de sodio y de magnesio tienen un efecto purgante, especialmente entre los niños, se recomienda un límite superior en aguas potables de 250 mg/L de sulfatos. Por tanto es importante conocer las cantidades que presenta el cauce y que afectación pueden tener al ecosistema.	Sulfatos



Metales	Cuantitativa	Gran parte de los metales que son llamados pesados, son parte importante para la vida de algunos organismos, sin embargo al presentarse en cantidades excesivas en cuerpos de agua puede llegar a afectar el medio circundante.	Debido a la presencia de dichos metales los análisis realizados al cuerpo de agua determinaran si hay una afectación importante debida a la central termoeléctrica.	Hierro Total
				Cromo
				Plomo
Otros parámetros	Cuantitativa	Son variables que afectan de manera colateral al cuerpo de agua , aunque no generan una afectación directa en general se pueden presentar ciertas consecuencias en tuberías, canales o cualquier superficie en la que hagan contacto.	La determinación de dichas variables permitirá deducir la afectación que presenta el cuerpo de agua, debida a las aguas residuales industriales de la termoeléctrica.	Acidez Total
				Alcalinidad Total
				Dureza Cálctica
				Dureza Total

Fuente: Autores (2016)

## 6.5. ANALISIS DE RESULTADOS

Para la determinación de cada variable el laboratorio a utilizando diferentes técnicas de análisis que han permitido la obtención de los parámetros reales del cuerpo de agua, los cuales se compararán posteriormente para determinar si los están dentro de los límites máximos permisibles.

Las técnicas de análisis utilizados fueron los siguientes:

Tabla 12 Técnicas de análisis

Variable	Técnica de Análisis
Temperatura	Toma directa
Temperatura	Toma directa
pH	Electrométrico
DQO: Demanda Química y de oxígeno	Reflujo Abierto
Sólidos Sedimentables	Volumétrico. Cono Imhoff
Sólidos suspendidos totales	Gravimétrico - Secado a 105 ° C
Sulfatos	Turbidimétrico
Hierro Total	A.A. De Llama
Cromo	A.A. De Llama
Plomo	A.A. De Llama
Acidez Total	Titulometría
Alcalinidad Total	Titulometría
Dureza Cálcica	Titulometría - EDTA
Dureza Total	Volumétrico con EDTA

Fuente: Resultados dados por el laboratorio químico ANALQUIM LTDA.

A continuación se explicara cómo se realiza cada una de las técnicas de análisis.

#### 6.5.1. Toma directa (Temperatura):

Para el caso de la temperatura, se determinó en el momento en que se tomaron las muestras de agua directamente del cauce del río Jordán. Se realizó la medición en escala de grados Fahrenheit y después por método aritmético se calculó el valor correspondiente a su escala en Celsius.

#### 6.5.2. Electrométrico (pH):

El principio básico para la medición electrométrica del pH se fundamenta en el registro potenciométrico de la actividad de los iones hidrógeno por el uso de un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia, o un electrodo combinado. La fuerza electromotriz (fem) producida por el sistema electroquímico varía linealmente con el pH y puede verificarse por la obtención de una gráfica de pH vs. fem para diferentes soluciones de pH conocido. El pH de la muestra se determina por

interpolación. Casi todos los aparatos usados hoy en día utilizan el electrodo de vidrio, en combinación con un electrodo de calomel, empleado como electrodo de referencia, para medir el pH. El potencial entre los electrodos es proporcional a la concentración de iones hidrógeno en solución. El sistema de electrodos se calibra siempre con soluciones de pH conocido. De acuerdo con el fabricante y el tipo de medidor de pH, cada aparato posee sus propias características e instrucciones de uso.<sup>21</sup>

El instrumento de medida del pH está constituido por un potenciómetro, un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia y un mecanismo compensador de temperatura; cuando se sumergen los electrodos en la solución problema se completa el circuito. Para trabajos de rutina usar instrumentos con exactitud y reproducibilidad de 0,1 unidades de pH en un rango de 0 a 14 y equipados con un compensador de temperatura Electrodo de referencia, consiste en una semicelda que provee un potencial de electrodo constante; los más comúnmente usados son electrodos de calomel y plata: cloruro de plata. Seguir las recomendaciones del fabricante para el uso y cuidado del electrodo de referencia. Llenar los electrodos no sellados con el electrolito correcto hasta el nivel debido y asegurarse de que la unión esté humedecida.

### **6.5.3. Reflujo abierto (DQO):**

Es un método utilizado para la determinación de la demanda química de oxígeno, que a su vez se utiliza para medir la contaminación por desechos domésticos e industriales. La demanda química de oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujo en solución fuertemente ácida (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) con un exceso conocido de dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) en presencia de sulfato de plata

---

<sup>21</sup> IDEAM. (2007). *pH EN AGUA POR ELECTROMETRIA*. Bogotá: SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL . Pag 2

(AgSO<sub>4</sub>) que actúa como agente catalizador, y de sulfato mercurico (HgSO<sub>4</sub>) adicionado para remover la interferencia de los cloruros. Después de la digestión, el remanente de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sin reducir se titula con sulfato ferroso de amonio; se usa como indicador de punto final el complejo ferroso de ortofenantrolina (ferroina). La materia orgánica oxidable se calcula en términos de oxígeno equivalente.

Para muestras de un origen específico, la DQO se puede relacionar empíricamente con la DBO, el carbono orgánico o la materia orgánica; la prueba se usa para controlar y monitorear después que se ha establecido la correlación.

El método es aplicable a muestras de aguas residuales domésticas e industriales que tengan DBO superiores a 50 mg O<sub>2</sub>/L. Para concentraciones más bajas, tales como muestras de aguas superficiales, se puede usar el método modificado para bajo nivel en un intervalo entre 5 y 50 mg O<sub>2</sub>/L. Cuando la concentración de cloruro en la muestra es mayor de 2 000 mg/L, se requiere el método modificado para las aguas salinas.<sup>22</sup>

#### **6.5.4. Método volumétrico – cono de imhoff (Sólidos sedimentables):**

Para cada muestra recogida mida los sólidos sedimentables. Llene el cono Imhoff a la marca de 1 L con una muestra bien mezclada. Deje sedimentar durante 45 minutos, agitar suavemente la muestra cerca de las paredes del cono con una varilla o por agitación, dejar reposar durante 15 minutos, leer y registrar el volumen de sólidos sedimentables en el formato como mililitros por litro. Si el material sedimentado contiene bolsas de líquido contenido entre las partículas grandes sedimentadas, estimar el volumen de éstas y restarlo del volumen de sólidos sedimentables. El límite práctico inferior de medición depende de la composición de la muestra y generalmente se encuentra en el rango de 0,1 a 1,0 mL/L. Donde exista una separación entre el material sedimentable y el flotante, no estimar el material flotante como materia sedimentable. Usualmente no se requiere de réplicas.<sup>23</sup>

---

<sup>22</sup> IDEAM. (1997). *DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO Método de Reflujo Abierto*. Bogotá: :Laboratorio de Química Ambiental Ideam. Pag 2

<sup>23</sup> IDEAM. (2007). *INSTRUCTIVO PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES*. Bogotá: IDEAM. Numeral 4.8 Pag 4

#### **6.5.5. Método gravimétrico – secado a 105°C (Sólidos totales):**

El método se aplica en este laboratorio para la matriz agua. Está validado para el intervalo de 4,5 a 20000 mg/L. Es un método gravimétrico que se basa en la retención de las partículas sólidas en un filtro de fibra de vidrio a través del cual se hace pasar una muestra homogénea; el residuo que queda retenido se seca a 103-105°C. El incremento en el peso del filtro representa la cantidad de sólidos suspendidos totales.

#### **6.5.6. Turbidimétrico (Turbiedad):**

Los métodos turbidimétricos de análisis tienen como fundamento la formación de partículas de pequeño tamaño que causan la dispersión de la luz cuando una fuente de radiación incide sobre dichas partículas.

El grado de dispersión de la luz (o turbidez de la solución) es proporcional al número de partículas que se encuentran a su paso, lo cual depende de la cantidad de análisis presente en la muestra. Para esto se toma un cierto volumen de muestra y se le agrega alguna sal que cause la formación de partículas de precipitado.

En el caso de determinación de sulfatos por el método turbidimétrico se agrega a un volumen de muestra, solución de cloruro de bario. El bario en presencia de sulfatos precipita como sulfato de bario  $BaSO_4$ , formando flóculos que causan un cierto grado de turbidez en la solución y este grado de turbidez es proporcional a la concentración de sulfatos presentes.

