



**Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas  
Residuales no domesticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

Maria Camila Alzate Henao  
Maria Paula Ocampo García

Trabajo de grado para optar por el título de Administrador Ambiental y Sanitario

Asesor

José Jairo Barrera Valencia, Magister en riesgos laborales

Universidad de Antioquia  
Facultad Nacional de Salud Pública “Héctor Abad Gómez”  
Administración Ambiental y Sanitaria  
El Carmen de Viboral, Antioquia, Colombia

2024

<b>Cita</b>	Ocampo García y Alzate Henao (1)
<b>Referencia</b>	(1) Ocampo Garcia MP, Alzate Henao MA. Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A: [Trabajo de grado profesional]. El Carmen de Viboral, Colombia. Universidad de Antioquia; 2024.
<b>Estilo Vancouver/ICMJE (2018)</b>	



Biblioteca Seccional Oriente (El Carmen de Viboral)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

# Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

## Tabla de contenido

Resumen .....	7
Abstract.....	8
Introducción .....	9
1. Planteamiento del problema .....	11
2. Objetivos .....	15
2.1 Objetivo general.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3. Justificación.....	16
4. Marcos de referencia .....	19
4.1 Marco teórico .....	19
4.1.1 <i>Industria textil</i> .....	19
4.1.2 <i>Eficiencia</i> .....	20
4.1.3 <i>Recurso hídrico</i> .....	20
4.1.4 <i>Agua residual y vertimientos</i> .....	21
4.1.5 <i>Caracterización del agua, parámetros y valores máximos permisibles</i> .....	23
4.1.6 <i>Caracterización del agua y tipos de muestreo</i> .....	24
4.1.7 <i>Tratamiento de agua residual</i> .....	26
4.1.8 <i>Autoridades Ambientales competentes</i> .....	28
4.2 Marco territorial.....	29
4.2.1 <i>Localización y ubicación geográfica</i> .....	29
4.2.2 <i>Subregión del Oriente de Antioquia</i> .....	30
4.2.3 <i>Tintatex S.A (42)</i> .....	33
4.3 Marco legal y normativo .....	41
4.3.1 <i>Tratados y Declaraciones Internacionales</i> .....	41
4.3.2 <i>En Colombia</i> .....	41
5. Metodología .....	43
5.1 Criterios de inclusión .....	44
5.2 Criterios de exclusión .....	45
6. Abordaje ético .....	52
7. Aspectos administrativos .....	53
1.1 Factibilidad.....	53
7.1.1 <i>Factibilidad técnica</i> : .....	53
7.1.2 <i>Factibilidad financiera</i> .....	53
7.1.3 <i>Factibilidad legal</i> .....	54

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

7.1.4 Factibilidad ambiental.....	54
7.2 Viabilidad .....	54
7.2.1 Viabilidad técnica.....	54
7.2.2 Viabilidad financiera .....	55
7.2.3 Viabilidad ambiental .....	55
7.2.4 Viabilidad legal .....	55
7.2.5 Viabilidad social.....	56
7.3 Cronograma.....	56
7.4 Presupuesto.....	56
8. Proceso de recolección.....	57
9. Sistematización de la información .....	58
10. Resultados y análisis .....	59
10.1 Descripción del sistema anterior (Plantas Cimarrona) y análisis de sus resultados .....	59
10.2 Descripción del nuevo sistema de tratamiento de agua residual .....	61
10.3 Inicio operacional.....	66
10.4 Descripción, especificaciones y resultados de las caracterizaciones .....	70
11. Discusión.....	88
12. Conclusiones.....	92
13. Recomendaciones .....	95
Referencias Bibliográficas.....	97
Anexos.....	104

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Esquema tratamiento biológico .....	27
<b>Figura 2</b> Mapa Colombia - Antioquia .....	30
<b>Figura 3</b> Municipios de la subregión del Oriente de Antioquia (37). .....	31
<b>Figura 4</b> Cuencas Hídricas en el Oriente – Jurisdicción Cornare (40).....	32
<b>Figura 5</b> Histórico de reducción en consumos de agua por unidad de producción *** .....	38
<b>Figura 6.</b> Observación de microorganismos presentes en los lodos de los reactores .....	67
<b>Figura 7.</b> Resultados prueba con Cono Imhoff .....	68
<b>Figura 8.</b> Comportamiento de las variables DQO y DBO.....	85
<b>Figura 9.</b> Comportamiento de la variable de pH mínimo y máximo .....	86
<b>Figura 10.</b> Comportamiento de las variables Temperatura y Cloruros. ....	86
<b>Figura 11.</b> Dashboard técnico Tintatex.....	96

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Consolidado monitoreo de oferta y calidad de fuentes hídricas y bocatomas.....	13
<b>Tabla 2.</b> Valores límites máximos permisibles Artículo 13 de la Resolución 0631 del 2015 del Ministerio de Ambiente, de los parámetros base para determinar el funcionamiento del sistema en el inicio operacional.....	26
<b>Tabla 3.</b> Lista de chequeo para toma de muestras.....	47
<b>Tabla 4.</b> Bitácora visitas de campo .....	47
<b>Tabla 5.</b> Lista de chequeo para caracterizaciones .....	47
<b>Tabla 6.</b> Listado de variables.....	49
<b>Tabla 7.</b> Verificación de resultado de laboratorio.....	50
<b>Tabla 8.</b> Resultados pruebas de laboratorio .....	60
<b>Tabla 9.</b> Estructuras del sistema .....	61
<b>Tabla 10.</b> Bitácora para visitas de campo .....	64
<b>Tabla 11.</b> Información sobre las caracterizaciones.....	71
<b>Tabla 12.</b> Resultados pruebas de laboratorio 02/08/2023.....	72
<b>Tabla 13.</b> Resultados pruebas de laboratorio 30 y 31 /08/2023.....	73
<b>Tabla 14.</b> Resultados pruebas de laboratorio 25/10/2023.....	77
<b>Tabla 15.</b> Resultados pruebas de laboratorio 15/12/2023.....	79
<b>Tabla 16.</b> Resultados pruebas de laboratorio 13/02/2024.....	81
<b>Tabla 17.</b> Resultados pruebas de laboratorio 05/04/2024.....	82

## **Resumen**

El sector textil está catalogado como de "Alta Significación Ambiental ASA" según la clasificación creada por La Corporación para la Investigación Socioeconómica y Tecnológica de Colombia (CINSET), presentando su impacto negativo más significativo en los efluentes de sus procesos productivos. Con el fin de mejorar el tratamiento actual que le da a sus aguas residuales, fortalecer la relación con sus vecinos y aportar al desarrollo sostenible, la empresa textil Tintatex S.A. realizó grandes inversiones en la implementación de una planta de tratamiento con tecnología europea, la cual estará conformada por tres etapas: la primera consiste en oxidación total para repotenciación de la planta actual con procesos biológicos, la segunda en tecnología de nano- ultrafiltración para tratar cloruros y una etapa final con aplicación de Ozono para la remoción del color.

El presente trabajo fue desarrollado sobre la etapa de oxidación total, evaluando su eficiencia durante el periodo de inicio operacional y la estabilización de los sistemas de tratamiento de agua residual no doméstica implementados por la empresa Tintatex para cumplir con la calidad del vertimiento de acuerdo con el Artículo No 13 de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente, a través de un enfoque basado en la metodología del ciclo PHVA con el cual se establecieron las actividades de evaluación de la eficiencia de los sistemas, empleando las caracterizaciones como instrumento de verificación en el proceso de estabilización, las cuales permitieron concluir que un sistema biológico que incorpore un proceso de oxidación total, complementado con la adición de un coagulante-floculante orgánico después de los reactores biológicos, es una solución viable para el tratamiento de las aguas residuales del sector textil.

**Palabras claves:** Coagulación-floculación, agua textil, oxidación y eficiencia.

### **Abstract**

The textile sector is classified as "Alta Significación Ambiental (ASA)" according to the categorization created by La Corporación para la Investigación Socioeconómica y Tecnológica de Colombia (CINSET). The most significant negative impact of this sector is found in the effluents generated by its production processes. To address this issue, the textile company Tintatex S.A. made significant investments in implementing a treatment plant with European technology. This aims to improve current wastewater treatment, strengthen relationships with neighbors, and contribute to sustainable development. The aforementioned plant consists of three stages: the first involves total oxidation to enhance the current plant with biological processes; the second one uses nano-ultrafiltration technology to treat chlorides; and the final stage applies ozone for color removal.

El presente This work was developed on the total oxidation stage, evaluating its efficiency during the operational startup period and the stabilization of the non-domestic wastewater treatment systems implemented by Tintatex to comply with the discharge quality standards. All of the above in accordance with Article No. 13 of Resolution 0631 of 2015 from Ministerio de Ambiente. In this way, the evaluation activities of the systems' efficiency were established using a PHVA cycle-based methodology, employing characterizations as a verification tool in the stabilization process. The results led to the conclusion that a biological system incorporating a total oxidation process, complemented by the addition of an organic coagulant-flocculant after the biological reactors, is a viable solution for wastewater treatment in the textile sector.

**Keywords:** Coagulation-flocculation, textile water, oxidation and efficiency.

## **Introducción**

La industria textil es uno de los sectores económicos más dinámicos y antiguos, y es a su vez, uno de los más desafiantes en términos de sostenibilidad ambiental, esta industria enfrenta críticas severas debido a los efluentes generados durante sus procesos productivos. En particular, las aguas residuales no domésticas resultantes del teñido y acabado de telas contienen altos niveles de contaminantes, como cloruros, colorantes y compuestos orgánicos, que representan una amenaza significativa para los ecosistemas acuáticos y la salud pública.

Tintatex S.A., una empresa textil ubicada en el corredor industrial de la Autopista Medellín-Bogotá, ha operado durante 18 años con una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo convencional. Sin embargo, la entrada en vigor de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente, que establece límites máximos permisibles para el vertimiento de aguas residuales, ha expuesto la insuficiencia de su sistema actual, especialmente en la remoción de cloruros y en la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST).

Ante este desafío, Tintatex S.A. ha decidido invertir en la implementación de tecnologías europeas avanzadas para mejorar el tratamiento de sus aguas residuales. Estas tecnologías incluyen un sistema de oxidación total para la repotenciación de su planta actual con procesos biológicos, un sistema de nano-ultrafiltración para tratar cloruros y una etapa final de ozonización para la remoción de color. La presente investigación se enfoca en la evaluación de la eficiencia de la etapa de oxidación total durante el periodo de inicio operacional y la estabilización del sistema, con el objetivo de verificar el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos en la normativa vigente.

Este estudio es fundamental no solo para garantizar que Tintatex S.A. cumpla con las exigencias legales, sino también para contribuir a la sostenibilidad ambiental de la región y fortalecer la relación de la empresa con la comunidad

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

vecina. Al evaluar los sistemas de tratamiento implementados se determinará su eficacia en la mejora de la calidad de las aguas residuales vertidas, promoviendo así una gestión más responsable del recurso hídrico.

## **1. Planteamiento del problema**

La superficie de la tierra está compuesta en un 70% de agua que se distribuye en 97,5% como agua salada y solamente el 2,5% restante es agua dulce, sin embargo, el porcentaje de agua dulce utilizable por el ser humano se reduce ya que se encuentra congelada en formaciones como los glaciares y en agua subterránea a la que es difícil acceder, por lo cual queda un poco menos del 1% disponible para uso y consumo humano (1).

Por lo cual, el agua es uno de los recursos más importantes para la sobrevivencia del ser humano, no solo para satisfacer sus necesidades básicas, también ha tenido un lugar indispensable a lo largo de la historia, como en la revolución industrial, cuando este líquido vital se vio inmerso en un proceso de descubrimientos científicos a través de los cuales fue posible cambiarlo de estado físico, transformándolo en vapor para el funcionamiento de diversas máquinas desarrolladas en la época.

En consecuencia, se generó un incremento exponencial de la demanda de agua para usos agropecuarios a gran escala, industriales y municipales. En Colombia, por ejemplo, la mayor demanda de agua se presenta en las actividades agrícolas, con una representación del 54% de la demanda, un 29% para uso doméstico y un 13% correspondiente al uso industrial (2), y a pesar de ser un país rico en este recurso, se presentan síntomas de inseguridad hídrica, con una preocupante proyección de escasez y contaminación del agua (3).

Asimismo, una de las actividades económicas que presenta una elevada demanda de agua es la industria textil, que en el desarrollo de sus actividades genera gran contaminación al recurso a través de las diferentes materias primas utilizadas en los procesos de producción como el teñido y el acabado de las telas, las cuales necesitan principalmente sustancias químicas y sales, siendo este sector el responsable de contaminar la mayor cantidad de agua a nivel mundial después del sector de hidrocarburos (4) (5).

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

Igualmente, el sector textil hace parte de la cadena productiva más compleja, ya que, según la clasificación creada por La Corporación para la Investigación Socioeconómica y Tecnológica de Colombia (CINSET), lo catalogan como de "Alta Significación Ambiental ASA", presentando su impacto negativo más significativo en los efluentes líquidos, lo que representa una gran problemática debido a que esta industria manufacturera produce alrededor de 750.000 m<sup>2</sup> de productos textiles cada año en el país (6).

En Colombia existen dos centros textileros: Medellín y Bogotá, donde las tecnologías utilizadas para tratar las aguas residuales son de tipo convencional, sin tener en cuenta que se genera agua residual con contenido de fenoles, sulfuros, cromo y colorantes, siendo estos últimos los contaminantes más perceptibles por la generación de color en el agua y debido a su difícil degradación (6).

Tintatex S.A, empresa dedicada al acabado de las telas ubicada en todo el corredor industrial de la Autopista Medellín-Bogotá jurisdicción del municipio de Marinilla, no es ajena a la realidad anteriormente mencionada, la cual desde hace 18 años de operación ha contado con una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo convencional, que con el paso de los años y las exigencias establecidas a partir de la entrada en vigencia de la Resolución 0631 en el año 2015 se vió en la necesidad de buscar mejoras en su sistema.

A raíz del cambio en la normativa que establece límites máximos permisibles, y no solo porcentajes de remoción, incluyendo también un límite para el parámetro de cloruros, el cual es difícil de remover y anteriormente solo requería análisis y reporte, se determinó que la planta actual no cumpliría con este nuevo límite. Además, debido a las altas cargas de Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Suspendidos Totales, la eficiencia de remoción en comparación con los límites máximos exigidos por la nueva normatividad, serían insuficientes.

Además, la quebrada La Cimarrona es el punto del vertimiento de la empresa mencionada, la cual cuenta con un PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA, el cual fue ejecutado por Cornare en compañía de la

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

Universidad Nacional y demás actores importantes en este proceso. Mediante este plan se realiza el ordenamiento del efluente, y se encuentran caracterizaciones fisicoquímicas, índices de calidad y contaminación y demás información relevante para conocer a detalles dicha quebrada (7).

Con el fin de conocer los efectos que tienen las actividades de Tintatex en la quebrada La Cimarrona, es importante mencionar que aguas abajo del punto del vertimiento se tiene instalado una estación de monitoreo de parámetros como *Escherichia coli*, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Conductividad, pH y fósforo, por lo cual se cuenta con el reporte de los últimos tres años de estos parámetros el cual se aprecia en la tabla 1.

**Tabla 1.** Consolidado monitoreo de oferta y calidad de fuentes hídricas y bocatomas.

Año	Municipio	Nombre de la fuente hídrica y Estacion	Fuente superficial	Cuenca	Fecha Muestreo	Indices						Valor ICA	Descriptor ICA	
						% sat OD	E.Coli	SST	DBO5	Cond	pH			Fosforo
						0,30	0,18	0,15	0,17	0,12	0,08	0,00		
						0,26	0,18	0,15	0,15	0,08	0,06	0,12		
2019	Marinilla	ESTACION PUENTE VIA EL TRANVIA	Quebrada La Cimarrona	Rio Negro	25/02/2019	0,53	0,28	0,99	0,41	-0,36	1	0,50	0,49	MALO
2019	Marinilla	ESTACION PUENTE VIA EL TRANVIA	Quebrada La Cimarrona	Rio Negro	20/08/2019	0,47	0,43	0,99	0,55	-0,19	1	0,50	0,54	MEDIO
2019	Marinilla	ESTACION PUENTE VIA EL TRANVIA	Quebrada La Cimarrona	Rio Negro	25/11/2019	0,55	0,00	0,95	0,50	-0,19	1	0,50	0,47	MALO
2020	Marinilla	ESTACION PUENTE VIA EL TRANVIA	Quebrada La Cimarrona	Rio Negro	24/02/2020	0,57	1,00	0,98	0,32	-1,25	1	0,50	0,54	MEDIO
2020	Marinilla	ESTACION PUENTE VIA EL TRANVIA	Quebrada La Cimarrona	Rio Negro	24/08/2020	0,72	0,40	0,54	0,54	0,68	1	0,50	0,60	MEDIO
2020	Marinilla	ESTACION PUENTE VIA EL TRANVIA	Quebrada La Cimarrona	Rio Negro	23/11/2020	0,66	0,40	0,89	0,70	0,27	1	0,50	0,62	MEDIO
2021	Marinilla	ESTACION PUENTE VIA EL TRANVIA	Quebrada La Cimarrona	Rio Negro	1/02/2021	0,63	0,52	0,98	0,57	-0,18	1	0,50	0,60	MEDIO
2021	Marinilla	ESTACION PUENTE VIA EL TRANVIA	Quebrada La Cimarrona	Rio Negro	29/11/2021	0,65	0,31	0,94	1	0,47	0,91	0,50	0,67	MEDIO
2021	Marinilla	ESTACION PUENTE VIA EL TRANVIA	Quebrada La Cimarrona	Rio Negro	13/07/2021	0,84	0,40	0,90	0,31	0,67	1	0,50	0,64	MEDIO

*Nota \* Tabla tomada de: Cornare [Internet]. El Santuario. [Citado el 07 de abril de 2023] Disponible en: <https://www.cornare.gov.co/>.*

Con el fin de mejorar el tratamiento de sus aguas residuales, aportar un agua de calidad a la quebrada, mejorar la relación con sus vecinos y sobre todo contribuir al desarrollo sostenible, la empresa realizó grandes inversiones para la implementación de tecnologías europeas para dicho tratamiento, las cuales consisten en una primera etapa con tecnología de nano- ultrafiltración para tratar cloruros, otra etapa de oxidación total para repotenciación de la actual planta con

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

procesos biológicos y una etapa final con aplicación Ozono para la remoción del color, encontrándose dichos sistemas actualmente en proceso de instalación y puesta en marcha.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, con este trabajo se pretende dar respuesta a la pregunta: ¿Es posible que la empresa Tintatex cumpla con lo establecido en el Artículo N° 13 de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente mediante los sistemas de tratamiento de agua residual no doméstica implementados?

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de agua residual no doméstica implementados por la empresa Tintatex durante el periodo de inicio operacional y estabilización para el cumplimiento del Artículo No 13 de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar y analizar los parámetros de calidad del vertimiento de la empresa Tintatex S.A. en comparación con el Artículo 13 de la Resolución 0631 de 2015 antes del inicio de la nueva planta de tratamiento.
- Describir el proceso de implementación, inicio y puesta en marcha de los sistemas de tratamiento de agua residual no doméstica adoptados por la empresa Tintatex S.A.
- Verificar el cumplimiento de los parámetros del vertimiento frente al Artículo 13 de la Resolución 0631 de 2015, después del inicio y puesta en marcha de los sistemas de tratamiento, y garantizar su cumplimiento en el tiempo.
- Proponer recomendaciones para la mejora en los procesos de tratamiento de las aguas residuales que permitan una mejor eficiencia de estos.

### **3. Justificación**

En el artículo No 79 de la Constitución Política de Colombia se establece que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, además determina la obligación del Estado para proteger la diversidad e integridad del ambiente, es por esto, que se crean legislaciones que son de obligatorio cumplimiento para las empresas, que de no hacerlo pueden verse inmersas en sanciones legales, lo que conlleva a costos económicos no previstos e incluso el cierre del establecimiento (8).

El tratamiento del agua residual es fundamental por varias razones ambientales, sociales y económicas. Desde lo ambiental, el agua residual contiene contaminantes y sustancias nocivas que pueden causar graves impactos en los ecosistemas acuáticos, al mismo tiempo, pueden contener microorganismos que representan un riesgo para la salud humana, y si no se tratan adecuadamente, pueden contaminar las fuentes de agua potable y propagar enfermedades gastrointestinales, en la piel y contribuir al aumento de la población que se encuentra en riesgo de desabastecimiento al no poder acceder al agua potable y al saneamiento básico.

Así que, la importancia del adecuado tratamiento del agua residual radica en la reducción de la carga contaminante vertida, mejorando significativamente la calidad del agua antes de su liberación al medio ambiente, lo que ayuda a disminuir los impactos generados a los ríos, lagos, océanos, y asimismo, evitar riesgos para la salud pública.

En caso contrario, si se cumplen las exigencias normativas, se pueden obtener beneficios económicos significativos en términos tributarios, que, si bien al inicio se requiere una inversión alta para la implementación de los sistemas, a largo plazo puede reducir costos, aumentar la buena imagen frente a la comunidad vecina y convertirse en una empresa más competitiva para el sector.

Con el fin de evaluar alternativas que contribuyan a realizar un buen tratamiento de las aguas residuales tan complejas de tratar en esta industria, y

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

adicional con la entrada en vigencia de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente, La Corporación Autónoma Regional de los Rios Negro y Nare - Cornare en su jurisdicción junto a la Corporación Empresarial del Oriente Antioqueño (CEO) y todas las empresas textiles, crean en el año 2018 la Mesa de Vertimiento Textil, la cual permitió un consenso entre las partes para crear el Plan de Mejoramiento del Vertimiento del Sector Textil, llevando a estas industrias a la implementación de un cronograma con una serie de actividades e inversiones importantes que permitieran el cumplimiento del parámetro de cloruros principalmente, lo que incentivó a la empresa a ir más allá, anexando a este cronograma la repotenciación de la actual planta de tratamiento de aguas residuales no domésticas y la remoción del color.

Es por lo anterior que la empresa textil Tintatex, realizó una búsqueda intensiva de posibles alternativas para el tratamiento de sus aguas residuales no domésticas, encontrando una tecnología italiana la cual promete el cumplimiento normativo con altas remociones, la empresa eligió esta tecnología ya que en Europa se ha ido avanzando a pasos agigantados no solo para tener mayor rigurosidad al establecer normas que regulen esta actividad económica sino también en la innovación de tecnologías que les permita garantizar una seguridad hídrica, tanto en el continente como en otras fronteras (9)(10).

Con estos sistemas se busca a largo plazo que permitan la recirculación del agua tratada para ser incorporada en los procesos de producción, lo que generaría mayor sostenibilidad de este recurso, ya que si no se toman acciones contundentes para el tratamiento de sus aguas, la empresa podría verse inmersa en procesos sancionatorios y conflictos con los vecinos más cercanos, adicionalmente no solo podría verse afectado el recurso hídrico y suelo y el medio de este, sino también se puede ver afectada la población aguas abajo, dado que el agua presente dificultad de potabilizar y esto genera enfermedades gastrointestinales en las poblaciones que requieran de este recurso para subsistir.

Se espera de este trabajo, contribuir a la empresa mediante la evaluación y seguimiento de los sistemas de tratamiento implementados, determinando si son

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

convenientes para su tipo de agua, y que den cumplimiento con los estándares de calidad y parámetros establecidos por las autoridades competentes.

La caracterización oficial incluye varios parámetros definidos en el Artículo 13 de la Resolución 0631 de 2015, en este trabajo solo se medirán ciertos parámetros de interés específicos. Estas mediciones se centrarán en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), el pH, la temperatura, y los cloruros.

La selección de estos parámetros se debe a que son indicadores clave del desempeño del sistema biológico de tratamiento y permiten evaluar el funcionamiento del sistema. Al enfocarse en estos parámetros específicos, se busca proporcionar una evaluación precisa y relevante del funcionamiento de la planta durante su fase inicial y de estabilización, en comparación con los requisitos establecidos en la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente.

## **4. Marcos de referencia**

### **4.1 Marco teórico**

En el marco teórico que se desarrolla a continuación, se asocian los conceptos básicos que permiten relacionarse con este proyecto.

#### **4.1.1 Industria textil**

La industria textil es una actividad económica que se dedica a la manufactura de hilos, fibras, telas y materiales para la obtención de productos para la ropa. En este sector la demanda puede variar según la época del año, y para la producción se utilizan variedad de insumos como el algodón, poliéster, insumos químicos para darle el color a la tela como colorantes, fijadores y auxiliares.

Los procesos generales de la industria textil son el tejido, donde se fabrican las telas (a estas se les llaman telas crudas, ya que no ha pasado por ningún proceso), luego la tintorería donde se define la programación de la tela y su pintura y se lleva a cabo también los procesos del lavado, suavizado, escurrido y centrifugado (secado) de las telas, en estos procesos es en donde son utilizados los insumos químicos mencionados anteriormente, y por último, está el proceso de acabados donde se secan las telas, se cortan y se comprueban sus condiciones finales de calidad (11).

Esta industria presenta una elevada demanda de agua debido a sus procesos de producción, que genera también gran contaminación al recurso hídrico por sus materias primas utilizadas en el teñido y acabado de los textiles, siendo uno de los sectores industriales responsables en contaminar el recurso hídrico.

#### **4.1.2 Eficiencia**

Para términos del presente trabajo se hará referencia al concepto de eficiencia en porcentajes, en los monitoreos compuestos que se hayan realizado en los puntos de entrada y salida del sistema, con el fin de evaluar la capacidad del sistema de tratamiento de aguas residuales para reducir las concentraciones de contaminantes en el efluente, y a comparativo en la remoción cuando al cumplir con los límites máximos permisibles de la normatividad, muestra que las concentraciones de contaminantes en los efluentes vertidos al cuerpo de agua superficial no exceden los valores establecidos por el Artículo 13 de la Resolución 0631 de 2015.

#### **4.1.3 Recurso hídrico**

El agua, es un líquido inodoro e incoloro, al no tener olor, sabor y color, y en su estado puro es transparente, es capaz de disolver muchas sustancias que cualquier otro líquido; este recurso lo podemos encontrar en tres estados, líquido que equivale a la forma que predomina en la tierra como los ríos, lagos y mares; sólido donde el agua es sometida a una temperatura menor de 4 °C y es congelada; y gaseoso donde la temperatura hace que el agua se evapore y se condense en la atmosfera (12).

El agua es uno de los recursos indispensables para la supervivencia de las especies, la podemos encontrar en ríos, lagos, mares, glaciares y vapor de la atmósfera. La superficie de la tierra está compuesta en un 70% de agua, sin embargo, poco menos del 1% está disponible para uso y consumo humano (12).

##### **4.1.3.1 Cuerpo de agua**

El Decreto 1076 de 2015 define un cuerpo de agua como:

“Sistema de origen natural o artificial localizado, sobre la superficie terrestre, confirmado por elementos físicos-bióticos y masas o volúmenes

de agua, contenidas o en movimiento” (13).

#### **4.1.3.2 Efluente y Afluente**

El término de afluente, se refiere a la entrada del líquido, es decir es la corriente de agua que ingresa a una instalación industrial o a cualquier sistema de tratamiento de líquidos. Por otro lado, el término efluente se refiere al flujo de salida de un sistema. (14).

#### **4.1.3.3 Caudal**

El caudal es el volumen de agua que pasa una superficie o sección en un tiempo determinado, es un dato que puede darse en diferentes periodos de tiempo: diario, mensual o anual.

La medición del caudal se puede realizar por diferentes métodos, siendo el volumétrico uno de los más utilizados en campo, el cual consiste en la medición del tiempo que se tarda en llenar de agua un recipiente del que se conoce el volumen, luego se calcula mediante la siguiente ecuación con las unidades en litros / segundos:

Q:  $V/t$

Q: Caudal

V: Volumen conocido que llenó el

recipiente T: Tiempo de llenado

del recipiente

A este proceso de medición se le llama “aforo”, que se define como la medición de la cantidad de agua que lleva una corriente o flujo de agua, por medio del aforo, se conoce el resultado del caudal (15).

### **4.1.4 Agua residual y vertimientos**

#### **4.1.4.1 Carga contaminante**

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

Se refiere a la concentración másica de una sustancia por el caudal volumétrico promedio del líquido que la contiene, en un vertimiento se expresa en kilogramos por día: kg/d; la carga contaminante se obtiene al multiplicar la concentración de la sustancia de interés (unidades en kg/m<sup>3</sup>) por el caudal diario (unidades en m<sup>3</sup>/día) (13).

### *4.1.4.2 Tipos de agua residual*

Existen dos tipos de agua residual, por un lado, las Aguas Residuales Domésticas – ARD, este tipo de agua generalmente proviene de los hogares o de las instalaciones comerciales y/o industriales en donde se realizan descargas de los servicios sanitarios, los sistemas de aseo como duchas, lavamos, de las cocinas y pocetas debido al lavado de pisos y lavado de ropa; y las Aguas Residuales no Domésticas – ARnD, que provienen de las actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a los que se definen en las aguas residuales domésticas y que son producto de la transformación de materias primas (16).

### *4.1.4.3 Punto de descarga y vertimiento*

En el Decreto 1076 de 2015, se establece

“El punto de descarga se refiere al lugar donde se realiza el vertimiento, en este caso al cuerpo de agua, y el vertimiento es la descarga final a un cuerpo de agua de un líquido que contiene sustancias o elementos” (13).

### *4.1.4.4 Norma de vertimiento*

El Decreto 1076 del 2015 define la norma de vertimiento como:

“Conjunto de parámetros y valores que debe cumplir el vertimiento en el momento de la descarga” (13).

Estas normas son de gran importancia para inspeccionar, vigilar y controlar el cumplimiento de los parámetros y valores del vertimiento en el momento de la descarga.

#### ***4.1.5 Caracterización del agua, parámetros y valores máximos permisibles***

##### ***4.1.5.1 Calidad del agua***

La calidad del agua son aquellas condiciones y propiedades en las que se encuentra el agua, de acuerdo con sus características físicas, químicas y biológicas, las cuales se les pueden nombrar parámetros, esta calidad del agua se puede determinar con la comparación de los estándares que dictan las normas (17).

Mediante la medición y comparación de los parámetros, se puede definir la calidad del agua residual (vertimiento). Para esta comparación en el agua residual, en Colombia se tiene establecida la Resolución 0631 del 2015 del Ministerio de Ambiente, donde se disponen los valores máximos permisibles que debe de tener cada parámetro, para dar cumplimiento a la norma y disminuir los impactos negativos al medio ambiente, y sobre todo al recurso hídrico.

Los parámetros se dividen en físicos (Temperatura, Turbidez, Color, Olor, Sabor, Conductividad eléctrica, pH, entre otros.); químicos (Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Oxígeno disuelto, Sólidos disueltos, Compuestos de nitrógenos, fósforo, azufre y cloro, pH, Dureza, entre otros) y microbiológicos (Coliformes totales, Estreptococos fecales, Coliformes fecales, entre otros) (18).

##### ***4.1.5.2 Parámetros***

Los parámetros de interés para este proyecto, que corresponden a los reglamentados en el Artículo 13 de La Resolución 0631/2015 del Ministerio de Ambiente, para las aguas residuales no domésticas - ARnD de las actividades de fabricación y manufactura de bienes, sin embargo, se enfoca el trabajo en los

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

parámetros que son los indicadores para el inicio operacional, los cuales se definen de la siguiente manera:

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Esta es la que mide la demanda química del oxígeno necesario para oxidar la materia contaminante mediante químicos, si la DQO presenta un resultado alto, quiere decir que el agua está muy contaminada (19).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5):** Es un proceso biológico, y se refiere a la cantidad de oxígeno necesario que los microorganismos consumen durante la degradación o descomposición de la materia orgánica contenida en la muestra (19).
- **pH:** El valor del pH es una medida que indica la acidez o la alcalinidad del agua.
- **Color real:** Es un parámetro organoléptico (que se percibe por los sentidos), que relaciona las partículas disueltas o en suspensión en el agua, el color se debe a la presencia de materia orgánica (20).
- **Sólidos Suspendidos Totales (SST):** Corresponde a la cantidad del material particulado en suspensión que está presente en un cuerpo de agua o vertimiento (21).
- **Sólidos Sedimentables (SSED):** Se miden las partículas de cualquier tamaño que se desprenden de la suspensión por un tiempo determinado, sus partículas son más densas que el agua (22).
- **Cloruros:** Los cloruros son sales presentes en el agua, comúnmente se encuentran en el agua del mar, y también en las aguas naturales, debido a la contaminación de vertimientos de aguas residuales con alta carga de cloruros, este parámetro puede interferir negativamente en el crecimiento de la vegetación (25).

### ***4.1.6 Caracterización del agua y tipos de muestreo***

La caracterización del agua se lleva a cabo mediante el monitoreo de la calidad del agua, donde se toman muestras de agua para su análisis, y se realiza con el fin de analizar si los parámetros están cumpliendo con las condiciones requeridas por la normatividad, y que se obtenga la información valiosa para la toma de decisiones. Existen 3 tipos de monitoreos: puntual, integrado y compuesto.

- Muestra puntual: Es la muestra representativa que se recolecta en un lugar y tiempo determinado. La realización de una muestra puntual se puede realizar para un monitoreo del agua cruda antes de iniciar con el tratamiento, para conocer sus características y evaluar la eficiencia del sistema al final de los procesos (26).
- Muestra compuesta: Para las caracterizaciones de agua residual, generalmente se realiza una muestra compuesta, la cual consiste en la mezcla de varias muestras puntuales, de una misma fuente, que se toman en intervalos de tiempos programados, el volumen de cada alícuota (muestra que se toma del agua en el momento del monitoreo) es proporcional al caudal durante la toma de la muestra (26).
- Muestra integrada: Esta muestra es la mezcla de muestras puntuales que se toman en diferentes puntos al mismo tiempo, generalmente se realizan en ríos o quebradas (26).

#### *4.1.6.1 Valores límites máximos permisibles*

Los parámetros y sus valores límites máximos permisibles son de gran importancia, ya que, permiten determinar la calidad del agua y el cumplimiento de la norma vigente. En la siguiente tabla se muestran los parámetros de interés anteriormente definidos.

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

**Tabla 2.** Valores límites máximos permisibles Artículo 13 de la Resolución 0631 del 2015 del Ministerio de Ambiente, de los parámetros base para determinar el funcionamiento del sistema en el inicio operacional.

PARÁMETRO	UNIDADES	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS TEXTILES (VALOR MÁX PERMISIBLE)
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00
Temperatura	°C	>40
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l O <sub>2</sub>	400,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/l O <sub>2</sub>	200,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	50,00
Cloruros	mg/l	1.200,00

*Nota \*Tabla tomada de: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 0631 DE 2015 [Internet]. 2021 [consultado 2023 May 15]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-631-de-2015/>*

### **4.1.7 Tratamiento de agua residual**

#### *4.1.7.1 Saneamiento básico*

El saneamiento básico es fundamental para todas las personas, abarca un conjunto de procedimientos sobre el ambiente, como el manejo y disposición final de los residuos sólidos, abastecimiento de agua para consumo humano, manejo y disposición adecuada de las aguas residuales y aquellas actividades que permiten el bienestar, la salud y un ambiente sano para la comunidad, esto permite prevenir y mitigar enfermedades e infecciones, minimizar los riesgos de contaminación, y garantizar que la población goce de un ambiente sano (27).

#### *4.1.7.2 Sistemas de la planta de tratamiento para agua residual*

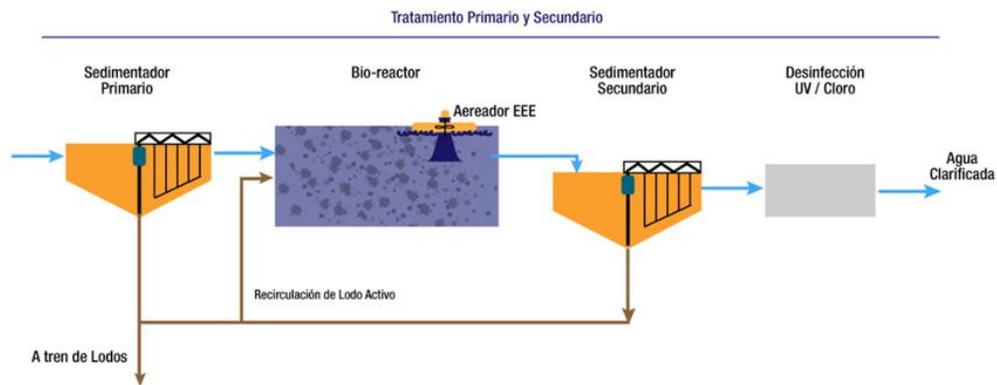
El tratamiento de las aguas residuales son los procesos en donde se remueven los contaminantes del agua que derivan de las actividades industriales.