#### **6.5.7. Absorción atómica de llama:**

El análisis de absorción atómica se basa en que cada elemento tiene un número de electrones asociado con su núcleo. El estado normal y más estable de la configuración orbital de un átomo es conocido como el estado fundamental. Si se aplica energía a un átomo, la energía será absorbida y un electrón será promovido

a un estado menos estable conocido como estado excitado. Desde este estado inestable el átomo volverá a su estado fundamental, liberando energía luminosa.<sup>24</sup>

En el estado fundamental un átomo absorbe energía luminosa a una longitud de onda específica para pasar al estado excitado. Si el número de átomos en el paso de luz se incrementa, la cantidad de luz absorbida también se incrementa. Por la medición de la cantidad de luz absorbida, se puede hacer una determinación cuantitativa de la cantidad de analito. El uso de fuentes de luz especiales y una cuidadosa selección de las longitudes de onda permiten determinar elementos específicos.

La función de la llama consiste en convertir el aerosol de la muestra en un vapor atómico el cual luego puede absorber la luz de la fuente primaria (lámpara de cátodo hueco o lámpara de descarga de electrones).

#### **6.5.8. Titulometría (Alcalinidad)**

La alcalinidad del agua es su capacidad de neutralizar ácidos, y es la suma de todas las bases titulables; el valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final empleado. La alcalinidad es una medida de una propiedad agregada del agua y se puede interpretar en términos de sustancias específicas solo cuando se conoce la composición química de la muestra.

La alcalinidad de una muestra se determina mediante el volumen de un ácido estándar requerido para titular una porción a un pH seleccionado. La titulación se efectúa a temperatura ambiente con un pH metro o un titulador automático calibrados, o mediante indicadores coloreados. En este último caso, se debe preparar y titular un blanco del indicador.<sup>25</sup> La acides total se determina por el mismo método.

---

<sup>24</sup> IDEAM. (2004). *DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS TOTALES*. BOGOTÁ: SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA – GRUPO PROGRAMA DE FISICOQUÍMICA AMBIENTAL .

<sup>25</sup> IDEAM. (2005). *PSO DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD POR*. BOGOTÁ: PROGRAMA DE FISICOQUÍMICA AMBIENTAL. Pag 2

### 6.5.9. Volumétrico con edta

Este método es aplicable a aguas potables, superficiales, contaminadas y aguas residuales. El ácido **etilendiaminotetraacético** y sus sales de sodio (EDTA) forman un complejo de quelato soluble al añadirlo a las soluciones de algunos cationes metálicos. Cuando se añade EDTA al agua que contiene calcio y magnesio, aquél se combina primero con el calcio. De acuerdo con los criterios actuales, la dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato de calcio, en miligramos por litro.<sup>26</sup> La dureza cálcica es parte de la dureza total del agua, por tanto el método de determinación es el mismo.

---

<sup>26</sup> IDEAM. (2007). DUREZA TOTAL EN AGUA CON EDTA POR VOLUMETRÍA. BOGOTÁ: SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL. Pag 2

## 7. MARCO GEOGRAFICO

La Central Termoeléctrica TERMOPAIPA está ubicada en el kilómetro 5 de la ruta 55, vía Paipa-Tunja (departamento de Boyacá) y está conformada por un lote de terreno de 22 hectáreas. (Figura 4)

Figura 4 Ubicación geográfica Central Termoeléctrica de Paipa



Fuente: Google Earth.

“El Río Chicamocha toma su nombre a partir de la confluencia de dos de sus principales tributarios el Río La Vega que nace al occidente de Tunja y el Río Tuta el cual se origina en la zona de páramo al sur de los municipios de Toca y Siachoque, el cauce principal drena en dirección Nororiente con una longitud de 25 270 km y una red hidrográfica que sobrepasa los 1000 Kms”<sup>27</sup>

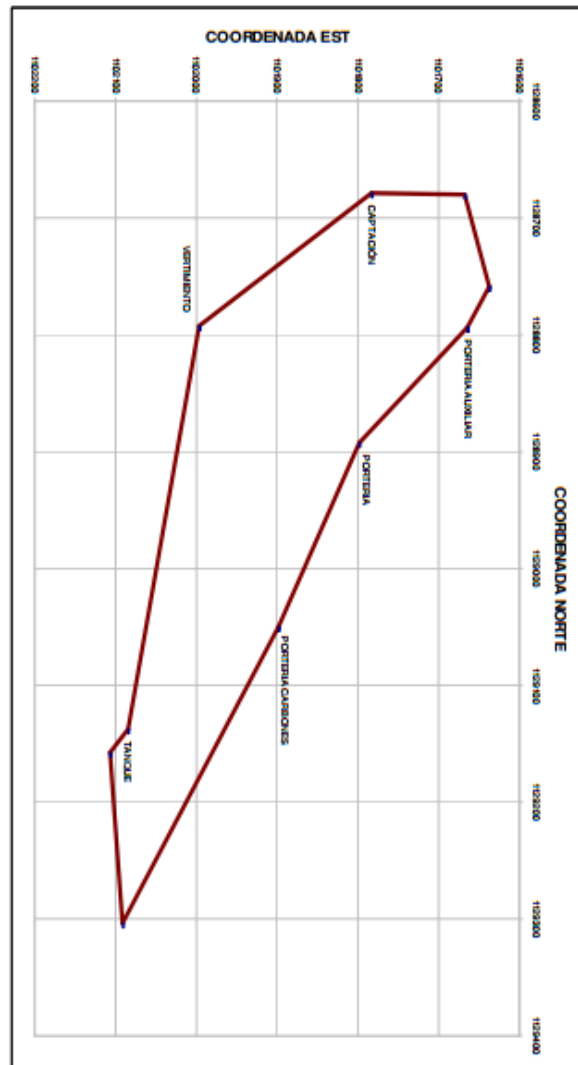
---

<sup>27</sup> **TORRES CRUZ, Martha Edith. 2009.** Propuesta para la gestión del uso y manejo del río la Vega de la ciudad de Tunja departamento de Boyacá. *Trabajo de grado para optar por el título Máster en Gestión Ambiental.* Bogotá : Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de estudios ambientales y rurales, 2009. P 24-25



En la tesis realizada en la Universidad Industrial de Santander en el año 2010<sup>28</sup> se muestra un levantamiento topografico de la Central Termoeléctrica TERMOPAIPA, en esta se muestran los siguientes datos:

Figura 5 Polígono aproximado de la planta Termopaipa IV



Fuente: Estudio uso racional del agua Termopaipa IV.

<sup>28</sup> **ORTÍZ CABRERA, Mario Germán y VEGA SÁNCHEZ, Iván Rodrigo. 2010.** Diseño del sistema de gestión de calidad basado en la norma ISO 9001:2008 para la operación y mantenimiento de la compañía eléctrica de Sochagota S.A. E.S.P.-termopaipa IV. *Monografía para optar al título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento.* Bucaramanga : Unicersidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, 2010. p.20-21

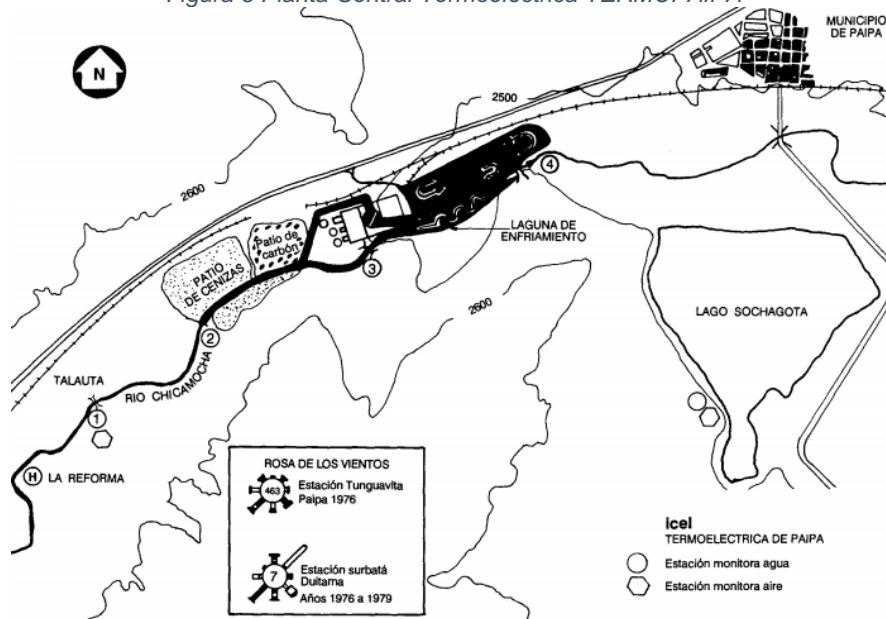
Tabla 13 Listado de coordenadas planta Termopaipa IV

Punto	Ubicación	Coordenadas Magna Sirgas origen Bogota	
		Norte	Este
1	Portería 7 (salida a canchas de futbol)	1128794.1	1101664.5
2	Punto 1 Cerramiento	1128759.1	1101637.5
3	Punto 2 Molinete (río Chicamocha)	1128680.1	1101668.5
4	Captación (río Chicamocha)	1128679.1	1101782.5
5	Vertimiento (río Chicamocha)	1128792.1	1101996.5
6	Punto 3 Tanque Tratamiento (patio de carbones)	1129137.0	1102085.5
7	Punto 4 Cerramiento	1129158.0	1102107.5
8	Punto 5 Cerramiento	1129304.0	1102091.5
9	Portería (ingreso a patio de carbones)	1129050.0	1101897.5
10	Portería 1 (entrada principal)	1128893.1	1101798.5

Fuente: Estudio uso racional del agua Termopaipa IV.