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

Este puede incluir en su planta de tratamiento procesos físicos, químicos y biológicos para la remoción de las impurezas y contaminantes. Se distribuyen en las siguientes etapas: tratamiento preliminar o pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario. Su principal objetivo de las aguas residuales es obtener un vertimiento seguro para el medio ambiente (28).

A continuación se presenta una esquema general de un tratamiento biológico de aguas residuales:

**Figura 1.** Esquema tratamiento biológico



*Nota \* Ejemplo tomado de: Equipos para Tratamiento Primario y Secundario de Aguas Residuales ; 2020 [citado el 29 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://septar.com.mx/index.php/tratamiento-primario-y-secundario-de-aguas-residuales/>*

Este tratamiento se realiza por medio de un conjunto de sistemas, donde cada uno tiene una función específica, con el fin de que en cada proceso se remuevan contaminantes que no se removieron en el proceso anterior.

- Sistema de nanofiltración: Se utiliza como pretratamiento, y es un proceso de filtración del agua por medio de membranas que funcionan bajo presión, su objetivo principal es retener las moléculas de un peso específico mayor a los iones como los cloruros y sodio (29).
- Cribado: Este tratamiento preliminar consiste en evitar el ingreso de los residuos que provienen del agua residual, y que pueden tener interferencia para los demás procesos.
- Homogenización de carga contaminante: Es un proceso en el tratamiento

de aguas residuales que consiste en la combinación de las aguas para producir una mezcla homogénea, y evitar la sedimentación (30).

- Oxidación aerobia total: Es un proceso de lodos activados para el tratamiento biológico de las aguas residuales en condiciones aerobias, el objetivo es la degradación de la materia orgánica por parte de las bacterias afines al oxígeno (31).
- Sedimentación: La sedimentación es la etapa de tratamiento donde se separan los sólidos del agua que tienen gran contenido de sedimento y turbiedad, la finalidad es que estos sólidos se sedimenten al fondo de un tanque, y el agua clarificada pase al siguiente proceso (32).
- Decoloración con ozono: El ozono tiene propiedades oxidantes muy poderosas y puede ser utilizado para el tratamiento de aguas residuales, siendo la decoloración uno de los usos eficientes del ozono, la eficiencia depende del tiempo de contacto y de la concentración de ozono (33).
- Canaleta parshall: Este sistema es utilizado para el aforo, para conocer el caudal de entrada o de salida de la planta de tratamiento de aguas residuales.

#### **4.1.8 Autoridades Ambientales competentes**

Las Autoridades Ambientales son las encargadas de promover y ejecutar las políticas nacionales, regionales y sectoriales, en el ámbito del medio ambiente y recursos naturales, y son las siguientes:

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (13).
- Las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y las de Desarrollo Sostenible (13).
- Los municipios, distritos y áreas metropolitanas cuya población dentro de su perímetro urbano sea igual o superior a un millón de habitantes (13).

- Las autoridades ambientales de que trata el artículo 13 de la Ley 768 de 2002 (13).

#### *4.1.8.1 Usuario de la autoridad ambiental competente*

Los usuarios de la autoridad ambiental son aquellas personas naturales o jurídicas que cuenten con permiso de vertimientos, o un plan de saneamiento y manejo de vertimientos en consecuencia de la disposición de vertimientos de sus actividades a las aguas superficiales, marinas o al suelo (13).

## **4.2 Marco territorial**

### **4.2.1 Localización y ubicación geográfica**

El presente trabajo se desarrollará en la vereda Belén del municipio de Marinilla ubicado en el departamento de Antioquia.

El departamento de Antioquia, es uno de los treinta y dos departamentos que junto con Bogotá D.C. componen el territorio colombiano, Antioquia limita al norte con los departamentos de Córdoba y Bolívar, al este con los departamentos de Bolívar, Santander y Boyacá, al sur con los departamentos de Caldas y Risaralda y al oeste con el departamento del Chocó; Según las proyecciones para el año 2016 del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) el departamento cuenta con una población de 6´534.857 habitantes (35).

Éste cuenta con una superficie total de 63.612 km<sup>2</sup>, representando el 5,6% del total del territorio nacional, además está dividido políticamente en 125 municipios de los cuales Medellín es su ciudad capital, está ubicado sobre la zona septentrional de las Cordilleras Central y Occidental y hace parte de las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena, adicionalmente a la región natural Andina y Caribe (35) (36).

Sus coordenadas geográficas extremas son: 05° 26' 20" y 08° 52' 23" de latitud Norte. 73° 53' 11" y 77 ° 07' 16" de longitud oeste (35).

**Figura 2** Mapa Colombia - Antioquia



*Nota \* Ejemplo tomado de: Shutterstock [Internet]. 2013 [Citado el 16 de mayo de 2023] Disponible en: <https://www.shutterstock.com/es/search/mapa-colombia-antioquia>.*

#### **4.2.2 Subregión del Oriente de Antioquia**

El departamento a su vez se encuentra dividido en 9 subregiones entre esas la subregión de Oriente, la cual también agrupa sus 23 municipios dadas sus dinámicas socioeconómicas, culturales y naturales en cuatro zonas: Altiplano, Bosques, Embalses y Páramo (37). Estas zonas están compuestas por los siguientes municipios:

4.2.2.1 *Altiplano*: Guarne, San Vicente, Rionegro, Marinilla, El Santuario, El Carmen de Viboral, El Retiro, La Ceja y La Unión.

4.2.2.2 *Paramo*: Abejorral, Sonsón, Argelia y Nariño.

4.2.2.3 *Bosques*: San Francisco, San Luis y Cocorná.

4.2.2.4 *Embalses*: Granada, San Carlos, San Rafael, Guatapé, El Peñol, Alejandría y Concepción.

El territorio que ocupa esta subregión corresponde al 11,2% con respecto al total del departamento y concentra el 8,9% de la población de Antioquia (38), adicionalmente, es importante mencionar que el Oriente tiene un papel determinante en el desarrollo no solo a nivel departamental sino a nivel nacional, siendo una zona estratégica en el sistema eléctrico, ya que se genera el 29% de la energía nacional y el 73% del departamento, con sus seis embalses y cinco

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

hidroeléctricas, lo que implica una gran importancia económica en el país; donde para el año 2019 el Altiplano del Oriente tuvo un PIB equivalente al 71% del PIB de la subregión completa.

Mencionado lo anterior, es posible describir los factores competitivos que tiene esta subregión, tanto a nivel departamental como a nivel nacional (37):

- Esta región tiene conexión con el mundo a través del Aeropuerto Internacional José María Córdova.
- La industria de esta subregión tiene el respaldo por la Zona Franca.
- Para el año 2018 según la Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño fue la subregión a nivel nacional con el mayor PIB por habitante – per cápita, estimado en \$19.068.280.
- Ha inaugurado obras viales muy importantes como el Túnel de Oriente.
- Cuenta con alta conexión vial entre sus municipios, aumentando su competitividad como región, contando por ejemplo con la importante Autopista Medellín-Bogotá.

**Figura 3** Municipios de la subregión del Oriente de Antioquia (37).



*Nota \* Ejemplo tomado de: Información sobre el Oriente [Internet]. Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño; 2021 [citado el 15 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://ccoa.org.co/sobreeoloriente/>*

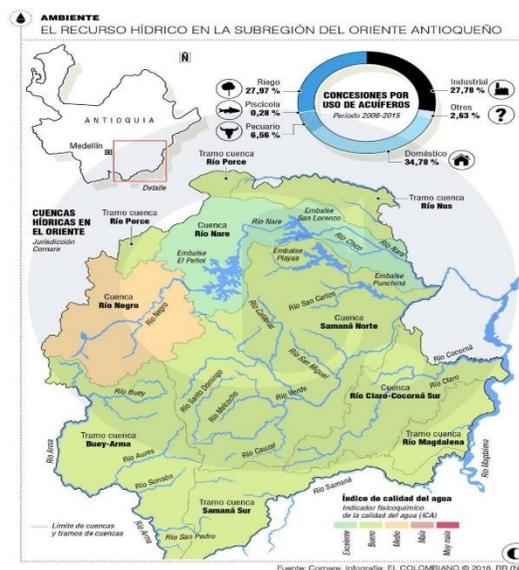
La subregión es también rica en el recurso hídrico, gracias a su estratégica

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

ubicación en medio de los ríos Cauca y Magdalena, cruzando de Sur a Norte por la Cordillera Central, además de contar con el Páramo de Sonsón el cual es una gran riqueza hídrica expresada en ríos y quebradas que desembocan en los ríos mencionados anteriormente, el cual también es un ecosistema valioso respecto a su capacidad de retener y filtrar el recurso hídrico, por lo que es considerado patrimonio natural de la región (39).

El Oriente, es reconocido también por tener como recurso natural principal el agua, gracias a que cuenta con las cuencas del Río Negro, Río Claro-Cocorná Sur, Río Nare, Samaná Norte y tramos de cuencas del Río Porce, Río Nus, Río Magdalena, Samaná Sur, Buey Arma (40), su gran riqueza hídrica puede evidenciarse en la imagen adjunta a continuación:

**Figura 4** Cuencas Hídricas en el Oriente – Jurisdicción Cornare (40)



Nota \* Ejemplo tomado de: Correa VAA, editor. Oriente antioqueño tendrá una provincia en honor al agua [Internet]. El Colombiano; 30 de mayo de 2018. Disponible en: <https://www.elcolombiano.com/antioquia/provincia-del-agua-y-turismo-en-oriente-de-antioquia-AJ8784057>

A pesar de este gran tesoro con el que cuenta la subregión, no puede cantarse victoria en cuanto al índice de calidad del agua, que si bien para el año 2018 (dadas las referencias de la imagen anterior) se encuentra en su mayoría en un muy buen indicador, han pasado 5 años hasta la fecha actual y no puede

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

desconocerse la realidad que hoy vive esta zona del país, dado su crecimiento poblacional e industrial, sobre todo en municipios como Rionegro y Marinilla, lo que genera una presión, y a su vez una demanda importante sobre el recurso hídrico, lo que se traduce directamente en escasez y contaminación de este vital líquido (40).

Reconociendo la importancia de lo anteriormente mencionado, fue que se creó el proceso “Diálogos por la Custodia del Agua en el Oriente Antioqueño” en el año 2016, en donde se convocó a la comunidad, por medio de las Juntas de Acción Comunal, a las mesas ambientales, a los acueductos comunitarios, las alcaldías, a Cornare, a la Gobernación de Antioquia, EPM, Isagen y WWF-Colombia, para juntos trabajar en torno a un propósito fundamental: asegurar acceso al agua, no solo para las comunidades, sino además para la naturaleza y la industria, para concientizar también sobre el valor y la importancia que tiene el cuidado de este recurso en una zona que al tener un acceso tan fácil a él se le puede olvidar que se deben integrar acciones que realmente permitan su protección (40).

Estos ecosistemas han convertido esta región en una potencia hídrica nacional, que de trabajarse juntos en articulación por la gestión integral del agua, se puede impactar positivamente sobre la sostenibilidad de la red hídrica de la región, recordando que sobre estas cuencas se desarrollan un sin número de actividades y dinámicas sociales, económicas y políticas, que le han dado a esta región la gobernanza en estos aspectos, pero que así mismo, se presentan desafíos y obstáculos que deben dejar importantes lecciones, sobre todo, en cómo se hace para que cada actor se haga participe y responsable del manejo, el cuidado y la protección de un recurso tan vital para los ecosistemas, los humanos y su mismo desarrollo y evolución (40).

### **4.2.3 Tintatex S.A (42).**

Tintatex S.A se encuentra ubicada en el Municipio de Marinilla Antioquia,

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

Vereda Belén, sobre la Autopista Medellín - Bogotá Km 41, esta ubicación es de gran impacto, puesto que alrededor de ella hay una gama empresarial la cual está compuesta por empresas del mismo sector textil como lo son Ecotintex, Crystal, Riotex y de muchos otros sectores como Metalcol, Cimarronas, Grittith foods S.A.S, Sancela, Imusa, C.A. Mejía S.A.S., Inmunizadora de Colombia, Ingetierras, Copimar, Argos, entre otras. Las instalaciones de la empresa están ubicadas en una de las zonas rurales aledañas al municipio de Marinilla, específicamente en la Verde Belén, la cual es una las 36 veredas de dicho municipio.

Tintatex S.A., es una empresa constituida legalmente desde agosto del año 2005, dedicada a prestar servicios de tejeduría, tintorería y acabados textil, donde son utilizados diferentes tipos de fibras, licras, productos químicos, colorantes e insumos como materia prima para el desarrollo de su actividad industrial.

El proceso productivo inicia con la recepción de la hilaza (7881,6 ton/año)\*, esta hilaza es utilizada para tejer las fibras en máquinas circulares, después del proceso de tejido, la tela llega a la bodega de materia prima o “crudo” como se denomina internamente. Luego de definir la programación sobre la tela, esta es llevada al proceso de tintorería, donde se realiza el proceso de tinturado de telas crudas, lavado de telas pre teñidas, suavizado, escurrido, centrifugado, donde para esto son utilizados colorantes (193,577 ton/año)\*, fijadores (41,149 ton/año)\*, auxiliares (2290,000 ton/año)\*, blanqueadores (16,550 ton/año)\* y agua (296,580 m<sup>3</sup>/año)\*. Después, la tela pasa al proceso de acabados donde se secan las telas y se les dan las condiciones físicas requeridas por calidad, se comprueba las condiciones finales respecto a la revisión de la tela terminada por parte de calidad, para pasar finalmente a la bodega de producto terminado antes de ser despachada y entregada al cliente.

Durante la realización del proceso productivo, también existen otros procesos complementarios que actúan a la par de éste, un ejemplo es el laboratorio de color, el cual es un proceso de soporte donde se realizan todas las pruebas físicas y químicas del producto para garantizar exigencias de calidad del

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

cliente y el mercado. También, TINTATEX S.A. Cuenta con un departamento de mantenimiento el cual realiza todos los trabajos preventivos, predictivos y correctivos a las máquinas, equipos y en general a toda la planta. Así también, se destacan como procesos de soporte paralelos a la operación productiva todas las labores que desempeña el departamento de compras, talento humano, ambiental, seguridad y salud en el trabajo, servicios generales, entre otras.

El producto terminado se obtiene mediante la transformación de la materia prima, en este caso, el hilo es transformado en tela cruda, a la cual se le hace un proceso de teñido y acabado para darle las condiciones finales. A esta se le realiza una inspección de calidad para garantizar que llegue en óptimas condiciones a su consumidor para ser confeccionado. Dependiendo de las necesidades del cliente, el producto final puede ser empacado en rollo o plegada con su respectivo embalaje para evitar daños externos y de esta manera, garantizar sus condiciones y por tanto la satisfacción de los clientes. En promedio se manejan 331 referencias de tela con aproximadamente 45 colores.

Desde el comienzo de su operación Tintatex S.A. estableció su política ambiental, la cual es la guía para establecer el cumplimiento de compromisos \*Comunicado personal de Alejandro Valencia, Director técnico de producción, 20 de marzo de 2023.

pilares y compromisos fundamentales se encuentran:

### 4.2.2.5 CON EL MEDIO AMBIENTE

*“El compromiso con el medio ambiente viene dado por la mitigación del impacto ambiental negativo que cualquier industria efectúa sobre la naturaleza; sabemos que los recursos naturales son limitados y son la base para el desarrollo del planeta, es por eso que una empresa tiene que ser sostenible desde el punto de vista ambiental, ya que debe garantizar que sus procesos se efectúen siempre tomando en cuenta la dimensión ambiental que acarrea cada una de las decisiones que se toman, teniendo en cuenta la normatividad ambiental, dando cumplimiento a ella y en muchas oportunidades superando los estándares de eficiencia de los indicadores asignados en la normatividad ”.*

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

Es por esto que en Tintatex S.A. están comprometidos con la evaluación previa y permanente de las actividades que se llevarán a cabo, lo que les permite tener una mejor visión de cómo se va a afectar el medio ambiente y escoger siempre la alternativa que sea mejor según no sólo los intereses de la empresa sino de lo que se está en capacidad de devolverse al ambiente, trabajando además en sinergia con la autoridad ambiental y teniendo como prioridad no solo el cumplimiento normativo, requerimientos y demás obligaciones sino apostando realmente a un desarrollo sostenible.

En Tintatex S.A. actualmente se cuenta con los siguientes permisos ambientales:

### **CONCESIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES:**

Por medio de la resolución 00759-2021 del 04 de febrero de 2021 se le renovó el permiso de concesión de aguas superficiales a Tintatex con vigencia de diez años para un caudal de 13,35 l/s (13,15 l/s para uso industrial y 0,196 l/s para uso doméstico).

### **CONCESIÓN DE AGUAS SUBTERRANEAS:**

Por medio de la resolución 112-0161 del 24 de enero de 2019 se le concedió el permiso de concesión de aguas subterráneas a Tintatex con vigencia hasta el 24 de enero de 2029 para un caudal de 1,5 l/s que entrega el pozo subterráneo.

### **VERTIMIENTOS:**

Por medio de la resolución 112-3660 del 28 de julio de 2016 se le renovó el permiso de vertimientos a Tintatex con vigencia hasta el 01 de abril de 2027 para un caudal de 50 l/s previo tratamiento de aguas residuales por planta biológica.

#### **4.2.2.5 CON LA SOCIEDAD**

*“Ha de tenerse en cuenta que en muchas ocasiones es imposible desligar lo social de lo ambiental de una forma positiva, no porque no se puedan individualizar, sino*

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

*porque cada una conlleva una reacción en el otro ámbito. Socialmente estamos obligados a contribuir con el desarrollo de estrategias que permitan mejorar la calidad de vida de las personas no sólo desde la perspectiva del servicio que ofrece la empresa, sino también desde comenzar apoyando a nuestros vecinos cercanos, adicionalmente servir de ejemplo para un sector industrial y la comunidad”.*

Dentro de la vereda en la que la empresa se cuenta ubicada, cuenta con un bazar de ropa abierto al público para que puedan acceder a prendas de muy buena calidad a unos muy buenos precios, sobre todo en temporadas especiales como lo son el día de la madre, del padre, amor y amistad y las decembrinas, además la empresa también realiza en el transcurso del año diferentes donaciones a actividades escolares, deportivas y religiosas para apoyar al municipio en estas importantes labores.