A continuación se muestra la estructura general en planta de la Central Termoeléctrica TERMOPAIPA<sup>29</sup>

Figura 6 Planta Central Termoeléctrica TERMOPAIPA



Fuente: Diagnóstico ambiental preliminar de la Central Termoeléctrica de Paipa

<sup>29</sup>MARTINEZ MORA, Carlos Magno. 1987. Diagnóstico ambiental preliminar de la Central Termoeléctrica de Paipa. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magister Scientiae en ingeniería ambiental. Bogotá D. C. : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, 1987.

## 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 8.1. RESULTADOS

Una vez tomadas las muestras de agua en el cauce objeto de análisis, estas son llevadas las muestras al laboratorio de Analquim LTDA. Diez días hábiles después entregan dos remisiones de resultados que contienen los datos del cuerpo de agua aguas arriba y aguas abajo, es decir antes y después de la central termoeléctrica de Paipa. A continuación se muestra una tabla con los resultados para análisis:

*Tabla 14 Reporte de resultados\**

Variable	Unidad	Aguas arriba	Aguas abajo	Diferencia	Parámetros aceptables	Cumple/no cumple
Temperatura	° F	62	82	20	104	Verificar
Temperatura	° C	16.6667	27.7778	11.1111	40	Verificar
pH	Unidades	7.17	7.03	-0.14	6 a 9	Cumple
<b>DQO: Demanda Química y de oxígeno</b>	mg/L O <sub>2</sub>	33	29	-4	200	Cumple
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	mg/L	14	44	30	100	Cumple
<b>Sólidos Sedimentables</b>	ml/L	0.1	<0.1	0	5	Cumple
<b>Sulfatos</b>	mg/L SO <sub>4</sub>	<5.0	<5.0	0	250	Cumple
<b>Hierro Total</b>	mg/L Fe	1.67	1.44	-0.23	1	No Cumple
<b>Cromo</b>	mg/L Cr	<0.05	<0.05	0	0.5	Cumple
<b>Plomo</b>	mg/L Pb	<0.02	<0.02	0	0.5	Cumple
<b>Acidez Total</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	5	3	-2	Análisis Y reporte	Cumple
<b>Alcalinidad Total</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	59	23	-36	Análisis Y reporte	Verificar
<b>Dureza Cálcica</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	21	22	1	Análisis Y reporte	Cumple
<b>Dureza Total</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	28	31	3	Análisis Y reporte	Cumple

*Fuente: Autores (2016). Resultados dados por el laboratorio químico ANALQUIM LTDA.*

Para reporte de resultados original ver Anexo 2.

## 8.2. ANÁLISIS:

Realizando una comparación entre los datos obtenidos por el reporte de laboratorio y los máximos permitidos por la Resolución 631 del 17 de marzo de 2015<sup>30</sup> en sus Artículos 5 y 14, obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 15 Comparativos aguas arriba y aguas abajo entre los parámetros obtenidos y los máximos permitidos.

Variable	Unidad	Aguas arriba	Aguas abajo	Parámetros aceptables
Temperatura	° F	62.00	82.00	104.00
Temperatura	° C	16.67	27.78	40.00
pH	Unidades	7.17	7.03	6 a 9
DQO: Demanda Química y de oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	33.00	29.00	200.00
Sólidos suspendidos totales	mg/L	14.00	44.00	100.00
Sólidos Sedimentables	ml/L	0.10	<0.1	5.00
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub>	<5.0	<5.0	250.00
Hierro Total	mg/L Fe	1.67	1.44	1.00
Cromo	mg/L Cr	<0.05	<0.05	0.50
Plomo	mg/L Pb	<0.02	<0.02	0.50
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	5.00	3.00	Análisis Y reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	59.00	23.00	Análisis Y reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	21.00	22.00	Análisis Y reporte
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	28.00	31.00	Análisis Y reporte

Fuente: Autores (2016).

<sup>30</sup> COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2015. Resolución 631 (17 de marzo de 2015). Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D. C. : s.n., 2015, 2015. p 3, p. 23

### 8.2.1. Temperatura

Según el artículo 5: Del parámetro de temperatura y la zona de mezcla térmica, se encuentra que en los vertimientos puntuales de aguas residuales a un cuerpo de agua se tendrá como límite máximo permisible un valor de 40.00 °C. Este parámetro se tiene en cuenta solo para el punto de mezcla térmica, por tanto se deben cumplir otros parámetros que el mismo artículo determina.

Para el caso de las centrales termoeléctricas deben presentar ante la autoridad ambiental las diferencias de temperatura en la zona de mezcla térmica y deben mostrar lo que determina los cambios fisicoquímicos e hidrobiológicos del cuerpo receptor longitudinal y transversalmente y tomando como base de referencia las condiciones del cauce antes del vertimiento de la central termoeléctrica.

De esta forma, la autoridad ambiental indicará la diferencia máxima de temperatura a una distancia de 100 m de la mezcla térmica y la distancia máxima a la cual se tendrá una diferencia de temperatura menor o igual a 5.00 °C.

Dada la imposibilidad de obtención de datos de temperatura en el lugar de mezcla y la falta de datos correspondientes a las autoridades ambientales respecto a las distancias y diferencias de temperatura máximas para la central termoeléctrica de Paipa, se procede a realizar un análisis basados en los datos obtenidos en campo, antes y después de la presencia de la industria termoeléctrica (Tabla 15).

*Tabla 16 Temperatura aguas arriba y aguas abajo.*

Variable	Unidad	Aguas arriba	Aguas abajo
Temperatura	° F	62.00	82.00
Temperatura	° C	16.67	27.78

*Fuente: Autores (2016). Toma de muestras en campo.*

Con los parámetros obtenidos se puede observar que la diferencia de temperatura aguas arriba y aguas abajo es de 11,11 °C. Se debe tener en cuenta que los 16.67°C

determinados aguas arriba están aproximadamente a 2 km de distancia de la central termoeléctrica, mientras que los 27.78 °C se han medido a 440 m de las lagunas de oxidación de la central termoeléctrica.

Dado que la central debe cumplir con un máximo de 40 °C en la zona de mezcla, podría decirse que para el punto de toma aguas solo se presentó una reducción en temperatura de 12.22 °C, esto indica que para una distancia total de 450 m las temperaturas se mantienen altas, aun pasando por un proceso de enfriamiento a lo largo de las lagunas de oxidación. Esto implica una falencia en el proceso y una afectación en el ecosistema del afluente.

### 8.2.2. Parámetros generales

Los parámetros:

- **pH:** Disminuyó
- **DQO: Demanda Química de Oxígeno:** Disminuyó
- **Sólidos Suspendidos Totales:** Aumentó pero está dentro de los parámetros.
- **Sólidos Sedimentables:** Disminuyó.

Cumplen con los límites propuestos por el artículo 14 de la norma en su ítem de generación de energía eléctrica (Tabla 16).

Tabla 17 Parámetros generales

Variable	Unidad	Aguas arriba	Aguas abajo	Parámetros aceptables	Cumple/no cumple
<b>pH</b>	Unidades	7.17	7.03	6 a 9	Cumple
<b>DQO: Demanda Química y de oxígeno</b>	mg/L O <sub>2</sub>	33.00	29.00	200.00	Cumple
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	mg/L	14.00	44.00	100.00	Cumple
<b>Sólidos Sedimentables</b>	ml/L	0.10	<0.1	5.00	Cumple

Fuente: Autores (2016). Toma de muestras en campo

### 8.2.3. Iones:

La presencia de Iones Sulfato cumplen con los límites propuestos por el artículo 14 de la resolución 631 del 17 de marzo de 2005 en su ítem de generación de energía eléctrica (Tabla 17).