Actualmente Tintatex es una gran fuente de empleo en el Oriente Antioqueño, ya que emplea a 531 personas directos y 53 indirectos (contratistas presenciales), el 92% residentes del Oriente Antioqueño, el 8% restante corresponde a empleados que residen en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá \*\*.

El 53% del porcentaje residente en el Oriente corresponde a 257 empleos generados directamente en el municipio de Marinilla, siguiendo el municipio de Rionegro con 116 empleados, seguido por los municipios de Guarne, El Santuario, El Carmen de Viboral, La Ceja, El Retiro, La Unión, Cocorná, El Peñol, San Rafael, San Vicente y Sonsón \*\*.

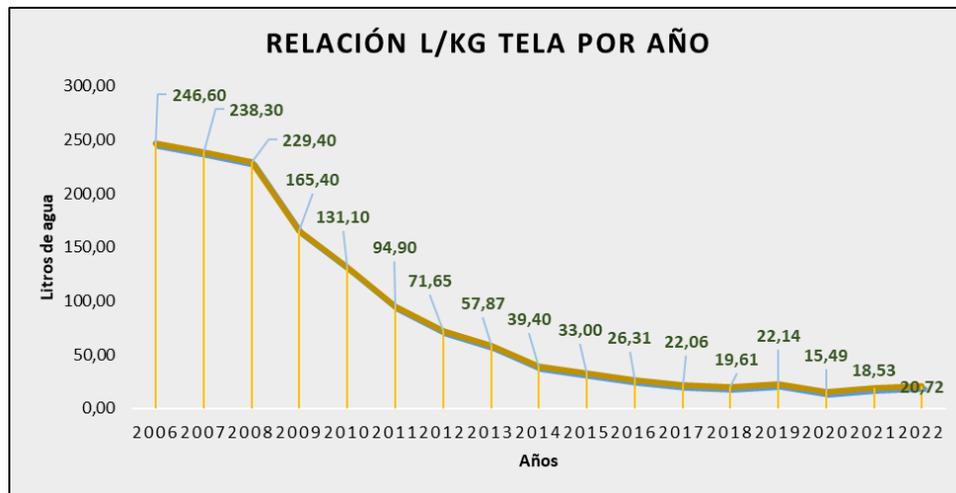
Así que, para garantizar el cumplimiento a sus compromisos, Tintatex S.A. desde el comienzo de sus operaciones ha garantizado el cumplimiento normativo, destacándose en uno de los más importantes: el agua, ya que esta es una materia prima fundamental en el proceso productivo, dada la relación de baño que es necesaria para el proceso del teñido, es decir, cuantos litros de agua son necesarios para teñir un kilogramo de tela, esta relación de baño a través del tiempo ha ido disminuyendo significativamente, gracias al cumplimiento de

\*\*Comunicado personal de Andrea Franco, Psicóloga del área de talento humano, 20 de marzo de 2023).

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

indicadores que se ha trazado la empresa para lograr disminuir la demanda de esta y a su vez la contaminación generada, lo cual se ha logrado a través de cambio de maquinaria ahorradora y más eficiente, cambios en los tipos de colorantes y auxiliares utilizados en el proceso y demás acciones que pueden considerarse como buenas prácticas ambientales implementadas por la empresa, a continuación, se expone la disminución de la relación de baño a lo largo del tiempo.

**Figura 5** Histórico de reducción en consumos de agua por unidad de producción \*\*\*.



Como se ha mencionado desde el comienzo, el impacto al recurso hídrico por una textilera es muy significativo, no solo dada su demanda, sino por la cantidad de agua que luego es regresada al medio ambiente en unas condiciones desfavorables a comparación de cómo fue captada, es por esto que desde sus inicios Tintatex S.A. ha tratado sus aguas residuales industriales en Plantas la Cimarronas, la cual es una sociedad entre las empresas textiles que quedan contiguas a esta, facilitando el tratamiento de estas aguas residuales antes de ser vertidas a la Quebrada La Cimarrona.

Está planta a la fecha cuenta con alrededor de 35 años de funcionamiento, ya que allí, antes de existir las empresas que actualmente se encuentran ubicadas, se encontraba una gran empresa conocida como "Vestimundo",

\*\*\*Comunicado personal de Alejandro Valencia, Director técnico de producción, 20 de marzo de 2023.

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

empresa que fue disuelta y que abrió paso a las textileras que conocemos hoy en día.

Esta empresa deja como legado una Planta de Tratamiento con proceso de tratamiento biológico para ser usada por las nuevas empresas que allí se asentaron, permitiendo el cumplimiento del Decreto 1594 de 1984, el cual medía las cargas en el vertimiento por kg/día exigiendo porcentajes de remociones del total de la carga vertida (41), lo cual para Plantas La Cimarrona era posible cumplir con parámetros básicos como DBO, DQO, pH, Temperatura, Sólidos Totales, Sólidos Sedimentables y demás parámetros, aunque algunos se encontrarán solo para análisis y reporte.

Sin embargo, al avanzar el tiempo, la producción y volverse más rigurosa la legislación en materia de vertimientos, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el 17 de marzo de 2015 reglamenta la Resolución 0631, “por medio de la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”.

En esta norma, surge un cambio importante, ya que se retira por completo los porcentajes de remoción y se establecen límites máximos, lo que implicaría una mayor eficiencia en los sistemas de tratamiento dadas las condiciones de entrada de la carga contaminante, además se regula el parámetro de cloruros.

Ante este nuevo panorama, La Corporación Empresarial del Oriente Antioqueño (CEO), La Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (CORNARE) y cuatro empresas textileras de la jurisdicción crean en el año 2018 la Mesa de Vertimientos con el fin de que esta fuera sobre todo una mesa de trabajo que apuntará a la búsqueda de soluciones para el cumplimiento del nuevo parámetro reglamentado “cloruros”, el cual se tenía conocimiento de que ninguna de estas empresa cumpliría dicho valor, ni contaba con las tecnologías adecuadas para su remoción; pues es importante mencionar, que para las textileras la sal es un insumo fundamental en su proceso de teñido.

Así que, dado un trabajo riguroso por la empresa en búsqueda de tecnologías que permitieran no sólo desde una perspectiva de remoción, sino

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

también desde la separación y recuperación del mismo a partir de una solución de salmuera que recupere grandes cantidades de sal y éstas luego puedan ser utilizadas nuevamente en el proceso productivo, se encontró un proveedor con una tecnología de nano-ultrafiltración, la cual a través de unas membranas cerámicas permitiría la remoción del cloruro y darle pasó al agua libre de estos.

Una vez escogida dicha opción, luego de varias cotizaciones y comparar las ventajas y desventajas de cada opción se procede a crear el cronograma y el plan de trabajo para llevar a cabo este proyecto; sin embargo, en el camino no solo se presentaron obstáculos, sino además ideas de mejorar e ir más allá, así que en una reunión para hablarse sobre las mejoras y la repotenciación que requería Plantas Cimarronas cada empresa toma la decisión de implementar su propia planta de tratamiento biológica, comenzado un camino largo pero enriquecedor para determinar una mejor tecnología para la remoción de contaminantes básicos del agua residual. Es aquí, cuando la empresa encuentra una tecnología italiana, que básicamente consiste en un tratamiento biológico, o como bien ellos lo llamas "oxidación total", el cual, a través de lodos activados aeróbicos, y un sistema robusto de sopladores promete hasta un 95% de remoción de parámetros como DBO, DQO, SST, entre otros.

En el año 2019 se acepta está propuesta y se comienzan todos los trámites necesarios para la creación del cronograma y continuar con este importante proyecto, adicionalmente, se piensa en la remoción del color, pues todo el trabajo interno que se ha realizado con la relación de baño ha sido significativo, a pesar que pueda no serlo en la concentración del agua, ya que se encuentra menos diluida, así que para disminuir el color se adiciona una tercera etapa correspondiente a un tratamiento con ozono, permitiendo descarga un agua en mejores condiciones de las que incluso fue captada.

Estos cronogramas, se han visto retrasados por dinámicas mundiales como la pandemia del Covid-19, así que, aunque el plazo para su cumplimiento era julio del año 2022, se prorroga por parte de Cornare para dar cumplimiento a la instalación, puesta en marcha de los sistemas y cumplimiento de parámetros hasta julio del año 2023.

### **4.3 Marco legal y normativo**

En Colombia y a nivel internacional se han expedido leyes, decretos y resoluciones a causa de la importancia del cuidado del agua, su consumo y tratamiento, que permite a las diferentes entidades inspeccionar, vigilar y controlar este recurso.

#### **4.3.1 *Tratados y Declaraciones Internacionales***

- En 2010, a través de la Resolución 64/292, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento (42).

#### **4.3.2 *En Colombia***

- Decreto - Ley 2811 de 1974 Por el cual se dicta el “Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente” esta ley regula el manejo de los recursos naturales renovables, la defensa del ambiente y los recursos naturales renovables contra la acción nociva de fenómenos naturales y los demás elementos y factores que conforman el ambiente o influyan en él (43).
- Decreto 1594 de 1984 “por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III - Libro I- del Decreto Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos”. (41).
- Ley 99 de 1993 “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones” (43).

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

- Conpes 3177 de 2002 “Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales” (44).
- Ley 1333 DE 2009 "Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones” (46).
- Decreto 2667 de 2012 “Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones” (43)
- Resolución 631 de 2015 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones” (17).
- Decreto 1076 de 2015 “ Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible” (13).
- Resolución 330 DE 2017 "Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las Resoluciones números 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009 (45).

## 5. Metodología

En el presente trabajo se integraron tanto metodologías cualitativas como cuantitativas, la parte cualitativa permite por medio de la narración y métodos de observación recopilar información relevante sobre la estructura y el funcionamiento de los sistemas, mientras que la parte cuantitativa al depender de los números y las estadísticas es la que permitirá recoger y analizar los límites máximos permisibles de los parámetros y compararlos en relación con la norma (47) (48).

Esta metodología consiste inicialmente en conocer y analizar los resultados de laboratorio de la empresa antes del inicio operacional de los nuevos sistemas, la descripción de los sistemas de tratamiento implementados, diseños y eficiencias teóricas, que definieron los resultados del vertimiento esperados por la empresa.

Es por lo anterior que, para cumplir con los objetivos planteados, se estableció como ruta el ciclo PHVA, como herramienta para analizar en conjunto las tecnologías implementadas para el tratamiento de las aguas residuales, y a su vez las eficiencias en remoción de carga contaminante que éstas presentan para alcanzar el cumplimiento de la normatividad colombiana respecto al vertimiento.

El ciclo PHVA o también conocido por el nombre de su autor Deming, se trata de una herramienta que puede aplicarse fácilmente con un enfoque en la mejora continua y que contribuye a ejecutar tareas de una manera más eficiente y eficaz. Su nombre se debe a las cuatro etapas que componen el ciclo (49):

P: Planear

H: Hacer

V: Verificar

A: Ajustar

La primera etapa del **planificar** determina los medios para alcanzar los objetivos, permitiendo a su vez elaborar el plan de acción, los responsables y los

procedimientos que llevaran a conseguir los resultados (50).

En esta etapa se da respuesta a las preguntas (51): ¿Que se hará?, ¿Cómo?, ¿dónde?, ¿con quién?, ¿para qué?, ¿con qué datos?

El objeto del presente estudio es evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento con proceso de tratamiento biológico de la empresa Tintatex S.A. durante el periodo de inicio operacional y estabilización, basados en cada etapa del proceso, desde la entrada del afluente al sistema hasta la salida. Haciendo un análisis de los resultados de laboratorio para determinar la capacidad de la planta para remover los diferentes contaminantes presentes en el agua, en cumplimiento del Artículo No 13 de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente.

El estudio se realizará en la empresa Tintatex S.A, ubicada en la Vereda Belén del municipio de Marinilla, en el departamento de Antioquia, apoyados por el personal de la empresa vinculada a este proyecto.

La muestra del presente trabajo es la empresa Tintatex S.A, ya que, dentro de todas las empresas textiles ubicadas en el Oriente Antioqueño, Tintatex fue seleccionada para llevar a cabo este trabajo de desarrollo por el compromiso ambiental que ha demostrado tras la implementación de esta planta de tratamiento, además de ser una tecnología pionera en el país con su etapa de oxidación total y recuperación de agua pretendiendo llegar a ser una empresa de cero - 0 vertimientos. Adicionalmente, una de las participantes de este proyecto labora en esta entidad, lo que facilita el acceso a la información, comunicación y cumplimiento de los objetivos.

Se planifica además esos criterios que influyen positiva o negativamente en el cumplimiento de los objetivos finales:

### **5.1 Criterios de inclusión**

- Se trabajará con personas mayores de edad que están vinculadas en la empresa.
- Personal con o sin conocimientos sobre la PTAR.

- Laboratorios con parámetros acreditados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- Funcionamiento normal de la planta de producción.

## **5.2 Criterios de exclusión**

- Personas que por alguna razón en específico no desearon participar del trabajo.
- Falta de información por parte del proveedor de la tecnología.
- Laboratorios sin acreditación.
- Operación anormal de la planta de producción.

La segunda etapa que consiste en ***hacer*** es la etapa donde se lleva a la práctica lo planeado, es decir, se ejecutaron los procesos y tareas necesarias para obtener datos del contexto real (50).

En esta etapa se da respuesta a las preguntas (51): ¿Qué se aprendió? ¿Qué errores no se pueden repetir?, ¿Qué procesos se pueden estandarizar?, ¿qué se puede mejorar y cómo se puede mejorar?

En esta etapa se ejecutarán las técnicas de recolección de la información, lo que lleva a la remisión de fuentes de datos para dicha recolección, logrando recurrir a fuentes primarias, que como su nombre lo indica se refiere a esos datos que son originados mediante el desarrollo del trabajo, y la fuente secundaria permite conocer la información que ha sido recopilada por otros, en este caso es la información suministrada por el proveedor de la tecnología y la empresa misma (52).

Así que, a continuación, se definen de la siguiente manera las técnicas de recolección de la información según los objetivos planteados:

Revisión de información secundaria: Revisión y análisis de las caracterizaciones de años anteriores, con el fin de establecer el funcionamiento de la planta La Cimarrona y el cumplimiento con el Artículo 13 de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente, esto permitió la ejecución del primer objetivo, para determinar y analizar los parámetros del vertimiento antes del inicio

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

operacional de la planta.

Revisión de manuales, procedimientos y demás documentación facilitada por el proveedor de la planta.

Revisión de información primaria: Analizar los resultados de las observaciones en campo, caracterizaciones y registros fotográficos que permitan capturar los procesos de los sistemas, situaciones y condiciones físicas. Para esto se dispondrá de una tabla para recopilación de los siguientes datos: estructuras, imágenes, generalidades y funciones.

En los monitoreos de agua residual, realizados por las estudiantes Maria Camila Alzate y Maria Paula Ocampo, las muestras fueron remitidas al laboratorio subcontratado por la empresa Tintatex S.A para sus respectivos análisis. En donde también se registrará la información de las tomas de muestras y parámetros en campo durante las caracterizaciones, con información mínima como nombre de la empresa, sitios de monitoreo, fecha, autoridad ambiental, parámetros en campo, entre otros.

Para está etapa también es importante apoyarse de los siguientes instrumentos de recolección de la información: Lista de chequeo para la toma de muestras de aguas residuales:

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

**Tabla 3.** Lista de chequeo para toma de muestras

EQUIPOS Y MATERIALES			
LISTA	SI	NO	NO APLICA
Multiparametro			
Termohigrometro			
Geoposicionador			
Equipos portátiles para mediciones en sitio			
Baldes plásticos de 10L con llave			
Tubo para homogenización de la muestra			
Probeta graduada de 1000 mL			
Cronómetro			
Neveras de icopor con bolsas de hielo para la preservación			
Frasco lavador			
Toalla de papel absorbente			
Cinta pegante y de enmascarar			
Bolsa pequeña para basura			
Lapicero, agenda			
Tabla portapapeles			
Guantes			
Agua destilada			
Recipientes para alicuotas			
Instructivo de calibración de equipos			
Instructivo de muestreos del IDEAM			
Gafas de seguridad			
Etiquetas para rotular los frascos			
Cadena de custodia impresa			

Bitácora: Está permitirá tomar nota de los hallazgos importantes durante las observaciones en campo.

**Tabla 4.** Bitácora visitas de campo

BITACORA PARA VISITAS DE CAMPO				
FECHA	RESPONSABLES	VARIABLES	OBSERVACIONES	FOTOGRAFÍAS

Formato de seguimiento a las caracterizaciones tanto internas como externas que se realizaron:

**Tabla 5.** Lista de chequeo para caracterizaciones

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

LISTA DE CHEQUEO CARACTERIZACIONES					
FECHA	RESPONSABLE DEL MONITOREO	LABORATORIO	PARÁMETROS PARA ANALIZAR	OBSERVACIONES	FOTOGRAFÍAS

Igualmente se realizará un formato en donde se llevará el registro diario de los parámetros más importantes de operación como pH, DQO, SST, SSED y Oxígeno disuelto, este último siendo indispensable monitorear constantemente en este sistema, ya que se fundamenta en una oxidación total, es decir, en una planta aerobia, los microorganismos que descomponen la materia orgánica requieren oxígeno para llevar a cabo la respiración aerobia. Niveles adecuados de oxígeno disuelto aseguran un entorno favorable para estos microorganismos, permitiendo una degradación eficiente de los contaminantes. Si los niveles son demasiado bajos, los microorganismos no podrán funcionar eficientemente, lo que resultará en un tratamiento incompleto. Si son demasiado altos, se desperdicia energía y recursos. Por factor de seguridad siempre se recomienda que el oxígeno remanente este entre 1 y 2 mg/L

En la tercera etapa se cumple con el **verificar** logrando que se realice un análisis y evaluación importante de los resultados que se obtengan, es acá donde se determinan las conclusiones que permitan identificar aquellos problemas que deberían ser abordados y tenidos en cuenta nuevamente, para eliminar o evitar esas desviaciones presentadas (50).