Tabla 18 Parámetros Iones

Variable	Unidad	Aguas arriba	Aguas abajo	Parámetros aceptables	Cumple/no cumple
Sulfatos	mg/L SO4	<5.0	<5.0	250.00	Cumple

Fuente: Autores (2016). Toma de muestras en campo

### 8.2.4. Metales

Dentro de los parámetros de los metales presentes en el cuerpo de agua, se encuentra que los valores de cromo y plomo se encuentran dentro de los límites permisibles estipulados por la norma.

Por otra parte, el nivel de hierro tanto antes como después de la central termoeléctrica presenta valores muy altos, por encima del límite permitido por la Resolución 631. A pesar que la presencia de hierro en el agua no tenga implicaciones graves para la salud debido a su posible uso, es importante que esta información sea clara en el momento de hacer uso de las aguas del afluente, para evitar daños en tuberías o canales por oxidación que posteriormente pueda generar obstrucciones y otros posibles daños (Tabla 18).

Tabla 19 Parámetros Metales

Variable	Unidad	Aguas arriba	Aguas abajo	Parámetros aceptables	Cumple/no cumple
Hierro Total	mg/L Fe	1.67	1.44	1.00	No Cumple
Cromo	mg/L Cr	<0.05	<0.05	0.50	Cumple
Plomo	mg/L Pb	<0.02	<0.02	0.50	Cumple

Fuente: Autores (2016). Toma de muestras en campo

### 8.2.5. Otros parámetros

Estos parámetros pueden no presentar afectaciones en el cuerpo de agua y no representan pérdidas estimables en su calidad. Dadas las características de cada ensayo se puede inferir:

La acidez del cauce ha disminuido aguas abajo debido posiblemente a la disminución presencia de los iones sulfato que al reaccionar con el hidrogeno forman  $H_2SO_4$  y posible presencia de nitritos y nitratos.

Por otra parte la Alcalinidad disminuye considerablemente debido a la presencia de metales pesados que reaccionan con los iones hidroxilo en el agua y generando hidróxidos insolubles, esto puede traer como consecuencia la disminución de carbono disponible en el cuerpo de agua, lo que impediría la generación de procesos fotosintéticos y de respiración celular de las algas, más aun cuando hay descargas industriales como en este caso. Sin embargo de las muestras tomadas se pueden apreciar valores dentro del rango de alcalinidad baja, dato que se puede corroborar en la tabla 20:

Tabla 20 Rango de alcalinidad

<b>RANGO</b>	<b>ALCALINIDAD (mg/L <math>CaCO_3</math>)</b>
<b>BAJA</b>	<b>&lt; 75</b>
<b>MEDIA</b>	<b>75 - 150</b>
<b>ALTA</b>	<b>&gt; 150</b>

Fuente: Rango de alcalinidad. (Kevern, 1989)

Este valor bajo en la alcalinidad total se presenta antes de la intervención de la central termoeléctrica, y al cruzar por esta y por las lagunas de oxidación el valor se disminuye más, paralelamente, debido a que la alcalinidad se encarga de neutralizar los ácidos presentes en el agua, su disminución afecta este proceso y junto con la dificultad en los procesos fotosintéticos puede desencadenar falencias a nivel de biodiversidad en el lecho de esta fuente hídrica.



En cuanto a la dureza cálcica y la dureza total, son parámetros que no generan afectación en el cuerpo de agua a un nivel de contaminación apreciable, sin embargo dependiendo de su uso pueden afectar tuberías, canales y demás estructuras hidráulicas al formar costras en sus bordes y paredes. En algunos casos las aguas duras tampoco permiten la formación de jabón por tanto dificulta las labores de lavado en lugares donde las aguas del afluente se utilicen como medio de limpieza (Tabla 19).

*Tabla 21 Otros Parámetros*

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Aguas arriba</b>	<b>Aguas abajo</b>	<b>Parámetros aceptables</b>
<b>Acidez Total</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	5.00	3.00	Análisis Y reporte
<b>Alcalinidad Total</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	59.00	23.00	Análisis Y reporte
<b>Dureza Cálcica</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	21.00	22.00	Análisis Y reporte
<b>Dureza Total</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	28.00	31.00	Análisis Y reporte

*Fuente: Autores (2016). Toma de muestras en campo*

## 9. DISCUSIÓN

En general, los resultados son favorables para la Central Termoeléctrica TERMOPAIPA, los niveles de contaminantes están sujetos a la norma, pero se encuentra la excepción, el aumento de temperatura de alrededor de 12°C y los niveles de hierro, que se encuentran en un orden de 0.44 mg/L por encima de los parámetros permitidos por la norma vigente. Por otra parte se tiene la disminución de la alcalinidad total que puede tener graves afectaciones al ecosistema acuático, y el parámetro de sólidos suspendidos totales que a pesar de estar en cumplimiento, tiene un aumento que puede tener incidencias en la calidad del cuerpo de agua

Se realizaron los estudios respectivos obteniendo los valores de los parámetros que permitieron el análisis de la calidad del agua antes y después de la Central Termoeléctrica TERMOPAIPA. Dentro estos, los resultados de laboratorio para las muestras recolectadas aguas arriba, presentaron los parámetros esperados para un cuerpo de agua como lo es el río Jordán. Sin embargo, aun cuando la mayoría están dentro de los límites admisibles para aguas residuales industriales aceptados por la Resolución 631 del 17 de marzo de 2015<sup>31</sup>, Artículo 14, el parámetro de hierro total arroja un valor superior al admitido por este. Pero al presentarse antes recibir la descarga de la central termoeléctrica implica que no se debe a la presencia de esta, y el tratamiento requerido no es responsabilidad de la compañía de energía.

Respecto a los resultados de laboratorio de las muestras aguas abajo, se encuentra que la mayor parte de los parámetros analizados cumplen con los límites máximos admisibles para aguas residuales industriales aceptados por la Resolución 631<sup>32</sup> del 17 de marzo de 2015, Artículo 14. A pesar de esto, se determina que el parámetro de temperatura muestra una alta diferencia respecto al presentado por las muestras tomadas aguas arriba. Teniendo en cuenta que la toma de muestras se realizó a

---

<sup>31</sup> **COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE.** Resolución 631 (17 de marzo de 2015). *Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.* Diario Oficial. Bogotá, D. C., 2015. p. 23

<sup>32</sup> **Ibid.** p. 23

cerca de 450 m de distancia de la central termoeléctrica, se puede deducir que hay una afectación causada por esta, que no logra ser mitigada por la presencia de las lagunas de oxidación, y por tal motivo se requiere de una revisión profundizada de los niveles de temperatura que presentan los puntos de mezcla de aguas en los que el cuerpo de agua recibe las descargas de agua residual del proceso de generación de energía termoeléctrica.

Ahondando un poco en el parámetro de hierro total, aunque no se considera el hierro nocivo en proporciones pequeñas para el consumo humano, se debe tener en cuenta que el margen aceptable permitido por la legislación colombiana es de 1.00 mg/L, por ende es de destacar que la central debe generar avisos informativos para la comunidad colindante en donde se especifique la presencia de estos niveles excesivos del contaminante. Se debe tener en cuenta además, que este parámetro se encuentra un valor menor al presentado por las muestras tomadas aguas arriba, pero aún está por encima de los parámetros aceptados. Esto muestra que el proceso realizado de lagunas de oxidación aunque ayuda a mitigar un poco el exceso en la presencia de Hierro, no genera un resultado aceptable y por tanto se debe realizar un proceso adecuado que permita mejorar el estado del cuerpo de agua.

Por otra parte, centrando el tema en el aumento de temperatura con respecto al antes y después de la central, hay que destacar que las mediciones aguas abajo se realizaron a aproximadamente 450 m después de la desembocadura de las lagunas de oxidación que se encuentran antes de la salida de aguas residuales de esta central. Es un signo de alerta para las autoridades ambientales ya que los aumentos bruscos pueden afectar el ecosistema submarino que hay en el río Jordán.

Aunque la posibilidad de disipadores de energía en la central es viable para la disminución de temperatura de las aguas residuales, lo apropiado es pensar en un tratamiento más fuerte que disminuya, aún más los contaminantes físicos y químicos, de esta manera contribuir con la recuperación del medio acuático.