Esta etapa da respuesta a las preguntas (51): ¿Se hizo lo planeado?, ¿se lograron los resultados?, ¿se ha logrado cumplir con los límites máximos permisibles?, ¿qué impacto se logró en cuanto a la calidad del agua de salida?

Para lograr la verificación de los parámetros frente al Artículo 13 de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente, después del inicio operacional de los sistemas de tratamiento se realizarán pruebas de laboratorio tanto al agua de entrada como de salida, en diferentes momentos y días de la semana, que permitirán conocer la eficiencia real de la planta en cuanto a

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

remoción de carga contaminante.

Una vez obtenidos los resultados de las pruebas de laboratorio, se realizará la comparación con la normatividad vigente teniendo en cuenta el siguiente listado de variables de interés:

**Tabla 6.** Listado de variables

Variable	Descripción
Caudal	Este permite conocer los litros por segundo que ingresan al proceso de tratamiento, y que por ende salen del sistema.
Tiempo de retención	Representa la duración que el agua permanece en el sistema de tratamiento, que permite comparar la eficiencia de diseño con la eficiencia real obtenida en una planta de tratamiento.
pH	Parámetro base para el funcionamiento normal de la planta en rangos de 6 a 9 unidades.
Temperatura	Parámetro base para el funcionamiento normal de la planta no superior a 40°C.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Parámetro base para el funcionamiento normal de la planta, permite reconocer la eficiencia de remoción de la carga contaminante.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Parámetro base para el funcionamiento normal de la planta, permite reconocer la eficiencia de remoción de la carga orgánica contaminante.
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Parámetro base para el funcionamiento normal de la planta, permite reconocer la relación entre los sólidos totales y si se presenta alguna irregularidad en estos.
Sólidos Sedimentables (SSED)	Parámetro base para el funcionamiento normal de la planta, permite hacerle un seguimiento a la cantidad de lodo con el que se cuenta.

**Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

Cloruros	Parámetro de interés, para verificar el cumplimiento de la etapa de nano-ultrafiltración.
Color Real	Parámetro de interés para verificar la remoción de color a la salida con la etapa de ozono.
Nitrógeno Total	Parámetro de interés para garantizar la sobrevivencia de las bacterias en los lodos activados
Fósforo Total	Parámetro de interés para garantizar la sobrevivencia de las bacterias en los lodos activados.

Comparando los resultados obtenidos en los siguientes instrumentos de recolección:

**Tabla 7.** Verificación de resultado de laboratorio

RESULTADOS PRUEBAS DE LABORATORIO				
PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MÁX LÍMITE PERMISIBLE	FECHA	
			Resultado	Verificación
<b>Verificación</b>	Observaciones:			
<b>CUMPLE</b>				
<b>NO CUMPLE</b>				
<b>No Aplica (NA)</b>				

Luego de realizar la verificación de los resultados, se efectuarán los respectivos análisis de la información obtenida, dejando como resultado el reporte de los datos por medio de un informe.

La última etapa consiste en el **ajustar**, en donde se determina la ejecución de pautas, soluciones y posibles mejoras que se consideraren necesarias, evidenciando posibles cambios que permitan realmente alcanzar los objetivos

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

propuestos desde el principio.

En caso de que los sistemas cumplan con los resultados esperados, se proponen las recomendaciones para la mejora de los procesos de tratamiento de las aguas residuales no domésticas, para una mejor eficiencia de estos, y estableciendo la parametrización de las variables, que, de acuerdo con los ensayos realizados en diferentes condiciones, se logren identificar los puntos óptimos de operación.

Finalmente, es en esta etapa donde se dará respuesta a la pregunta de investigación planteada en el inicio del presente trabajo: ¿Es posible que la empresa Tintatex cumpla con lo establecido en el Artículo N 13 de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente mediante los sistemas de tratamiento de agua residual no doméstica implementados?

Es importante resaltar que una vez dada la respuesta a la pregunta anterior y ser identificados los objetivos no alcanzados en el tratamiento, se recomendará a la empresa comenzar nuevamente con el ciclo, donde se les permita regresar a la etapa de planeación para plantear las acciones necesarias que lleven al respectivo cumplimiento a la normatividad.

## **6. Abordaje ético**

En el desarrollo del presente trabajo se elaborará la bibliografía de manera clara y detallada, citando el material consultado, que permita identificar las fuentes de información, respetar los derechos de autor y otorgar créditos a los autores originales.

Para la recolección de la información se firmó un contrato de confidencialidad por parte de las estudiantes, asesor académico, la coordinadora del programa académico y el representante legal de la empresa Tintatex S.A, para el fin de garantizar el uso adecuado y discreto de la información brindada por la empresa, siendo importante mencionar que no se realizará otro uso de la información con fines que no sean académicos.

Los resultados que se obtengan en las caracterizaciones se reportarán de acuerdo con las mediciones realizadas y datos de laboratorio obtenidos, siendo muy transparentes en el diligenciamiento de formatos, destacando que los resultados se presentarán de manera imparcial sin tener influencias personales que puedan afectar la credibilidad de estos, además los resultados serán presentados en un lenguaje fácil, claro, honesto y preciso.

Los resultados van a hacer entregados de manera oficial a la Autoridad Ambiental, tal cual como se encuentren reportados en los informes de los laboratorios acreditados encargados de monitorear los parámetros del vertimiento, sin ser modificados ni alterados por el contratista ni por la empresa.

Toda la información secundaria a la que se tenga acceso será con previa solicitud al responsable de dicha información, donde todo sea debidamente concertado, comunicado y autorizado, respetando las decisiones tomadas por parte de la empresa. En el Anexo 1 se presenta el consentimiento informado por parte de la empresa y las estudiantes.

## **7. Aspectos administrativos**

### **1.1 Factibilidad**

#### ***7.1.1 Factibilidad técnica:***

El presente proyecto de desarrollo cuenta con el personal adecuado y capacitado para lograr ejecutarlo, ya que cuenta con dos estudiantes de Administración Ambiental y Sanitaria de octavo semestre, las cuales son Tecnólogas en Saneamiento Ambiental donde una de las estudiantes está vinculada directamente con la empresa y el proyecto, conociendo así de primera mano los avances de este y la otra estudiante trabaja en una empresa cuyo enfoque es la prestación del servicio de acueducto y alcantarillado en ámbitos domésticos e industriales lo que garantiza experiencia para brindar un adecuado acompañamiento a este proyecto.

Adicionalmente, se cuenta con toda la experiencia del asesor del trabajo, quien es Ingeniero Sanitario quien tiene una larga trayectoria en asesorías, procesos constructivos, acompañamientos y demás en los sistemas de tratamiento para agua residual, dado que es quien acompaña y guía el proceso, lo que permitirá un adecuado cumplimiento de los objetivos.

La empresa tiene también un laboratorio dotado con los equipos necesarios para ejecutar los análisis a los parámetros bases de la normatividad, lo que garantizará un seguimiento periódico de la eficiencia de ésta.

#### ***7.1.2 Factibilidad financiera***

Este proyecto cuenta los recursos financieros necesarios para ejecutarse, dado que la empresa ya contó con las fuentes de financiación para el diseño, fabricación, transporte e implementación de la planta, una vez operando son pocos los recursos que debe destinar a la operación respecto a la inversión inicial; es decir, la empresa ya ha realizado los estudios financieros que le han permitido reconocer que debe invertir todos estos recursos económicos para lograr cumplir su objetivo de acuerdo a la normatividad vigente.

Estos recursos son financiados por la empresa, donde adicionalmente el conocimiento aportado para la ejecución del proyecto es financiado por la Universidad de Antioquia.

### ***7.1.3 Factibilidad legal***

En Colombia, el tratamiento de agua residual está regulado por diferentes normativas a nivel nacional, regional y local, donde este proyecto fue apoyado por la Corporación Empresarial del Oriente Antioqueño y Cornare como autoridad ambiental con el fin de en conjunto revisar la factibilidad de con estos sistemas cumplir con la normatividad, además de obtener todos los permisos ambientales como el permiso de vertimientos, y estando al tanto de cualquier actualización o modificación en las leyes y regulaciones ambientales que puedan afectar el tratamiento de agua residual.

### ***7.1.4 Factibilidad ambiental***

El proyecto es factible ambientalmente, ya que al presentar remociones mayores al 80% con el sistema implementado esto conlleva al cumplimiento de la norma, lo cual minimizará el impacto negativo actual al medio ambiente y todo su ecosistema como lo son el agua, suelo, flora y fauna.

## **7.2 Viabilidad**

### ***7.2.1 Viabilidad técnica***

El proyecto cuenta con la viabilidad técnica para llevarse a cabo, dado que se tiene todo el apoyo de la alta dirección de la organización, la cual se evidencia en la carta de respaldo firmada por el representante legal y la asignación de recursos humanos, económicos y físicos (53).

Donde también es importante mencionar, que es una planta diseñada bajo las características específicas del agua, tiempos de retención, caudales y demás sistemas que son importantes al momento de definir el tratamiento adecuado del

agua, todo esto de acuerdo con el RAS 0330 del 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y la Resolución 0631 del 2015 del Ministerio de Ambiente.

### ***7.2.2 Viabilidad financiera***

El proyecto cuenta con viabilidad financiera dado que según el sobrecosto que se pagaba por el tratamiento del agua vertida en la Cimarrona ha permitido que el presente proyecto tenga un ROI “Retorno de la Inversión” de 5 años (54).

### ***7.2.3 Viabilidad ambiental***

El proyecto es viable ambientalmente ya que se va a cumplir con las propuestas y lo estipulado en el plan de manejo del vertimientos y en el permiso de vertimientos de la empresa, para ello el proyecto está en constante análisis de control de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, incluye la implementación de un programa de monitoreo ambiental continuo para verificar el cumplimiento de los límites y estándares ambientales, así como el mantenimiento adecuado del sistema de tratamiento, por ende, se cuenta con el laboratorio dotado para los análisis diarios, además la realización de las caracterizaciones que por obligación deben realizarse cada año, y se cuenta con el personal operativo para los mantenimientos constantes que conlleva la planta para su adecuada operación.

### ***7.2.4 Viabilidad legal***

La normatividad relevante en este proyecto es la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente que establece los límites máximos permisibles de vertimientos de aguas residuales para las diferentes actividades económicas en Colombia. Por lo que el proyecto es viable con el cumplimiento de los límites máximos permisibles de los parámetros establecidos en el Artículo 13 de la Resolución.

En toda la implementación del sistema de tratamiento se ha estado de la mano con la autoridad ambiental competente para garantizar el cumplimiento de

todas las regulaciones y requisitos legales.

### ***7.2.5 Viabilidad social***

Este proyecto de desarrollo no afectará los intereses y/o el bienestar de la comunidad de la Vereda Belén ni al personal empleado de la empresa; sino por el contrario, generará impactos positivos a mejores estilos de vida y mejorar la calidad del agua de la Quebrada La Cimarrona.

### **7.3 Cronograma**

El cronograma se realizó teniendo en cuenta las etapas del Ciclo PHVA y las actividades a desarrollar en esta metodología. En el Anexo 2, se presenta el cronograma de actividades.

### **7.4 Presupuesto**

A continuación, se evidencian los costos de las actividades que conforman el proyecto. En el Anexo 3, se presenta el presupuesto.

## **8. Proceso de recolección**

Los instrumentos de recolección utilizados en esta etapa se presentan en el Anexo 4, donde se evidencian las entradas y salidas de cada objetivo o proceso, la recolección y análisis de información están comprendidas en listas de chequeo de materiales, equipos, monitoreos, en registros operacionales, formatos de toma de muestra y parámetros en campo y resultados de los análisis de laboratorio.

## **9. Sistematización de la información**

Después del proceso de recolección de datos, la sistematización se llevará a cabo utilizando herramientas como Excel, Word y Power BI, las cuales facilitarán la creación de gráficos de análisis. Estas herramientas permitirán examinar la información mediante representaciones visuales, las cuales serán útiles para identificar las tendencias de los parámetros analizados durante las caracterizaciones y los análisis internos.

## **10. Resultados y análisis**

### **10.1 Descripción del sistema anterior (Plantas Cimarrona) y análisis de sus resultados**

Tintatex S.A, empresa dedicada al acabado de las telas, subcontractaba el tratamiento de sus aguas residuales a través de Plantas La Cimarrona, la cual era una sociedad entre tres empresas textiles ubicadas contiguamente. Este sistema de tratamiento funcionó durante aproximadamente 30 años y contaba con procesos fisicoquímicos y biológicos para la remoción de cargas contaminantes. Sin embargo, con las últimas actualizaciones normativas sobre la calidad de los vertimientos, se requerían mejoras significativas para garantizar el cumplimiento de los parámetros. Por consiguiente, las empresas tomaron la decisión de cerrar Plantas La Cimarrona y establecer sistemas de tratamiento independientes.

Estos nuevos sistemas fueron avalados por parte de la Corporación Autónoma Regional (CORNARE), a través del “Plan de Mejoramiento del Vertimiento”. La última caracterización realizada al vertimiento de las Plantas La Cimarronas, el 06 de octubre de 2020, dio a conocer que el sistema no cumplía con cinco parámetros establecidos en la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente: hidrocarburos totales, sulfuros, cadmio, Sólidos Suspendidos Totales y Cloruros. Además, aunque el nivel de DBO estaba dentro del límite establecido por la normatividad, la DQO apenas cumplía por debajo del 1,25% de su rango permitido.

Los resultados se reportan en la siguiente tabla y se presentan en el Anexo 5. Resultados caracterización Plantas Cimarrona.

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

**Tabla 8.** Resultados pruebas de laboratorio

RESULTADOS PRUEBAS DE LABORATORIO				
PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MÁX LÍMITE PERMISIBLE	FECHA: 06/10/2020	
			Resultado Salida	Verificación
pH	Unidades de pH	6,0 - 9,0	mín: 7,36	CUMPLE
			máx: 7,55	CUMPLE
Temperatura	°C	40	17,6	CUMPLE
DQO	mg/L	400,00	395,3	CUMPLE
DBO5	mg/L	200,00	22,1	CUMPLE
SST	mg/L	50,00	52,7	NO CUMPLE
SSED	mg/L	2,00	< 0,1	CUMPLE
Grasas y aceites	mg/L	20,00	< 15	CUMPLE
Fenoles	mg/L	10,00	< 0,100	Análisis y reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/L	1.200,00	< 0.250	Análisis y reporte
Hidrocarburos totales	mg/L	10	< 15	NO CUMPLE
AOX	mg/L	Análisis y reporte	—	—
Ortofosfatos	mg/L	Análisis y reporte	0,294	Análisis y reporte
Fósforo total	mg/L	Análisis y reporte	1,648	Análisis y reporte
Nitratos	mg/L	Análisis y reporte	< 0,40	Análisis y reporte
Nitrógeno amoniacal	mg/L	Análisis y reporte	< 2,0	Análisis y reporte
Nitrógeno total	mg/L	Análisis y reporte	< 20,00	Análisis y reporte
Nitrógeno Total NTK	mg/L	Análisis y reporte	—	Análisis y reporte
Cloruros	mg/L	1200	2149,5	NO CUMPLE
Sulfatos	mg/L	Análisis y reporte	1037,3	Análisis y reporte
Sulfuros	mg/L	1,00	< 2,00	NO CUMPLE
Cadmio Total	mg/L	0,02	< 0,05	NO CUMPLE
Zinc Total	mg/L	3,00	< 0,05	CUMPLE
Cobalto Total	mg/L	0,5	< 0,05	CUMPLE
Cobre Total	mg/L	1,00	0,075	CUMPLE
Cromo Total	mg/L	0,50	< 0,05	CUMPLE
Níquel Total	mg/L	0,50	< 0,10	CUMPLE
Acidez total	mg/L	Análisis y reporte	72,93	Análisis y reporte
Alcalinidad total	mg/L	Análisis y reporte	574,3	Análisis y reporte
Dureza cálcica	mg/L	Análisis y reporte	56,95	Análisis y reporte
Dureza total	mg/L	Análisis y reporte	114,9	Análisis y reporte
Color real (436nm)	m-1	Análisis y reporte	5,9	Análisis y reporte
Color real (525nm)	m-1	Análisis y reporte	3,5	Análisis y reporte
Color real (620nm)	m-1	Análisis y reporte	1,6	Análisis y reporte
Surfactantes	mg/L	Análisis y reporte	—	Análisis y reporte
Caudal promedio	l/s	NA	18,32	No Aplica (NA)
Verificación	Observaciones:			
CUMPLE				
NO CUMPLE				
No Aplica (NA)				

## 10.2 Descripción del nuevo sistema de tratamiento de agua residual

Para llevar a cabo la evaluación de las características del agua residual, se inició con una revisión de la información primaria disponible. Esta etapa permitió obtener un entendimiento preliminar del sistema de tratamiento. Posteriormente, se llevaron a cabo visitas en campo para comprender y determinar con precisión el funcionamiento del sistema. Este paso resultó de gran importancia para planificar y ejecutar las caracterizaciones de manera efectiva.

En la siguiente tabla se presenta una descripción detallada de las estructuras y equipos que componen el sistema de tratamiento de agua residual de Tintatex S.A. Esto proporciona una visión clara de la infraestructura disponible y sus capacidades operativas.

**Tabla 9.** Estructuras del sistema

ESTRUCTURA	IMAGEN	GENERALIDADES	FUNCIÓN
<p align="center"><b>Tanque homogenizador A0</b></p>		<p>Tanque de concreto con una capacidad de 600 m<sup>3</sup></p>	<p>Al salir del tanque del proceso industrial, el agua es conducida por la tubería existente hasta el antiguo tanque de neutralización de La Cimarrona, el cual cuenta con un tamiz automático y el primer filtro de cribado, aquí el agua sigue el proceso de homogenización y disminución de temperatura; de este tanque es transportada mediante una tubería PVC RDE21 de 10" hasta llegar al nuevo sistema.</p>
<p align="center"><b>Tanque de levantamiento A1</b></p>		<p>Tanque en concreto que recibe el agua antes de ingresar al siguiente tanque de homogenización.</p>	<p>El sistema actual inicia con un tanque de recepción denominado "A1" el cual tiene un tamiz automático y auto limpiante, este cuenta con dos bombas que impulsan el agua de entrada hasta el tanque de homogenización denominado "A2"</p>

**Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

ESTRUCTURA	IMAGEN	GENERALIDADES	FUNCIÓN
<p align="center"><b>Tanque homogenizador A2</b></p>		<p>Tanque de láminas vitrificadas con capacidad efectiva de 680 m3.</p>	<p>En el tanque de homogenización denominado "A2" se termina el proceso de homogenización del agua, este tanque cuenta con un mixer y un proceso de aireación.</p>
<p align="center"><b>Medidor de pH en línea</b></p>		<p>Tablero de medición en línea de pH que transmite los resultados al panel principal de operación de la planta.</p>	<p>Mediante este tablero ubicado a la salida del tanque A2, se realiza el seguimiento del pH, parámetro de gran relevancia para el buen funcionamiento de los reactores.</p>
<p align="center"><b>Reactores biológicos 1 "A3" y 2 "A4"</b></p>		<p>Reactores construidos en laminas vitrificadas, cuentan con una capacidad de 980 m3 y un tiempo de retención de 24 horas.</p>	<p>Después del tanque de homogenización A2, el agua ingresa a los reactores biológicos A3 y A4. Cada uno cuenta con un medidor volumétrico que contabiliza el caudal de entrada, además de tener un tablero que permite medir en línea los parámetros de interés como el oxígeno disuelto y temperatura. La función de estos tanques es descontaminar el agua mediante el proceso de oxidación total a través de lodos activados, los cuales degradan los contaminantes por medio de bacterias aerobia.</p>
<p align="center"><b>Tanque repartidor y bombas dosificadoras</b></p>		<p>Tanque de concreto con capacidad de 350 m3.</p>	<p>El agua llega al tanque repartidor por gravedad mediante el sistema de reboso de los reactores, para adicionar el químico utilizado en el proceso mediante bombas dosificadoras y conducir el agua finalmente al tanque decantador.</p>

**Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

ESTRUCTURA	IMAGEN	GENERALIDADES	FUNCIÓN
<p align="center"><b>Tanque Decantador</b></p>		<p>Tanque de láminas vitrificadas con forma cónica, capacidad de 345 m3 y un puente raspador.</p>	<p>En el tanque decantador se forma una capa de lodo en el fondo por la acción del agente coagulante y floculante, mientras que en la superficie se encuentra el agua clarificada.  Una parte del lodo es recirculada a los reactores.</p>
<p align="center"><b>Sistema de filtración</b></p>		<p>Constituido por 3 filtros: 2 de arena y 1 de carbón activado.</p>	<p>Estos filtros reciben el agua clarificada al salir del decantador, con el fin de remover sólidos y color.</p>
<p align="center"><b>Tanque de recepción de agua filtrada</b></p>		<p>Tanque de concreto con capacidad de 2 m3.</p>	<p>Este tanque recibe el agua que sale de los filtros y la conduce por una tubería hasta la canaleta Parshall.</p>
<p align="center"><b>Tanque espesador de lodos</b></p>		<p>Tanque de concreto con capacidad de 20 m3.</p>	<p>Este tanque tiene como función principal recibir los lodos de la purga, es decir, los lodos que por exceso ya no son recirculados a los reactores, con el fin de almacenarlos antes de ser deshidratados en el tornillo prensa.</p>

**Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

ESTRUCTURA	IMAGEN	GENERALIDADES	FUNCIÓN
Tornillo prensa		Capacidad nominal máxima 6 m <sup>3</sup> /hora.	Este tornillo realiza el proceso de deshidratación de los lodos. Cuenta con su propio tanque de preparación de floculante, químico que ayudará en la separación del agua y del lodo, ya que, al mezclarse en la entrada, el tornillo podrá realizar de forma eficiente el prensado y obtener un lodo con un porcentaje de agua menor al 10%.
Salida PTAR (Canaleta parshall)		Estructura de concreto.	Estructura en concreto de 10 cm de largo y 48 cm de profundidad. La cual se encuentra en el punto donde se realiza la descarga.

Mediante la información levantada en campo fue posible realizar la caracterización de las estructuras y equipos que integran el sistema de tratamiento de aguas residuales, y con esto, fue posible elaborar el esquema del sistema, el cual permite visualizar de forma clara cada proceso involucrado. En el Anexo 6 se presente el esquema.

Además, se estableció una bitácora para mantener un registro de todas las visitas realizadas, junto con sus objetivos y la evidencia correspondiente. La siguiente tabla muestra estos registros detalladamente.

**Tabla 10.** Bitácora para visitas de campo

BITACORA PARA VISITAS DE CAMPO				
FECHA	RESPONSABLES	OBJETIVO	OBSERVACIONES	FOTOGRAFÍAS
09/mayo/2023	Maria Camila Alzate, Maria Paula Ocampo, José Jairo Barrera y Yesid Ruiz	Primera visita de campo	*Se realizó el primer recorrido por parte de las 2 estudiantes y el asesor para conocer el proceso productivo y la planta de tratamiento.	N/A

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

### BITACORA PARA VISITAS DE CAMPO

14/junio/2023	Maria Camila y Maria Paula	Análisis de parámetros in situ	<p>*Se llevó a cabo un chequeo de parámetros base como pH, conductividad, temperatura.</p>	
29/julio/2023	Maria Camila y Maria Paula	Revisión de documentación secundaria y análisis de parámetros base	<p>*Se realizó un seguimiento a parámetros de pH y Solidos Suspendidos.                      *Se revisaron manuales sobre el funcionamiento de la PTAR.                      *Se verificó nuevamente el funcionamiento de los procesos.</p>	
2/agosto/2023	Maria Camila y Maria Paula	Caracterización compuesta previa a la caracterización oficial	<p>*Se realizó una caracterización compuesta a los parámetros principales como DBO, DQO, Solidos, Nitrógeno y Fosforo.                      *Se realizó con el fin de determinar el estado de la planta antes de la caracterización oficial.</p>	
30/agosto/2023	Maria Camila y Maria Paula	Caracterización y prueba piloto de los formatos	<p>*Se realizó la caracterización compuesta oficial del sistema para verificar su eficiencia y cumplimiento normativo luego de tres meses de estabilización.</p>	
19/septiembre/2023	Maria Camila, Maria Paula y Proveedores Inquisalva	Ensayo de prueba de jarras de decolorante	<p>*El objetivo de dicho ensayo fue revisar la dosis óptima del decolorante ofrecido por el proveedor de El Salvador, con el fin de determinar la cantidad necesaria para la importación inicial.</p>	

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

BITACORA PARA VISITAS DE CAMPO					
25/octubre/ 2023	Maria Camila y Maria Paula	Verificación del resultado de cloruros en la caracterización oficial	*Se repitió la medición del parámetro de cloruros.		
15/diciembre/ 2023	Maria Camila, Maria Paula y Técnico Idrosistem	Medición de parámetros básicos.	Realización de caracterización para verificación de parámetros junto al técnico de Idrosistem.		
13/febrero/ 2024	Maria Camila y Maria Paula	Caracterización compuesta.	*Se realizó análisis de los parámetros: pH, temperatura, DBO, DQO y Sólidos totales, con el fin de comparar resultados finales y recolectar información para el presente trabajo.		
05/abril/20 24	Maria Paula Ocampo	Caracterización puntual: SST	*Se realizó un monitoreo simple para verificar el valor del parámetro a medir, ya que el 13/feb no se midió este parámetro		

### 10.3 Inicio operacional

Inicialmente, Tintatex tenía contemplado tres sistemas de tratamiento, el primero consistía en un método de nano-ultrafiltración para el tratamiento de cloruros, seguido por un sistema biológico de oxidación total para lograr un tratamiento completo del agua, por último, un sistema con ozono para la remoción del color.

El 1 de mayo del 2023, la planta de tratamiento comenzó oficialmente

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

operaciones, centrándose en el sistema biológico de oxidación total. Este sistema requirió un periodo para el inicio operacional y la siembra de la biomasa. La siembra se llevó a cabo con antelación, dado que Plantas La Cimarrona había estado tratando exclusivamente el agua de Tintatex por más de seis meses. Por lo tanto, el 25 de abril del 2023, se inició el inóculo de la biomasa a los reactores biológicos, asegurando que cada uno contuviera al menos 300 mg/l de biomasa. Durante al menos cuatro días consecutivos, se proporcionó una aireación constante para asegurar el desarrollo de una población microbiana adecuada capaz de degradar la materia orgánica presente en el agua.

En este período, las bacterias, con niveles de oxígeno entre 0,5 y 3,0 mg/l, lograron una reproducción exponencial. En los laboratorios de Tintatex se observó mediante el estereoscopio la proliferación de diversas familias microbianas, incluyendo amebas, flagelados, ciliados nadadores y sésiles, rotíferos e incluso lombrices.

**Figura 6.** Observación de microorganismos presentes en los lodos de los reactores



El lodo, inicialmente planificado para ser purgado seis meses después del inicio operacional, mostró la necesidad de una acción anticipada de purga a los cinco meses, ya que, en este punto, la recirculación del lodo a los reactores, que era 1.5 veces mayor que la entrada, ya no era suficiente. Además, se requirió la extracción (purga) de lodo del decantador, ya que para esa fecha los niveles en

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

los Conos Imhoff superaban las recomendaciones del proveedor que indicaban un máximo de 600 mg/l en los reactores y 900 mg/l en el decantador (la prueba de laboratorio con Cono Imhoff se utiliza para determinar la cantidad de sólidos presentes en el agua). Los resultados arrojaron más de 800 mg/l en los reactores biológicos y más de 950 mg/l en el decantador.

**Figura 7.** Resultados prueba con Cono Imhoff



Adicionalmente, Plantas La Cimarrona seguía en funcionamiento, por lo que le prestaba a Tintatex el servicio de laboratorio, realizándole análisis de parámetros como la DQO, DBO, SST y ST, ya que, se requería llevar el seguimiento de estos resultados y también de los datos diarios como pH, caudal, temperaturas y oxígeno disuelto para diligenciarlo en un formato de registros operativos, con datos desde el 01 de mayo 2023 hasta 29 de febrero de 2024. En el Anexo 7 se presentan los datos de funcionamiento.

Después de la revisión de la información disponible y el análisis del sistema, se llevaron a cabo dos visitas con el propósito de obtener un entendimiento más profundo de la planta de tratamiento. Durante estas visitas, se evaluaron parámetros in situ como el pH, la temperatura y los sólidos sedimentables. Estas mediciones preliminares fueron parte de una caracterización previa, realizada tres meses después de la puesta en marcha de la planta, con el fin de obtener una visión más completa de su estado actual.

Para esta fecha se llevó a cabo la etapa de verificación y ajuste del ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar). Durante esta fase, la alta dirección

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

tomó la decisión de postergar temporalmente la implementación del sistema de nano-ultrafiltración.

Esta decisión se basó en una revisión detallada de información que indicaba de sostenibilidad económica a largo plazo de dicho sistema. Se identificaron posibles problemas, como la obstrucción de las membranas del sistema debido a la acumulación de carga contaminante, lo que requeriría un mantenimiento más frecuente y costoso del esperado (mantenimientos generales de forma mensual en lugar de semestral).

Por lo tanto, se suspendió la instalación del sistema mientras se buscaban condiciones de operación adecuadas y se exploraban otras alternativas viables para cumplir con los estándares de calidad del agua, no solo con el parámetro de cloruros, sino también con el plan de mejoramiento del vertimiento, y los compromisos adquiridos con la corporación autónoma.

En la búsqueda de alternativas para mitigar la contaminación del agua con cloruros, se evaluaron opciones que pudieran prevenir esta contaminación desde la fuente, eliminando así la necesidad de su posterior remoción. Durante este proceso, se identificó un proveedor que ofrecía productos químicos con una tecnología innovadora, los cuales fueron implementados por la compañía, estos productos permitieron reducir significativamente la cantidad de cloruros necesarios en el proceso al cambiar de colorantes que requerían 80 mg/l a otros que solo necesitaban 30 mg/l, especialmente en el caso de colorantes oscuros como el negro, lo que resultó en un cambio positivo en los niveles de contaminación. Esta acción representó una fase de planificación en el ciclo PHVA, donde se estudiaron y seleccionaron soluciones más efectivas y eficientes para el tratamiento del agua, en línea con los principios de mejora continua y adaptación a nuevas circunstancias.

Además, se llevó a cabo un análisis interno de los químicos empleados en el proceso, identificando aquellos que contribuían en mayor medida a la carga de DQO en la planta. Como resultado de este análisis, se realizó una transición sustancial, sustituyendo al menos el 50% de estos químicos por alternativas orgánicas biodegradables.

El sistema de ozono constituiría el tratamiento terciario, esto significa que, después de pasar por la nano-ultrafiltración y la oxidación total, el agua, libre de la carga contaminante, se sometería al proceso de ozonización para eliminar el color residual, Por este motivo, era necesario que las etapas anteriores estuvieran completamente estabilizadas para asegurar la eficacia de este sistema, por lo tanto, se definió que este sistema no entraría en funcionamiento sin antes asegurar la estabilización completa de la oxidación total.

Con el objetivo de asegurar el cumplimiento de todas las condiciones mínimas necesarias para llevar a cabo una caracterización precisa, se desarrollaron formatos específicos que facilitarían el proceso y garantizarían la confiabilidad de los resultados. En este sentido, se estableció un formato denominado "Lista de Chequeo para Caracterizaciones". Este formato permitió llevar un seguimiento detallado de las caracterizaciones realizadas, identificando los responsables, los parámetros de interés y el laboratorio al que se enviaron las muestras para su análisis. En el Anexo 8 se presenta la lista de chequeo.

Además, se diligenció el formato que enumera los equipos y materiales requeridos para llevar a cabo cada caracterización. Se evaluó la presencia de cada elemento necesario, indicando si estuvo presente, no estuvo presente o si no aplicaba en cada caso particular. En el Anexo 9 se presenta el formato de equipos y materiales.

#### **10.4 Descripción, especificaciones y resultados de las caracterizaciones**

Dentro del seguimiento al inicio operacional se estableció llevar a cabo controles que permitieran el reconocimiento del tratamiento que estaba realizando el sistema, por este motivo, se realizaron monitoreos en distintas fechas y a diferentes variables, establecidas según las necesidades de la empresa para cada momento de medición. De igual manera, los monitoreos se llevaron a cabo conforme a los parámetros y límites máximos permisible especificados en el Artículo 13 de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente. Las muestras fueron recolectadas y analizadas en un laboratorio

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

externo con parámetros acreditados.

**Tabla 11.** Información sobre las caracterizaciones

INFORMACIÓN SOBRE CARACTERIZACIONES				
FECHA	PARAMETROS	PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE MONITOREO	OBJETIVO
2 de agosto de 2023	DBO, DQO, ST, pH, Temperatura, Fosforo Total y Nitrogeno Total	Entrada PTAR	Compuesto	Seguimiento y control
2 de agosto de 2023	DBO, DQO, ST, pH y Temperatura	Salida PTAR	Compuesto	Seguimiento y control
31 de agosto de 2023	Cloruros, DBO, DQO y SST	Entrada PTAR	Compuesto	Oficial (entrega a la autoridad ambiental)
30 y 31 de agosto de 2023	Todos los establecidos en el Art. 13 de la Resolución 0631/2015	Salida PTAR	Compuesto	Oficial (entrega a la autoridad ambiental)
25 de octubre de 2023	Temperatura, pH, DBO, DQO, ST y Cloruros	Salida PTAR	Compuesto	Seguimiento y control
15 de diciembre de 2023	pH, Temperatura, Color verdadero (436, 525, 620), DQO, SST, Fosforo Total y Nitratos	Salida PTAR	Puntual	Requerimiento proveedor del sistema
13 de febrero de 2024	pH, Temperatura, DQO, DBO, ST y Cloruros	Salida PTAR	Compuesto	Seguimiento y control
05 de abril de 2024	Sólidos Suspendidos Toales	Salida PTAR	Puntual	Seguimiento y control

A continuación, se detallan las caracterizaciones del agua residual llevadas a cabo en la nueva planta de tratamiento, junto con sus respectivos resultados y análisis:

- **Caracterización 02 de agosto del 2023**

El 02 de agosto de 2023 se realizó la primera caracterización con un laboratorio externo, este fue un monitoreo de agua residual – compuesto de 3,5 horas con alícuotas cada media hora en la entrada y salida de la planta de tratamiento, en el sitio se realizó el registro del caudal, pH y temperatura ambiente, las muestras compuestas se llevaron al laboratorio ambiental de Cornare para los análisis de DBO, DQO y ST clasificados en el capítulo VI,

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

artículo 13 de la Resolución 0631 del 17 de marzo del 2015 del Ministerio de Ambiente.

Para la recopilación de los parámetros en sitio, se empleó la tabla de toma de muestras, disponible en el Anexo 10 titulado "Toma de muestras y parámetros en campo". Específicamente, se puede consultar la sección 10.1 correspondiente a la fecha del monitoreo realizado.

En la siguiente tabla se logra evidenciar el formato establecido para comparar los resultados respecto a los límites máximos permisibles de la norma y verificar el cumplimiento o incumplimiento de estos:

**Tabla 12.** Resultados pruebas de laboratorio 02/08/2023

RESULTADOS PRUEBAS DE LABORATORIO						
PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MÁX LÍMITE PERMISIBLE	FECHA: 02/08/2023			
			Resultado Entrada	Resultado Salida	Verificación	Eficiencia
pH	Unidades de pH	6,0 - 9,0	mín: 7,48	mín: 7,61	CUMPLE	No Aplica (NA)
			max: 7,72	max: 7,75	CUMPLE	No Aplica (NA)
Temperatura	°C	40	37	33	CUMPLE	No Aplica (NA)
DQO	mg/L O2	400,00	1.432,10	513	NO CUMPLE	64%
DBO5	mg/L O2	200,00	338,9	64,7	CUMPLE	81%
Sólidos Totales	mg/L	NA	5.526	5.157	No Aplica (NA)	7%
Caudal promedio	l/s	NA	–	10	No Aplica (NA)	No Aplica (NA)
Verificación						
CUMPLE						
NO CUMPLE						
No Aplica (NA)						

La caracterización del 02 de agosto dio indicios de que la planta ya tenía remociones importantes, para la DBO se obtuvo una concentración en la salida de 64,7 mg/l para un porcentaje de remoción del 81% en comparación con el resultado de la entrada que fue de 338,9 mg/l, y para la DQO ya alcanzaba un porcentaje de remoción del 64% con una concentración en la salida de 513 mg/l, la cual no fue suficiente para cumplir con el límite máximo permisible, por ende, se iniciaron ensayos ajustando la dosis de coagulante.