Hablando en términos de impacto medioambiental la variación de esta temperatura puede tener grandes impactos en la flora y fauna del cuerpo acuoso donde se vierten las aguas residuales. Teniendo en cuenta que las comunidades agrícolas colindantes con el río son campesinos productores, que además de tomar el agua directamente del afluente sin ningún tipo de tratamiento previo, también pescan en el mismo y dentro de la inspección realizada en campo se observó que es usado como centro recreativo, se hace de vital importancia que se tomen medidas al respecto en un tema tan importante como es el uso del río Jordán como punto de vertimiento de aguas residuales en grandes industrias.

El estudio realizado al Río Jordán en el punto de descarga de aguas residuales de la Central Termoeléctrica TERMOPAIPA, se realizó con el fin de verificar los parámetros que afectan las aguas residuales por este tipo de industria energética. Dado que los estudios realizados están enfocados en la afectación de las aguas residuales industriales, los parámetros estudiados no incluyen análisis correspondientes a otros tipos de agentes contaminantes presentes en el cuerpo de agua, aun así aunque los parámetros estudiados en general cumplen con los límites determinados por la norma para las aguas residuales industriales, no se debe olvidar que es un río y que como tal no se puede permitir que se encuentre contaminado pues en algún punto podría ser fuente de agua potable para diferentes usos, de tal forma que su recuperación es vital y debe ser una alarma que provoque que las principales entidades estatales actúen para su tratamiento.

## 10. CONCLUSIONES

El estudio concluye que al evaluar los parámetros de calidad del río Jordán antes de ser utilizado por la central termoeléctrica se determina que la presencia de hierro está por encima de los niveles máximos aceptados para las aguas residuales industriales, lo que ayuda tener una perspectiva del nivel de afectación que presenta el cauce, agregando a esto que visualmente tiene un aspecto desagradable y los olores que se pueden calificar de la misma forma que se perciben en las cercanías del río, permite determinar que el cuerpo de agua ya se encuentra en un estado de contaminación alarmante, que implica ausencia total de cualquier tipo de tratamiento. Los desechos que recibe la fuente hídrica se deben a diferentes factores, es importante que las entidades encargadas realicen un análisis a profundidad que permita mitigar la problemática que afecta al río Jordán, y a su vez sea parte de la solución de la cuenca del río Chicamocha en general.

Al evaluar los parámetros de calidad del río Jordán después de la afectación de la termoeléctrica se determina que los niveles de hierro son menores que los encontrados antes de esta y los niveles de temperatura mayores, lo que se puede traducir en que el proceso de las lagunas de oxidación dispuestas por la central termoeléctrica están aportando a la reducción de algunos residuos producto de sus procesos de enfriamiento, pero no a la reducción de la temperatura, por tanto ambos parámetros se encuentran por encima del máximo permitido por la legislación, esto quiere decir que a Termo-Paipa le corresponde mejorar la disposición en cuanto al tratamiento de las aguas residuales, ya que pueden afectar de manera negativa las condiciones del ecosistema fluvial y corresponde a las entidades gubernamentales encargadas, generar los respectivos controles y estrategias que permitan adecuar los tratamientos e infraestructura adecuados que ayuden a contrarrestar la situación de contaminación y a generar un precedente para al mejoramiento de la calidad del cuerpo de agua del río Jordán.

La alcalinidad total es un parámetro importante en este análisis, pues se encuentra una disminución apreciable. Se debe tener en cuenta que el cuerpo de agua ya

viene con condiciones bajas de alcalinidad y que posteriormente al realizar su paso por los procesos de la central Termoeléctrica y por las lagunas de oxidación, se reduce a límites muy bajos, todo esto puede afectar notoriamente el ecosistema fluvial y si no tiene las atenciones adecuadas puede tener consecuencias irreversibles.

Los sólidos suspendidos totales después de la captación de la termoeléctrica presentan un aumento apreciable en comparación con su valor antes de esta. Pero a pesar que su valor esta dentro de los rangos aceptados por la normatividad, su presencia se puede traducir en problemas de color, olor, sabor, salud, virus y turbiedad entre otras, que requieren de mucho más tiempo para su sedimentación, y de tratamientos físicos y químicos específicos para su control, lo que implica que es un parámetro que no debe pasar desapercibido dentro de los análisis futuros que puedan realizarse al cuerpo de agua.

Es importante generar soluciones que permitan la mejora constante de la fuente hídrica, por lo tanto la implementación de una planta de tratamiento o más, ubicada después de las lagunas de oxidación, podría ayudar con la mitigación del riesgo ambiental que corre el río. Un trabajo conjunto entre la central termoeléctrica y las entidades gubernamentales correspondientes atraería resultados pronto y con una eficiencia tal que permita la mejora continua del estado fisicoquímico del cauce.

Este estudio permite visualizar no solo las condiciones del cuerpo de agua objeto de estudio, sino, también las de las fuentes hídricas alrededor del territorio nacional, que posiblemente presentan las mismas condiciones y que de la misma forma no han recibido la atención merecida, sin ir demasiado lejos, la misma cuenca del río Chicamocha se encuentra en un grave estado y posiblemente sin las acciones apropiadas para solucionar el tema, terminara llegando a una catástrofe ambiental.

Es importante mantener con insistencia las alertas sobre los cuerpos de agua en mal estado en todo el país, generar capacitaciones que empujen a la población a tener mayor conciencia sobre los vertimientos, sobre la importancia de las fuentes

hídricas para la vida no solo del ser humano, sino también de los ecosistemas y a su vez de las especies de flora y fauna que les conforman. Se debe mantener informadas a las autoridades ambientales para que hagan valer la legislación y den un empujón a la ejecución de proyectos de recuperación y acciones contra la contaminación de la red hidrológica nacional.

## **11.RECOMENDACIONES**

Teniendo en cuenta que el aspecto visual del cuerpo de agua sugiere un estado muy alto de contaminación, para estos se propone la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales que incluya los tratamientos primarios (sólidos en suspensión) y secundarios (agentes químicos), dispuesta después de las lagunas de oxidación para que acompañe el proceso realizado por éstas, de tal forma que permita mejorar el estado físico-químico del río.



## BIBLIOGRAFÍA

**COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE.**

**2002.** CONPES 3177 (15 de Julio de 2002). *Acciones Prioritarias y Lineamientos para la Formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales*. Diario Oficial Bogotá D. C. : s.n., 2002.

**COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE.**

**2015.** Resolución 631 (17 de marzo de 2015). *Por el cual se establecen los parametros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial. Bogotá, D. C. : s.n., 2015.

**CORTINA DOMINGUEZ, Carlos Fortino y MÁRQUEZ ORTIZ, Ricardo. 2008.**

Alternativa de tratamiento de aguas residuales de la industria textil. *Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil*. México D. F. : Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, 2008.

**IDEAM. 1997.** *DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO Método de Reflujo Abierto*. Bogotá : :Laboratorio de Química Ambiental Ideam, 1997.

—. **2004.** *DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS TOTALES*. BOGOTÁ : SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA – GRUPO PROGRAMA DE FISICOQUÍMICA AMBIENTAL , 2004.

—. **2007.** *DUREZA TOTAL EN AGUA CON EDTA POR VOLUMETRÍA*. BOGOTÁ : SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL, 2007.

—. **2007.** *INSTRUCTIVO PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES*. Bogotá : IDEAM, 2007.

—. **2007.** *pH EN AGUA POR ELECTROMETRIA*. Bogotá : SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL , 2007.

—. 2005. *PSO DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD POR*. BOGOTÁ : PROGRAMA DE FISCOQUÍMICA AMBIENTAL , 2005.

**MACA MILLÁN, Gloria Stefany. 2014.** Evaluación económica de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Guadalajara de Buga. *Trabajo de grado para optar por el título de economista*. Santiago de Cali : Universidad del Valle, 2014.

**MARÍN OCAMPO, Armando; OSÉS PERÉZ, Manuel;. 2013.** *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados*. Jalisco : Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013.

**MARTINEZ MORA, Carlos Magno. 1987.** Diagnóstico ambiental preliminar de la Central Termoeléctrica de Paipa. *Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magister Scientiae en ingeniería ambiental*. Bogotá D. C. : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, 1987.

**ORANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. 2003.** *Agua para todos Agua para la vida*. Paris : Ediciones Unesco, 2003.

**ORJUELA BRAVO, Marisol, y otros. 2011.** Implementación de un sistema integrado de tratamiento de aguas residuales como aporte para la descontaminación de la cuenca del río Chicamocha. *Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en ingeniería civil*. Bogotá D.C. : Universidad Militar Nueva Granada, 2011.