En este monitoreo, se realizó el análisis de Sólidos Totales debido a un error de la empresa al solicitar la cotización al laboratorio externo, donde se debió especificar Sólidos Suspendidos Totales.

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

Los valores de pH y temperatura medidos durante el muestreo para la entrada y salida se encontraron dentro de lo permitido por la normatividad.

Estos resultados se encuentran disponibles en el Anexo 11, sección 11.1, titulado "Resultados de laboratorio externo".

- **Caracterización 30 y 31 de agosto del 2023**

Esta caracterización se realizó con el objetivo de darle cumplimiento a la prórroga establecida en el plan de manejo del vertimiento, la cual definiría el cumplimiento o no del plan, y la eficiencia de los sistemas implementados. Por lo tanto, el 30 de agosto de 2023 se realizó el monitoreo de agua residual – compuesto de 24 horas con alícuotas cada hora en la salida de la planta de tratamiento, en el sitio se realizó el registro del caudal, pH, temperatura ambiente y humedad relativa, las muestras compuestas se llevaron al laboratorio Acuazul Ltda., para los análisis de los parámetros clasificados en el capítulo VI, artículo 13 de la Resolución 0631 del 17 de marzo del 2015 del Ministerio de Ambiente.

El 31 de agosto de 2023 se realizó el monitoreo de agua residual – compuesto de 6 horas con alícuotas cada hora en la entrada de la planta de tratamiento, en el sitio se realizó el registro del caudal, pH, temperatura ambiente y humedad relativa, las muestras compuestas se llevaron al laboratorio Acuazul Ltda.

Para la recopilación de los parámetros en sitio, se empleó la tabla de toma de muestras, disponible en el Anexo 10, sección 10.2, titulado "Toma de muestras y parámetros en campo".

En la siguiente tabla se logra evidenciar el formato establecido para comparar los resultados con los límites máximos permisibles de la norma y verificar el cumplimiento o incumplimiento de los mismos:

**Tabla 13.** Resultados pruebas de laboratorio 30 y 31 /08/2023

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

RESULTADOS PRUEBAS DE LABORATORIO						
PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MÁX LÍMITE PERMISIBLE	FECHA: 30/08/2023			
			Resultado Entrada	Resultado Salida	Verificación	Eficiencia
pH	Unidades de pH	6,0 - 9,0	mín: 7,69	mín: 6,6	CUMPLE	No Aplica (NA)
			máx: 7,9	máx: 7,72	CUMPLE	No Aplica (NA)
Temperatura	°C	40	35,23	33,2	CUMPLE	No Aplica (NA)
DQO	mg/L	400,00	2957	255	CUMPLE	91%
DBO5	mg/L	200,00	455	186	CUMPLE	59%
SST	mg/L	50,00	75	10	CUMPLE	87%
SSED	mg/L	2,00	-	1	CUMPLE	No Aplica (NA)
Grasas y aceites	mg/L	20,00	-	1,08	CUMPLE	No Aplica (NA)
Fenoles	mg/L	10,00	-	< 1	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/L	1.200,00	-	177	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Hidrocarburos totales	mg/L	10	-	< 1,00 ± ND	CUMPLE	No Aplica (NA)
AOX	mg/L	Análisis y reporte	-	< 0,05 ± ND	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Ortofosfatos	mg/L	Análisis y reporte	-	< 2,000 ± ND	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Fósforo total	mg/L	Análisis y reporte	-	2,809 ± 0,067	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Nitratos	mg/L	Análisis y reporte	-	23,401 ± 1,123	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Nitrógeno amoniacal	mg/L	Análisis y reporte	-	< 5,0 ± ND	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Nitrógeno total	mg/L	Análisis y reporte	-	19,0 ± 0,7	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Nitrógeno Total NTK	mg/L	Análisis y reporte	-	13,7 ± 0,7	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Cloruros	mg/L	1200	169,152	177,966	CUMPLE	-5%
Sulfatos	mg/L	Análisis y reporte	-	537,090 ± 33,837	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Sulfuros	mg/L	1,00	-	< 1,0 ± ND	CUMPLE	No Aplica (NA)
Cadmio Total	mg/L	0,02	-	< 0,010 ± ND	CUMPLE	No Aplica (NA)
Zinc Total	mg/L	3,00	-	< 0,060 ± ND	CUMPLE	No Aplica (NA)
Cobalto Total	mg/L	0,5	-	< 0,050 ± ND	CUMPLE	No Aplica (NA)
Cobre Total	mg/L	1,00	-	< 0,050 ± ND	CUMPLE	No Aplica (NA)
Cromo Total	mg/L	0,50	-	< 0,100 ± ND	CUMPLE	No Aplica (NA)
Níquel Total	mg/L	0,50	-	< 0,100 ± ND	CUMPLE	No Aplica (NA)
Acidez total	mg/L	Análisis y reporte	-	< 15,0 ± ND	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Alcalinidad total	mg/L	Análisis y reporte	-	62,6 ± 3,8	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Dureza cálcica	mg/L	Análisis y reporte	-	15,2 ± 0,9	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Dureza total	mg/L	Análisis y reporte	-	121,2 ± 9,3	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Color verdadero	mg/L	Análisis y reporte	-	27,8 ± 0,81	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Color verdadero	mg/L	Análisis y reporte	-	23,6 ± 0,69	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Color verdadero	mg/L	Análisis y reporte	-	11,3 ± 0,33	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Surfactantes	mg/L	Análisis y reporte	-	1529 ± 0,052	Análisis y reporte	No Aplica (NA)
Caudal promedio	l/s	NA	9,36	9,36	No Aplica (NA)	No Aplica (NA)
Verificación	Observaciones:					
CUMPLE						
NO CUMPLE						
No Aplica (NA)						

Para esta fecha se había identificado una dosis óptima de coagulante a 200 ppm en la salida de los reactores (tanque repartidor) y antes del decantador.

Los resultados de la caracterización de agua residual no doméstica demostraron cumplimiento de todos los parámetros establecidos en el artículo 13 de la Resolución 0631 del 2015 del Ministerio de Ambiente. Esto indica que el agua residual evaluada cumple con los estándares ambientales requeridos, lo que sugiere un buen control sobre la calidad del agua en los procesos. Esta conformidad asegura el cumplimiento de los objetivos abordados en el plan de

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

mejora del vertimiento, confirmando que las acciones realizadas durante el tiempo en que se llevó a cabo el plan han sido satisfactorias. Estos resultados se encuentran disponibles en el Anexo 11, sección 11.2, titulado "Resultados de laboratorio externo".

Para DQO se obtuvo una eficiencia del 91%, para la DBO del 59%, SST del 87% y para los Cloruros del -5%. Este porcentaje negativo se debe a que, en la planta de producción, los baños de tela requieren un consumo variable de cloruros o sulfatos, dependiendo de la fibra y los colores a teñir, lo que genera una mayor variabilidad en este parámetro. Los valores de pH y temperatura medidos durante el muestreo para la entrada y salida se encontraron en lo permitido por la normatividad.

Basándose en estos resultados, la empresa Tintatex cumplió con la obligación de presentar el informe anual de agua residual ante Cornare, como lo exige la normativa vigente para todas las empresas según su permiso de vertimientos. Por ende, se mantuvo el seguimiento con monitoreos continuos para sostener la conformidad a lo largo del tiempo y que se puedan identificar y abordar cualquier cambio en la calidad del agua residual.

Es importante destacar que al ser un sistema nuevo, este requiere mejoras y ensayos constantes que aseguren una buena calidad del agua, pero al mismo tiempo garanticen los costos operacionales. Además, la implementación de nuevos ensayos y sistemas podría ocasionar desestabilización temporal en la operación correcta del sistema. Sin embargo, estos esfuerzos son fundamentales para obtener un conocimiento más profundo del sistema, incluyendo determinaciones de dosis óptimas, rangos de parámetros, y la selección adecuada de productos químicos.

Una vez establecidos los costos del m<sup>3</sup> tratado, la empresa buscó opciones de proveedores que logran ofrecer mejores precios sin perder la calidad del producto y, por ende, la calidad del agua tratada, por lo que en el mes de septiembre del año 2023 se tuvo una visita por parte de un proveedor Salvadoreño, el cual ofreció un nuevo coagulante llamado Klarefloc 7001 el cual es un polímero catiónico de alto peso molecular con alta densidad de carga, es

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

estable en un amplio rango de pH y es libre de metales pesados y formaldehído, y un floculante denominado por el proveedor Klarefloc E06 siendo un polímero en forma de emulsión catiónica y de muy alto peso molecular, obteniendo resultados óptimos en la prueba de jarras preparando el floculante al 0,1% y con una dosis de 5 ppm para las cuatro jarras, mientras que el coagulante tuvo en una dilución al 30%, alcanzando el cumplimiento de DQO con valores de 220 mg/l, 201 mg/l, 174 mg/l y 152 mg/l con unas dosis de 150, 200, 250 y 300 ppm respectivamente, donde se evidenció también que entre mayor sea la dosificación así mismo será la remoción de color, el registro fotográfico de esta prueba se encuentra en la Tabla 10. Bitácora para visitas de campo, en la fecha del 19 de septiembre del 2023.

Se obtuvo un lodo de mayor consistencia, y una vez revisada la propuesta dada por dicho proveedor se tomó la decisión de iniciar con la importación para realizar pruebas en planta.

El proceso de establecimiento de la relación cliente-proveedor, junto con la gestión del pago y envío del producto desde El Salvador hasta Colombia, se prolongó durante varios meses. Durante este tiempo, en la planta se continuaron explorando diferentes alternativas para garantizar el cumplimiento normativo y mejorar el costo por metro cúbico tratado. Se llevaron a cabo ensayos continuos con el producto disponible en ese momento, con el objetivo de encontrar el punto óptimo del mismo. Esto se basó en el conocimiento previo obtenido a partir de las características identificadas en pruebas anteriores, donde se estableció un rango de dosis entre 150 y 200 ppm.

- **Caracterización 25 de octubre del 2023**

El 25 de octubre de 2023 se realizó el monitoreo de agua residual – compuesto de 8 horas con alícuotas cada media hora en la salida de la planta de tratamiento, en el sitio se realizó el registro del caudal, pH y temperatura ambiente, las muestras compuestas se llevaron al laboratorio Acuazul Ltda. para los análisis de DBO, DQO, ST y cloruros con el fin de verificar la dosis aplicada del coagulante inicial en 180 ppm.

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

Para la recopilación de los parámetros en sitio, se empleó la tabla de toma de muestras, disponible en el Anexo 10, sección 10.3, titulado "Toma de muestras y parámetros en campo".

En la siguiente tabla se logra evidenciar el formato establecido para comparar los resultados respecto a los límites máximos permisibles de la norma y verificar el cumplimiento o incumplimiento de estos:

**Tabla 14.** Resultados pruebas de laboratorio 25/10/2023

RESULTADOS PRUEBAS DE LABORATORIO				
PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MÁX LÍMITE PERMISIBLE	FECHA: 25/10/2023	
			Resultado	Verificación
pH	Unidades de pH	6,0 - 9,0	mín: 7,52	CUMPLE
			máx: 7,75	CUMPLE
Temperatura	°C	40	32,4	CUMPLE
DQO	mg/L O2	400,00	529	NO CUMPLE
DBO5	mg/L O2	200,00	172	CUMPLE
Sólidos Totales	mg/L	NA	4.220	No Aplica (NA)
Cloruros	mg/L	1.200,00	1008	CUMPLE
Caudal promedio	l/s	NA	12,13	No Aplica (NA)
Verificación	Observaciones:			
CUMPLE				
NO CUMPLE				
No Aplica (NA)				

Los resultados se encuentran disponibles en el Anexo 11, sección 11.3, titulado "Resultados de laboratorio externo".

En este monitoreo, se realizó el análisis de Sólidos Totales debido a un error de la empresa al solicitar la cotización al laboratorio externo, donde se debió especificar Sólidos Suspendidos Totales.

Los valores de pH y temperatura medidos durante el muestreo se encontraron en lo permitido por la normatividad.

Tras analizar los resultados, se llegó a la conclusión de que la dosis de 170 ppm de coagulante no era suficiente para alcanzar los niveles deseados de DQO. Por lo tanto, se determinó que era necesario volver a utilizar la dosis de 200 ppm, sin importar los costos operativos asociados, mientras se esperaba la llegada del

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

nuevo producto importado. Además, se confirmó que el sistema biológico estaba funcionando de manera óptima, ya que la DBO se encontraba dentro de los límites establecidos por la normativa, con un resultado de 172 mg/l, siendo 200 mg/l el límite de este parámetro. Este hallazgo reafirmó la necesidad de utilizar productos químicos como coagulantes, decolorantes y/o floculantes para tratar la carga contaminante presente en el sistema.

A partir del 14 de noviembre del 2023 inicia la dosificación del coagulante y el floculante importado, el coagulante a un valor de 180 ppm y el floculante a 5 ppm, realizando un seguimiento interno constante de la estabilización de la planta; este proceso duró un mes completo y para esta fecha se tenía visita del proveedor del sistema para un acompañamiento y revisión del sistema y su funcionamiento, adicionalmente, este vendría a realizar el inicio operacional del tornillo prensa, el cual se retrasó dado que la Dirección de Impuestos y Aduana Nacionales (DIAN) lo detuvo aproximadamente 5 meses, por esto, para este punto ya era necesario haber iniciado la purga de lodos, indicada por los conos Imhoff, pero esta no habría logrado hacerse desde mayo hasta diciembre.

- **Caracterización 15 de diciembre del 2023**

El 15 de diciembre de 2023 se realizó el monitoreo de agua residual – puntual en la salida de la planta de tratamiento, en el sitio se realizó el registro del caudal, pH y temperatura, las muestras se llevaron al laboratorio Acuazul Ltda. para los análisis de algunos parámetros de interés que fueron requeridos por parte del proveedor del sistema como un control y seguimiento, requiriendo medir también DQO para comparar el resultado respecto a la norma a un mes del cambio de coagulante y el inicio de dosificación de floculante.

Para la recopilación de los parámetros en sitio, se empleó la tabla de toma de muestras, disponible en el Anexo 10, sección 10.4, titulado "Toma de muestras y parámetros en campo".

En la siguiente tabla se logra evidenciar el formato establecido para comparar los resultados con los límites máximos permisibles de la norma y verificar el cumplimiento o incumplimiento de los mismos:

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

**Tabla 15.** Resultados pruebas de laboratorio 15/12/2023

RESULTADOS PRUEBAS DE LABORATORIO				
PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MÁX LÍMITE PERMISIBLE	FECHA: 15/12/2023	
			Resultado	Verificación
pH	Unidades de pH	6,0 - 9,0	7,52	CUMPLE
Temperatura	°C	40	33	CUMPLE
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	400,00	397	CUMPLE
SST	mg/L	50,00	110	NO CUMPLE
Fósforo total	mg/L	Análisis y reporte	2,967 ± 0,071	Análisis y reporte
Nitratos	mg/L	Análisis y reporte	4,437 ± 0,213	Análisis y reporte
Caudal	l/s	NA	13,8	No Aplica (NA)
Verificación	Observaciones:			
CUMPLE				
NO CUMPLE				
No Aplica (NA)				

Una vez revisados los resultados, la DQO cumplió con la normatividad, sin embargo, solo alcanzó a estar en 0,75 % por debajo del límite, requiriendo una revisión a fondo de la planta, el químico y el buen funcionamiento de estos, recalcando además la necesidad de purgas de lodos, ya que el resultado de SST se encontraba por fuera del rango establecido.

Los valores de pH y temperatura medidos durante el muestreo para la salida se encontraron en lo permitido por la normatividad.

Para el 20 de diciembre de 2023, el tornillo prensa estaba en operación, aunque se requerían ajustes precisos en las dosis de floculante empleadas en él, por lo cual, se priorizaba la minimización de la humedad residual en el lodo al salir del tornillo.

Tras estabilizar la dosis, influenciada por factores como el caudal de entrada y la concentración del lodo en el decantador, se determinó que, para una preparación al 0,3 %, se necesitaban dosis de floculante de entre 300 y 700 ppm. Sin embargo, se presentó un desafío adicional, ya que, el equipo requería supervisión constante por parte de un operario y en el momento no se disponía del personal para garantizar un funcionamiento continuo del tornillo prensa, lo que resultaba en una operación intermitente y poco confiable.

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

Después de dos meses de iniciar el uso de productos químicos importados, la planta de tratamiento evidenciaba una mejora en el proceso de estabilización. Mediante ensayos adicionales realizados por el personal de la empresa, se logró determinar las dosis óptimas de coagulante y floculante, estableciendo valores de 150 ppm y 2,6 ppm respectivamente. Se implementó un proceso de adición diferenciado, con una separación de tres minutos entre la adición de coagulante en las líneas de salida de los reactores hacia el tanque repartidor y la adición de floculante en la tubería que sale del tanque repartidor. Este enfoque permitió obtener una optimización de costos por metro cúbico tratado que resultaron de gran relevancia para la empresa.

Las variables mencionadas desempeñan un papel importante en el correcto funcionamiento del sistema, asegurando así el cumplimiento de los parámetros requeridos. Sin embargo, para alcanzar este objetivo, era necesario estandarizar aún más las purgas de lodos en el decantador y optimizar el rendimiento del tornillo prensa. En ese momento, las purgas de lodos se llevaban a cabo con base a los valores detectados en las mediciones de sólidos sedimentables, con una duración de operación de seis horas al día, y solo cinco días a la semana. No obstante, los resultados de las mediciones de sólidos suspendidos totales indicaron claramente la necesidad de purgas más regulares y controladas para mantener la eficiencia del sistema en niveles óptimos.

Los resultados se encuentran disponibles en el Anexo 11, sección 11.4, titulado "Resultados de laboratorio externo".

- **Caracterización 13 de febrero del 2024**

Mencionado lo anterior, el 13 de febrero del año 2024 se realizó el monitoreo de agua residual – compuesto de 7 horas con alícuotas cada hora en la salida de la planta de tratamiento, en el sitio se realizó el registro del caudal, pH y temperatura, las muestras compuestas se llevaron al laboratorio Acuazul Ltda. para los análisis de los parámetros: DBO, DQO y Cloruros.