**ORTÍZ CABRERA, Mario Germán y VEGA SÁNCHEZ, Iván Rodrigo. 2010.** Diseño del sistema de gestión de calidad basado en la norma ISO 9001:2008 para la operación y mantenimiento de la compañía eléctrica de Sochagota S.A. E.S.P.- termopaipa IV. *Monografía para optar al título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento*. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, 2010.

**Redacción, EL TIEMPO. 2007.** El río Chicamocha es la alcantarilla de Tunja, Duitama y Sogamoso. *EL TIEMPO*. 19 de Noviembre de 2007, pág. (Internet).

**REYNOLDS, Kelly A. 2002.** *Tratamiento de aguas residuales en latinoamerica*. Tucson, Arizona : Agua Latinoamerica, 2002. Vol. 2.

**RODRIGUEZ FERNÁNDEZ , Antonio; LETÓN GARCÍA, Pedro; ROSAL GARCÍA , Roberto; DORADO VALIÑO, Miriam ; VILLAR FERNÁNDEZ, Susana; SANZ GARCÍA, Juana;. 2006.** *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid : Fundación para el conocimiento Madrid, 2006. M-30985-2006.

**SNOEYINK, Vernon L. y JENKINS, David. 2002.** *Química del agua*. México : LIMUSA, 2002. ISBN 968-18-1608-0.

**TORRES CRUZ, Martha Edith. 2009.** Propuesta para la gestión del uso y manejo del río la Vega de la ciudad de Tunja departamento de Boyacá. *Trabajo de grado para optar por el título Máster en Gestión Ambiental*. Bogotá : Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de estudios ambientales y rurales, 2009.

## **ANEXOS**

### **Anexo 1: Instructivo del IDEAM para toma de muestras de aguas residuales.**

Este método de toma de muestras, el cual es de vital importancia para que los resultados no varíen y permitan obtener los datos correctamente. Para tal efecto se hará referencia al INSTRUCTIVO PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES, documento del IDEAM en el cual se describen de manera clara los parámetros para la toma de muestras en aguas residuales y sus respectivos cuidados para mantenerlas intactas para su posterior estudio. A continuación se enumeran dichos parámetros según dicho instructivo<sup>33</sup>:

#### **PROPÓSITO**

El documento busca describir los requerimientos, instrucciones y cuidados que se deben tener en cuenta para la toma de muestras de aguas residuales industriales (ARI) o domésticas (ARD) para análisis en el Laboratorio.

#### **APLICABILIDAD**

El instructivo aplica para muestreo de aguas residuales provenientes de efluentes industriales, plantas de tratamiento, alcantarillados, entre otras; como parte de la prestación de servicios, convenios, contratos y solicitudes en general.

#### **REQUERIMIENTOS**

##### **PERSONAL**

Las actividades descritas a continuación deben ser realizadas por un profesional y/o técnico debidamente capacitado y avalado por el Laboratorio de Calidad Ambiental en la toma de muestras de agua, en la operación de sensores de campo y con conocimientos básicos en química.

##### **EQUIPOS Y MATERIALES**

La siguiente es una lista general de los implementos requeridos en el momento del muestreo:

- Geoposicionador (si se tiene).
- Altimetro (si se tiene).

---

<sup>33</sup> **IDEAM.** *INSTRUCTIVO PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES.* Bogotá : IDEAM, 2007.

- Equipos portátiles para mediciones de temperatura, pH y conductividad eléctrica.
- Muestreador (botella Van Dorn, Kemmerer o balde).
- Baldes plásticos de 10 L de capacidad, con llave, para la composición de muestras y medición de caudal cuando se requiera.
- Tubo plástico para homogenización de la muestra compuesta.
- Probeta plástica graduada de 1000 mL.
- Cronómetro.
- Neveras de icopor o poliuretano con suficientes bolsas de hielo para mantener una temperatura cercana a 4°C.
- Frasco lavador.
- Toalla de papel absorbente.
- Cinta pegante y de enmascarar.
- Bolsa pequeña para basura.
- Esfero (bolígrafo) y marcador de tinta indeleble.
- Tabla portapapeles.
- Guantes.
- Papel aluminio (cuando se requiera).
- Cono imhoff para análisis de sólidos sedimentables (cuando se requiera).
- Agua destilada. En su defecto utilizar agua embotellada o de bolsa.
- Preservantes para muestras: Ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), Ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), Hidróxido de sodio (NaOH) 6N, Acetato de Zinc 6N, Ácido clorhídrico concentrado (HCl) u otro cuando se requiera.
- Recipientes plásticos y de vidrio. Varía según requerimientos de análisis.
- Formato de captura de datos en campo TF0188 y TF0195 (si la visita resulta no efectiva)
- Bolsa plástica para guardar los formatos.
- Instructivos de calibración del pHmetro (TI0363) y conductímetro (TI0362), instructivo de muestreo de aguas superficiales (TI0207).
- Cuerda de nylon de 0.5 a 1 cm de diámetro de longitud suficiente para manipular los baldes en las cajas de inspección.
- Papel indicador universal, para verificación de pH de preservación.
- Barretón de hierro para levantar tapas de cajas de inspección.
- Documentos de identificación personal (carnet del IDEAM, de EPS y ARP).
- Formato de Notificación de presunto accidente de trabajo suministrado por la ARP.
- Overol o ropa de trabajo cómoda y que le brinde protección adecuada

- Gafas de seguridad
- Máscara respiradora con filtros para ácidos y vapores orgánicos
- Impermeable
- Botas de caucho

## PROCEDIMIENTO

Cuando vaya a realizar muestreo de calidad de aguas residuales siga las instrucciones descritas a continuación:

- Organice las botellas rotuladas, los reactivos, formatos e insumos listados en el numeral 3. para las unidades productivas que va a visitar.
- Cuando llegue al punto de muestreo, identifíquese y solicite la colaboración necesaria para efectuar el muestreo y saque todo el material correspondiente al sitio. Diligencie el formato TF0188 de captura de datos con la información de ubicación temporo–espacial (nombre de la empresa, fecha, hora), observaciones de los contadores de agua y energía (si aplica), suministro de servicios, etc. NOTA: Cuando el muestreo es realizado por la empresa o una entidad diferente de IDEAM NO se diligencia el formato TF0188 sino se acepta la remisión de muestras del cliente siempre que tenga toda la información básica requerida para la radicación de la muestra. Con ayuda del geoposicionador y del altímetro determine la latitud, longitud y altitud del sitio exacto de toma y regístrelos en el formato de captura de datos, en el numeral correspondiente. Como la toma de muestras se realizara en dos puntos, se deberá georreferenciar cada uno de ellos.
- Escriba con letra legible y con esfero el nombre del responsable del muestreo (pag 5 del formato).
- Calibre el pHmetro y conductímetro siguiendo los procedimientos descritos en los documentos TI0363 y TI0362, respectivamente. Diligencie los resultados de calibración de los equipos portátiles en el formato TF0020 disponible para cada equipo.
- Mida el caudal del efluente preferiblemente por el método volumétrico manual, empleando el cronómetro y uno de los baldes aforados. Purgue el balde.
- Coloque el balde bajo la descarga de tal manera que reciba todo el flujo; simultáneamente active el cronómetro. Tome un volumen de muestra entre 1 y 10 L, dependiendo de la velocidad de llenado, y mida el tiempo transcurrido desde el inicio hasta la finalización de la recolección de la descarga; siendo Q el caudal (en litros por segundo, L/s), V el volumen (en litros, L), y t el tiempo (en segundos, s), el caudal se calcula como  $Q = V / t$ , para ese instante de tiempo.

- Repita el proceso cuantas veces sea necesario para obtener una muestra compuesta en el periodo de tiempo establecido.
- Para cada alícuota recogida mida los sólidos sedimentables. Llene el cono Imhoff a la marca de 1 L con una muestra bien mezclada. Deje sedimentar durante 45 minutos, agitar suavemente la muestra cerca de las paredes del cono con una varilla o por agitación, dejar reposar durante 15 minutos, leer y registrar el volumen de sólidos sedimentables en el formato como mililitros por litro. Si el material sedimentado contiene bolsas de líquido contenido entre las partículas grandes sedimentadas, estimar el volumen de éstas y restarlo del volumen de sólidos sedimentables. El límite práctico inferior de medición depende de la composición de la muestra y generalmente se encuentra en el rango de 0,1 a 1,0 mL/L. Donde exista una separación entre el material sedimentable y el flotante, no estimar el material flotante como materia sedimentable. Usualmente no se requiere de réplicas.
- Mida los parámetros de campo, Introduzca los electrodos del pHmetro y conductímetro. Oprima la tecla MODE. Espere a que los valores en las pantallas de los equipos se estabilicen (el valor deja de titilar). Oprima la tecla READ. Cuando se estabilice la medición, registre los datos de pH, temperatura y conductividad eléctrica en la página 4 del formato TF0188.
- Lave los electrodos con abundante agua ya que los valores extremos que pueden presentar los efluentes industriales los deterioran más rápidamente.
- Componga una muestra desde 1 a 24 horas, según se haya establecido en el plan de muestreo.
- Obtenga la muestra compuesta mezclando en un balde con llave los volúmenes de cada porción necesarios según la siguiente fórmula:

$$V_i = \frac{V \times Q_i}{n \times Q_p}$$

Dónde:

$V_i$  = volumen de cada alícuota o porción de muestra,  $V$  = volumen total a componer (pueden ser 10 L),  $Q_i$  = caudal instantáneo de cada muestra,  $Q_p$  = caudal promedio durante el muestreo  $n$  = número de muestras tomadas.

- Una vez mezclados los volúmenes, homogenice el contenido del balde por agitación con un tubo plástico limpio y proceda al llenado de los recipientes.
- Registre en el formato de captura de datos en campo todas las observaciones a que haya lugar durante el muestreo y la integración de la muestra.

- Etiquete las botellas antes del llenado. Los rótulos cuentan con la información de los analitos y la preservación respectiva. Diligencie el nombre de la empresa o punto de vertimiento, fecha y responsable del muestreo.
- Cubra el rotulo con una cinta adhesiva transparente para evitar su deterioro.
- Tan pronto se ejecuta el muestreo, purgue todas las botellas con muestra y proceda a llenarlas, mientras homogeniza el contenido del balde por agitación constante con el tubo plástico (NO agite directamente con la mano ni por rotación del balde).
- Evite la inclusión de objetos flotantes y/o sumergidos. Extraiga la muestra del balde a través de la llave, nunca sumerja las botellas.
- Tome la muestra para análisis de coliformes (cuando aplique), aceites y grasas (cuando aplique) ubicando directamente la botella bajo el flujo del efluente, hasta completar el volumen necesario sin dejarla rebosar. Si se trata de un canal abierto, sumerja la botella y sáquela rápidamente, sin dejarla rebosar. Si es evidente una capa de grasa flotante, deje constancia de tal situación en el formato de captura de datos.
- Tome la muestra para análisis de sulfuros adicionando a la botella purgada el preservante (acetato de Zinc) y después de llenarla hasta cerca de la boca del recipiente, adicione el NaOH a  $\text{pH} > 13$  y continúe hasta llenado total sin dejar espacio de cabeza entre el nivel de líquido y la tapa.
- Preserve las muestras dependiendo del parámetro a analizar, según se relaciona en la tabla 1. Use un frasco gotero y añada cerca de 1 mL = 20 gotas del preservante adecuado por cada 500 mL de muestra.
- NOTA: en caso de muestras de lixiviados agregue el preservante a las botellas antes de llenarlas con muestra.
- Tape cada botella y agítela.
- Coloque las botellas dentro de la nevera y agregue hielo suficiente para refrigerar.
- Enjuague con agua destilada los baldes y todos los elementos utilizados en el muestreo.
- Coloque las botellas de un mismo sitio de muestreo dentro de la nevera en posición vertical y agregue hielo suficiente para refrigerar.
- Termine de diligenciar el formato TF0188 y envíelo junto con las muestras al laboratorio, preferiblemente el mismo día del muestreo.



Tabla 22 Requerimientos para conservación y almacenamiento de muestras de agua

Parámetro a analizar	Conservación	Máximo almacenamiento Recomendado/Regulatorio
<b>Alcalinidad total</b>	Refrigeración	24 h/14 d
<b>Cloruros</b>	No requiere	28 d
<b>Color</b>	Refrigeración	48 h/48 h
<b>Cianuro</b>	Adicionar NaOH a pH>12, refrigerar en oscuridad	24 h/14 d; 24 h si hay sulfuro presente
<b>Dureza</b>	Adicionar HNO <sub>3</sub> a pH>2	6 meses/6 meses
<b>Aceites y grasas</b>	Adicionar HCl a pH<2.0, refrigerar	28 d/28 d
<b>DBO</b>	Refrigeración	6 h/48 h
<b>DQO</b>	Analizar tan pronto sea posible, o adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2.0, refrigerar	7 d/28 d
<b>Conductividad eléctrica</b>	Refrigeración	28 d/28 d
<b>Metales en general</b>	Para Metales disueltos filtrar inmediatamente, adicionar HNO <sub>3</sub> a pH<2	6 meses/ 6 meses
<b>Cromo VI</b>	Refrigeración	24 h/24 h
<b>Mercurio</b>	Adicionar HNO <sub>3</sub> a pH<2, refrigerar	28 d/28 d
<b>Amonio</b>	Analizar tan pronto sea posible o adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2, refrigerar	7 d/28 d
<b>Nitrato</b>	Analizar tan pronto sea posible o refrigerar	48 h/48 h
<b>Nitrato + Nitrito</b>	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2, refrigerar	1-2 d/ 28 d
<b>Nitrito</b>	Analizar tan pronto sea posible o refrigerar	Ninguno/48 h
<b>Nitrógeno orgánico, Kjeldahl</b>	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2, refrigerar	7 d/ 28d
<b>Fenoles</b>	Refrigerar, adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2.0	Preferiblemente refrigerar durante el almacenamiento/28 d después de la extracción
<b>Grasas y aceites</b>	Adicionar HCl ó H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2.0, refrigerar	28 d/ 28 d
<b>Oxígeno disuelto, electrodo</b>	Analizar inmediatamente	0.25 h/0.25 h
<b>Oxígeno disuelto, winkler</b>	Analizar inmediatamente, puede retrasarse la titulación después de la acidificación	8 h/8 h
<b>pH</b>	Analizar inmediatamente	0.25 h/ 0.25h
<b>PO<sub>4</sub></b>	Para fósforo disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h/
<b>Fosforo total</b>	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2, refrigerar	28 d
<b>Salinidad</b>	Analizar inmediatamente	6 meses
<b>Sólidos</b>	Refrigeración	7 d/ 2-7 d
<b>Sulfatos</b>	Refrigeración	28 d/ 28 d
<b>Sulfuros</b>	Refrigerar, adicionar 4 gotas de Acetato de zinc 2N/100 mL muestra; adicionar NaOH a pH>9.0	28 d/ 7d
<b>Temperatura</b>	Analizar inmediatamente	0.25 h/0.25 h
<b>Turbidez</b>	Analizar el mismo día, guardar en oscuridad hasta 24 horas; refrigerar	24 h/48 h

Fuente: INSTRUCTIVO PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES

## Anexo 2: Tabla de resultados suministrada por ANALQUIM LTDA.



**ANALQUIM LTDA.**  
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y CALIDAD DEL AGUA



### INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO

CÓDIGO: 118376

PÁGINA: 1 de 1

SEÑOR(ES): **CRISTIAN CAMILO SANCHEZ ARENAS**  
 DIRECCIÓN: **DG 45 C SUR 16 23** TELÉFONO: 2053348  
 MUESTRA PROCEDENTE DE: **PAIPA** DEPARTAMENTO: **BOYACA**  
 LUGAR TOMA DE LA MUESTRA: **2. RIO JORDAN - AGUAS ABAJO**  
 PUNTO DE CAPTACIÓN: **AGUAS - ABAJO**  
 TIPO DE MUESTRA: **AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL**  
 FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA: **16-MAR-2016** HORA TOMA DE LA MUESTRA: **10:24 H**  
 FECHA RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: **22-MAR-2016**

#### RESULTADOS

ENSAYO	FEC-ANALISIS	TECNICA DE ANALISIS	REFERENCIA	RESULTADO
a. ACIDEZ TOTAL	23-MAR-2016	Titulometría	SM 2310 B	3 mg/L CaCO3
a. ALCALINIDAD TOTAL	23-MAR-2016	Titulometría	SM 2320 B	23 mg/L CaCO3
a. CROMO	30-MAR-2016	A.A de Llama	SM 3111 B	<0.05 mg/L Cr
a. D.Q.O	30-MAR-2016	Reflujo abierto	SM 5220 B	29 mg/L O2
a. DUREZA CÁLCICA	23-MAR-2016	Titulometría - EDTA	SM 3500 Ca-B	22 mg/L CaCO3
a. DUREZA TOTAL	23-MAR-2016	Volumétrica con EDTA	SM 2340 C	31 mg/L CaCO3
a. HIERRO	30-MAR-2016	A.A de Llama	SM 3111 B	1.44 mg/L Fe
a. PH	23-MAR-2016	Electrométrico	SM 4500 H-B	7.03 Unidades
a. PLOMO	30-MAR-2016	A.A de Llama	SM 3111 B	<0.02 mg/L Pb
a. SÓLIDOS SEDIMENTABLES	23-MAR-2016	Volumétrico - Con Imhoff	SM 2540 F	<0.1 ml/L
a. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	29-MAR-2016	Gravimétrico - Secado a 105°C	SM 2540 D	44 mg/L
a. SULFATOS	23-MAR-2016	Turbidimétrico	SM 4500-SO4 E	<5.0 mg/L SO4

No ANALISIS 12 --- FIN DEL REPORTE

OBSERVACIONES: Muestra puntual recolectada por el cliente.

Referencia (SM): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22d Edition, 2012.

a. Ensayo(s) de laboratorio acreditado(s) en Analquim Ltda. Resolución de acreditación N° 3379 del 20 de Noviembre de 2014. IDEAM

El presente documento no podrá ser reproducido total ni parcialmente y es válido únicamente si tiene el sello seco.

  
**Qca. MAGDA JULIETH CASTAÑO ANGEL**  
 DIRECTOR DE LABORATORIO

NOTA: Los resultados del presente informe hacen referencia únicamente a la muestra analizada.

Bogotá, 4-ABR-2016  
 FECHA DE EXPEDICIÓN

ANQ-PL-071-1 - Versión 2

El plazo límite para cualquier observación sobre los resultados de este informe, es de 5 días hábiles contados a partir de la fecha de expedición del mismo.



**ANALQUIM LTDA.**  
ANALISIS FISICOQUIMICOS Y CALIDAD DEL AIRE



**CÓDIGO: 118375**  
**PÁGINA: 1 de 1**

### INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO

SEÑOR(ES): **CRISTIAN CAMILO SANCHEZ ARENAS**  
DIRECCIÓN: **DG 45 C SUR 16 23** TELÉFONO: 3053348  
MUESTRA PROCEDENTE DE : **PAIPA** DEPARTAMENTO: BOYACA  
LUGAR TOMA DE LA MUESTRA: **1. RIO JORDAN - AGUAS ARRIBA**  
PUNTO DE CAPTACIÓN: **AGUAS - ARRIBA**  
TIPO DE MUESTRA : **AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL**  
FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA: **16-MAR-2016** HORA TOMA DE LA MUESTRA: 11:22 H  
FECHA RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: **23-MAR-2016**

#### RESULTADOS

ENSAYO	FEC-ANÁLISIS	TECNICA DE ANÁLISIS	REFERENCIA	RESULTADO
a. ACIDEZ TOTAL	23-MAR-2016	Titulometría	SM 2310 B	5 mg/L CaCO <sub>3</sub>
b. ALCALINIDAD TOTAL	23-MAR-2016	Titulometría	SM 2320 B	59 mg/L CaCO <sub>3</sub>
CROMO	30-MAR-2016	A.A de Llama	SM 3111 B	<0.05 mg/L Cr
a. D.Q.O	30-MAR-2016	Reflujo abierto	SM 5220 B	33 mg/L O <sub>2</sub>
DUREZA CÁLCICA	23-MAR-2016	Titulometría - EDTA	SM 3500 Ca-B	21 mg/L CaCO <sub>3</sub>
a. DUREZA TOTAL	23-MAR-2016	Volumétrico con EDTA	SM 2340 C	28 mg/L CaCO <sub>3</sub>
a. HIERRO	30-MAR-2016	A.A de Llama	SM 3111 B	1.67 mg/L Fe
a. PH	23-MAR-2016	Electrométrico	SM 4500 H-IB	7.17 Unidades
a. PLOMO	30-MAR-2016	A.A de Llama	SM 3111 B	<0.02 mg/L Pb
a. SÓLIDOS SEDIMENTABLES	23-MAR-2016	Volumétrico - Cono Imhoff	SM 2540 F	0.1 ml/L
a. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	29-MAR-2016	Gravimétrico - Secado a 105°C	SM 2540 D	14 mg/L
a. SULFATOS	23-MAR-2016	Turbidimétrico	SM 4500-SO4 E	<5.0 mg/L SO <sub>4</sub>

No ANALISIS 12 --- FIN DEL REPORTE

**OBSERVACIONES:** Muestra puntual recolectada por el cliente.  
Referencia (SM): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22d Edition. 2012.  
a. Ensayo(s) de laboratorio acreditado(s) en Analquim Ltda. Resolución de acreditación N° 3379 del 20 de Noviembre de 2014, IDEAM  
El presente documento no podrá ser reproducido total ni parcialmente y es válido únicamente si tiene el sello seco.

  
**Qca. MAGDA JULIETH CASTAÑO ANGEL**  
**DIRECTOR DE LABORATORIO**

**NOTA:** Los resultados del presente informe hacen referencia únicamente a la muestra analizada.

Bogotá, 4-ABR-2016

**FECHA DE EXPEDICIÓN**

ANQ-PL-071-1 - Versión 2

El plazo límite para cualquier observación sobre los resultados de este informe, es de 5 días hábiles contados a partir de la fecha de expedición del mismo.

### Anexo 3 Registro Fotográfico

*Figura 7 Central Termoeléctrica TERMOPAIPA Sochagota*



*Fuente: Autores (2016). Salida a campo 20 de Marzo de 2016*

*Figura 8 Carbón utilizado para generación de electricidad*



*Fuente: Autores (2016). Salida a campo 20 de Marzo de 2016*

*Figura 9 Lagunas de oxidación Central Termoeléctrica TERMOPAIPA Sochagota*



*Fuente: Autores (2016). Salida a campo 20 de Marzo de 2016*

*Figura 10 Central Termoeléctrica TERMOPAIPA GENSA*



*Fuente: Autores (2016). Salida a campo 20 de Marzo de 2016*

*Figura 11 Lagunas de oxidación Central Termoeléctrica TERMOPAIPA GENSA*



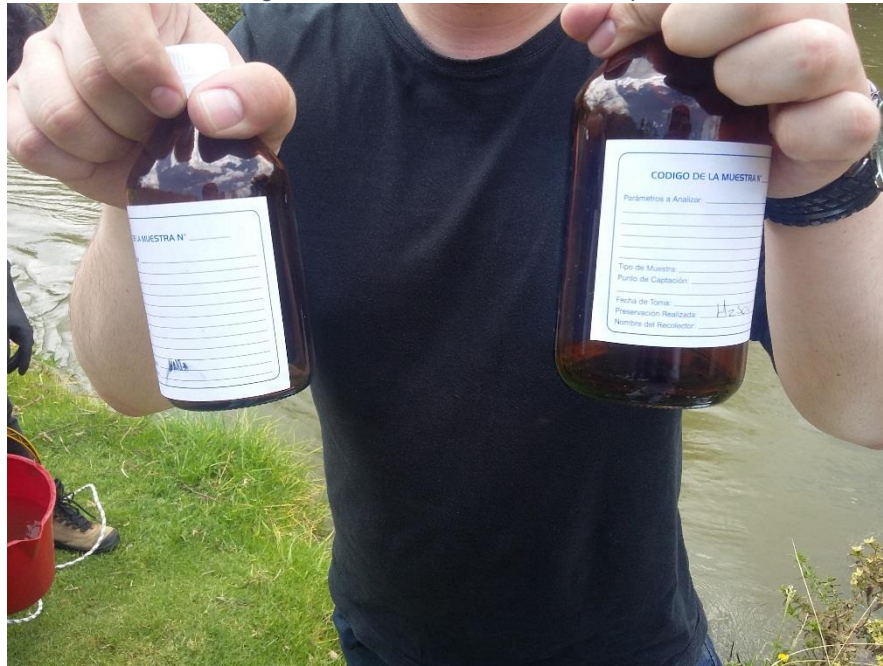
*Fuente: Autores (2016). Salida a campo 20 de Marzo de 2016*

*Figura 12 Salida de aguas residuales Central Termoeléctrica TERMOPAIPA*



*Fuente: Autores (2016). Salida a campo 20 de Marzo de 2016*

Figura 13 Muestras tomadas en campo



Fuente: Autores (2016). Salida a campo 20 de Marzo de 2016

Figura 14 Toma de temperatura del agua



Fuente: Autores (2016). Salida a campo 20 de Marzo de 2016