Para la recopilación de los parámetros en sitio, se empleó la tabla de toma

**Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

de muestras, disponible en el Anexo 10, sección 10.5, titulado "Toma de muestras y parámetros en campo".

En la siguiente tabla se logra evidenciar el formato establecido para comparar los resultados respecto a los límites máximos permisibles de la norma y verificar el cumplimiento o incumplimiento de estos:

**Tabla 16.** Resultados pruebas de laboratorio 13/02/2024

RESULTADOS PRUEBAS DE LABORATORIO				
PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MÁX LÍMITE PERMISIBLE	FECHA: 13/02/2024	
			Resultado	Verificación
pH	Unidades de pH	6,0 - 9,0	mín: 7,36	CUMPLE
			máx: 7,69	CUMPLE
Temperatura	°C	40	29,5	CUMPLE
DQO	mg/L O2	400,00	182	CUMPLE
DBO5	mg/L O2	200,00	41	CUMPLE
ST	mg/L	NA	3.364	No Aplica (NA)
Cloruros	mg/L	1.200,00	140,69	CUMPLE
Caudal	l/s	NA	13	No Aplica (NA)
Verificación	Observaciones:			
CUMPLE				
NO CUMPLE				
No Aplica (NA)				

En este monitoreo, se realizó el análisis de Sólidos Totales debido a un error de la empresa al solicitar la cotización al laboratorio externo, donde se debió especificar Sólidos Suspendidos Totales.

En esta caracterización se confirmó que las dosis utilizadas son óptimas, ya que el agua tratada cumplía con los parámetros de calidad establecidos por la normativa, mostrando resultados muy satisfactorios. Sin embargo, debido a la falta de mediciones de los sólidos suspendidos totales, no fue posible evaluar la estabilización completa de la planta de tratamiento.

Los resultados se encuentran disponibles en el Anexo 11, sección 11.5, titulado "Resultados de laboratorio externo".

- **Caracterización 05 de abril del 2024**

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

Es por lo anterior que el 05 de abril de 2024 se realizó el último análisis del parámetro faltante, se ejecutó un monitoreo de agua residual – puntual en la salida de la planta, la muestra se llevó al laboratorio al Omniambiente con el fin de hacerle un control a este parámetro y reconocer la operación de la planta en el momento de la medición, sin embargo, se aclara que no es un dato oficial para realizar una comparación, ya que para determinar un parámetro y analizarlo en un sistema que trabaja 24 horas, los siete días de la semana el monitoreo debería ser compuesto.

Para los parámetros en sitio, se empleó la tabla de toma de muestras, disponible en el Anexo 10, sección 10.6, titulado "Toma de muestras y parámetros en campo", se puede consultar la correspondiente a la fecha del monitoreo realizado.

En la siguiente tabla se compara el resultado respecto al límite máximo de la norma:

**Tabla 17.** Resultados pruebas de laboratorio 05/04/2024

RESULTADOS PRUEBAS DE LABORATORIO				
PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MÁX LÍMITE PERMISIBLE	FECHA: 05/04/2024	
			Resultado	Verificación
SST	mg/L	50,00	65.6	<b>NO CUMPLE</b>
Caudal	l/s	NA	10	No Aplica (NA)
Verificación	Observaciones:			
<b>CUMPLE</b>				
<b>NO CUMPLE</b>				
No Aplica (NA)				

Con estos resultados se verifica que, el análisis de los sólidos suspendidos totales realizado el 15 de diciembre arrojó un valor de 110 mg/l. En ese momento, como se mencionó anteriormente, el tornillo prensa operaba seis horas al día y solo cinco días a la semana. Desde diciembre hasta abril de 2024 se incrementó ligeramente la operación del tornillo prensa, con ocho horas de funcionamiento de lunes a viernes, debido a la dificultad de estabilizar el personal operativo para llevar a cabo una operación completa del equipo. Con el cierre de resultados del trabajo, no fue posible llevar a cabo un monitoreo compuesto para obtener un

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

dato representativo de los SST, por lo que se requiere que la empresa lo incluya en sus próximas mediciones con el fin de verificar y analizar este parámetro y determinar su cumplimiento de acuerdo con la norma.

Los resultados se encuentran disponibles en el Anexo 11, sección 11.6, titulado "Resultados de laboratorio externo".

Los laboratorios Acuazul Ltda, Cornare y Ominambiente, a los que se enviaron las muestras para su análisis, cuentan con acreditación del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Están autorizados para generar información cuantitativa en aspectos físicos, químicos y microbiológicos, necesarios para estudios ambientales exigidos por las autoridades competentes en materia ambiental. En el Anexo 12 se presentan las Resoluciones de las acreditaciones de cada laboratorio.

- **Comparación de resultados entre la Cimarrona con el nuevo sistema**

A continuación, se realiza una comparación entre los resultados en la última caracterización oficial de Plantas la Cimarrona, y la caracterización oficial del nuevo sistema de tratamiento implementado, ya que, había cinco parámetros de mayor interés por su incumplimiento en la caracterización del año 2020:

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

RESULTADOS PRUEBAS DE LABORATORIO						
PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MÁX LÍMITE PERMISIBLE	La Cimarrona		Sistema actual	
			Resultado Salida	Verificación	Resultado Salida	Verificación
pH	Unidades de pH	6,0 - 9,0	mín: 7,36	CUMPLE	mín: 6,6	CUMPLE
			máx: 7,55	CUMPLE	máx: 7,72	CUMPLE
Temperatura	°C	40	17,6	CUMPLE	33,2	CUMPLE
DQO	mg/L	400,00	395,3	CUMPLE	255	CUMPLE
DBO5	mg/L	200,00	22,1	CUMPLE	186	CUMPLE
SST	mg/L	50,00	52,7	NO CUMPLE	< 10	CUMPLE
SSED	mg/L	2,00	< 0,1	CUMPLE	< 1	CUMPLE
Grasas y aceites	mg/L	20,00	< 15	CUMPLE	1,08	CUMPLE
Fenoles	mg/L	10,00	< 0,100	Análisis y reporte	< 1	Análisis y reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/L	1.200,00	< 0.250	Análisis y reporte	177	Análisis y reporte
Hidrocarburos totales	mg/L	10	< 15	NO CUMPLE	< 1,00 ± ND	CUMPLE
AOX	mg/L	Análisis y reporte	—	—	< 0,05 ± ND	Análisis y reporte
Ortofosfatos	mg/L	Análisis y reporte	0,294	Análisis y reporte	< 2,000 ± ND	Análisis y reporte
Fósforo total	mg/L	Análisis y reporte	1,648	Análisis y reporte	2,809 ± 0,067	Análisis y reporte
Nitratos	mg/L	Análisis y reporte	< 0,40	Análisis y reporte	23,401 ± 1,123	Análisis y reporte
Nitrógeno amoniacal	mg/L	Análisis y reporte	< 2,0	Análisis y reporte	< 5,0 ± ND	Análisis y reporte
Nitrógeno total	mg/L	Análisis y reporte	< 20,00	Análisis y reporte	19,0 ± 0,7	Análisis y reporte
Nitrógeno Total NTK	mg/L	Análisis y reporte	—	Análisis y reporte	13,7 ± 0,7	Análisis y reporte
Cloruros	mg/L	1200	2149,5	NO CUMPLE	177,966 ± 13,703	CUMPLE
Sulfatos	mg/L	Análisis y reporte	1037,3	Análisis y reporte	537,090 ± 33,837	Análisis y reporte
Sulfuros	mg/L	1,00	< 2,00	NO CUMPLE	< 1,0 ± ND	CUMPLE
Cadmio Total	mg/L	0,02	< 0,05	NO CUMPLE	< 0,010 ± ND	CUMPLE
Zinc Total	mg/L	3,00	< 0,05	CUMPLE	< 0,060 ± ND	CUMPLE
Cobalto Total	mg/L	0,5	< 0,05	CUMPLE	< 0,050 ± ND	CUMPLE
Cobre Total	mg/L	1,00	0,075	CUMPLE	< 0,050 ± ND	CUMPLE
Cromo Total	mg/L	0,50	< 0,05	CUMPLE	< 0,100 ± ND	CUMPLE
Níquel Total	mg/L	0,50	< 0,10	CUMPLE	< 0,100 ± ND	CUMPLE
Acidez total	mg/L	Análisis y reporte	72,93	Análisis y reporte	< 15,0 ± ND	Análisis y reporte
Alcalinidad total	mg/L	Análisis y reporte	574,3	Análisis y reporte	62,6 ± 3,8	Análisis y reporte
Dureza cálcica	mg/L	Análisis y reporte	56,95	Análisis y reporte	15,2 ± 0,9	Análisis y reporte
Dureza total	mg/L	Análisis y reporte	114,9	Análisis y reporte	121,2 ± 9,3	Análisis y reporte
Color real (436nm)	m-1	Análisis y reporte	5,9	Análisis y reporte	27,8 ± 0,81	Análisis y reporte
Color real (525nm)	m-1	Análisis y reporte	3,5	Análisis y reporte	23,6 ± 0,69	Análisis y reporte
Color real (620nm)	m-1	Análisis y reporte	1,6	Análisis y reporte	11,3 ± 0,33	Análisis y reporte
Surfactantes	mg/L	Análisis y reporte	—	Análisis y reporte	1529 ± 0,052	Análisis y reporte
Caudal promedio	l/s	NA	18,32	No Aplica (NA)	9,36	No Aplica (NA)
Verificación	Observaciones:					
CUMPLE						
NO CUMPLE						
No Aplica (NA)						

En comparación con el sistema La Cimarrona, el nuevo sistema alcanzó una reducción del 81% frente a los sólidos suspendidos totales, un 93% frente a los hidrocarburos totales, un 50% y 80% respecto a los sulfuros y cadmio total respectivamente, y la de mayor significancia, fue la reducción del 92% en el resultado del parámetro de cloruros, en donde para la caracterización de Plantas Cimarronas fue de 2149,5 mg/l y para el nuevo sistema de 177,96 mg/l.

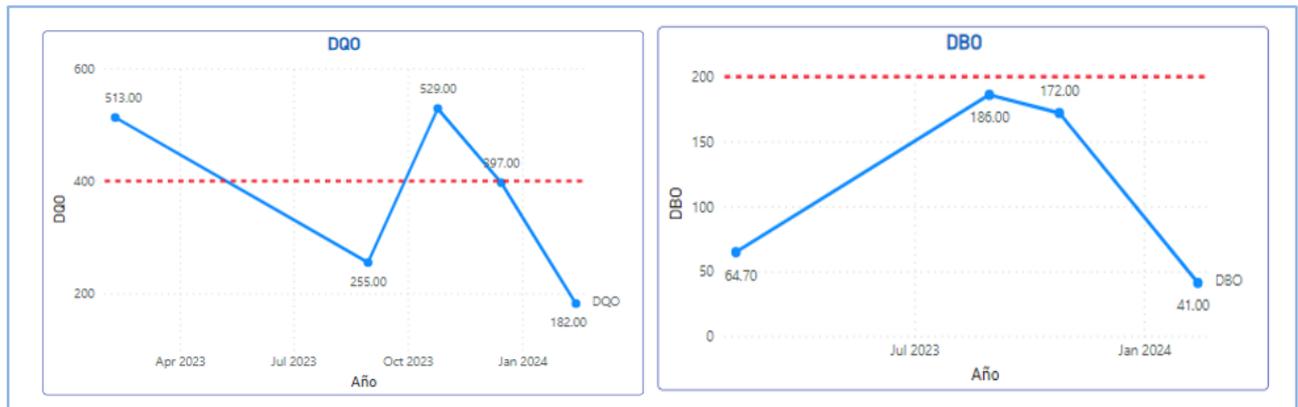
## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

- **Comportamiento de los parámetros de interés en el tiempo**

A continuación, se presentan las gráficas que muestran el historial de resultados de los parámetros de interés sujetos a los límites máximos permitidos según el artículo 13 de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente. Estas gráficas comparan el comportamiento de cada parámetro a lo largo de los seis monitoreos analizados en laboratorios externos.

En la siguiente figura se presenta el comportamiento de la DBO y la DQO en las diferentes caracterizaciones.

**Figura 8.** Comportamiento de las variables DQO y DBO.



La DQO ha experimentado cambios notables desde el inicio de la operación de la planta, como se observa en la gráfica correspondiente. Inicialmente, se detectaron incumplimientos, pero a medida que se logró estabilizar el sistema, se observaron mejoras progresivas. Durante el período de octubre a diciembre, la DQO mostró variaciones mientras se determinaba la dosis óptima del coagulante. Una vez establecida esta dosis, se puede observar en los dos últimos monitoreos que los niveles se mantuvieron dentro de los límites requeridos, con una marcada disminución y mejora en los resultados.

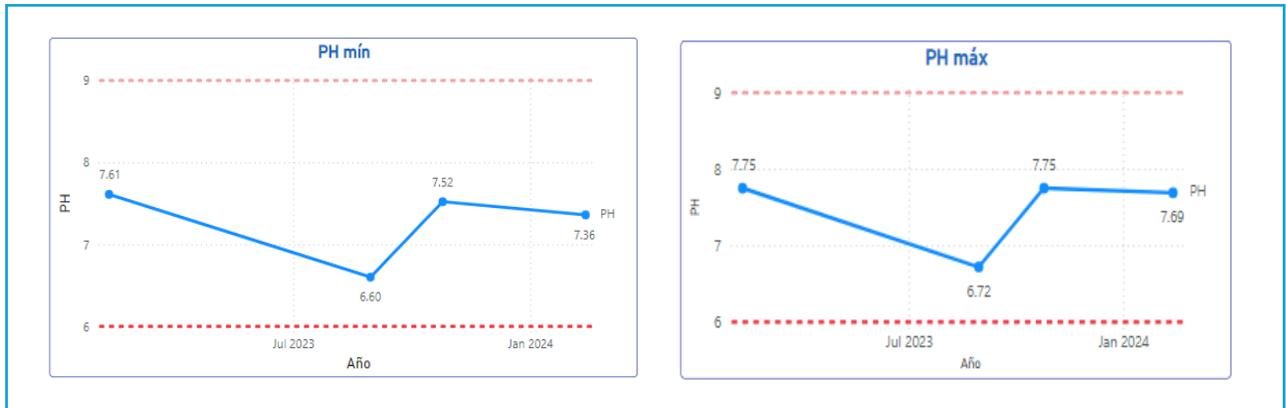
Por otro lado, aunque los resultados de la DBO variaron a lo largo de este período debido a los esfuerzos para estandarizar las operaciones del sistema, este parámetro siempre cumplió con los estándares establecidos por la

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

normativa, sin exceder su límite máximo de 200 mg/l.

En la figura a continuación, se visualiza el comportamiento del pH en las caracterizaciones del agua residual.

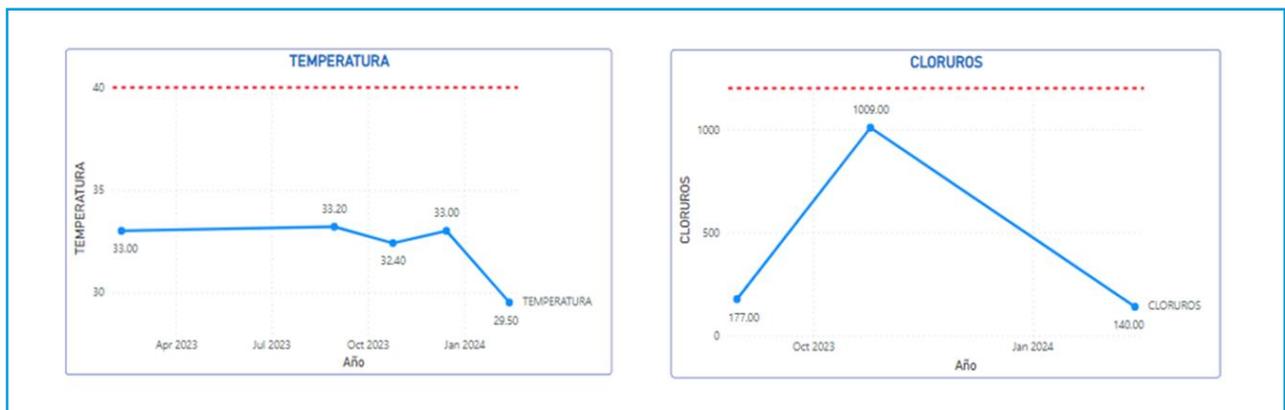
**Figura 9.** Comportamiento de la variable de pH mínimo y máximo



Los valores de pH mínimos y máximos en el punto de salida de la planta de tratamiento han permanecido dentro del rango establecido por la normativa desde el inicio de su operación. Esto se confirma mediante los monitoreos realizados durante este período, donde se ha mantenido en un rango de 6 a 9 unidades, como se ilustra en la gráfica, donde sus límites se indican en color rojo.

En la siguiente figura se presenta el comportamiento de la temperatura y los cloruros en las caracterizaciones.

**Figura 10.** Comportamiento de las variables Temperatura y Cloruros.



## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

La temperatura se ha mantenido de forma constante por debajo del límite establecido por la normativa, que es de 40°C.

Por último, fue posible comprobar que la planta tiene la capacidad de realizar de forma eficiente la remoción de Cloruros, parámetro que cumplió desde la primera caracterización, con variaciones que resaltan el proceso de estabilización alcanzado a través del cambio de colorantes en el proceso productivo de Tintatex y la implementación de coagulantes y floculantes orgánicos. Logro que vale la pena resaltar, considerando que durante el funcionamiento de las Plantas La Cimarrona, este sistema mostraba dificultades en la remoción de este parámetro, con valores que casi duplicaban el límite máximo permisible.

- **Pruebas preliminares con Ozono en la planta de tratamiento de Tintatex**

A pesar de que el tratamiento terciario con ozono no pudo ser implementado durante la fase de recolección de datos de este estudio, actualmente se encuentra en proceso de evaluación por parte de la empresa. Aunque aún no se dispone de datos de implementación, a continuación se presenta un análisis de los resultados preliminares obtenidos en pruebas de laboratorio realizadas el 7 de mayo de 2024. Estos resultados, generados conjuntamente por la empresa y el proveedor del sistema, servirán como base para una futura implementación completa del tratamiento.

Se realizaron una serie de pruebas de oxidación con ozono, con el fin evaluar la eficacia de la tecnología y la posibilidad de su implantación en el tratamiento con el objetivo de reducir cantidad de contaminantes que aún permanecen en el efluente y el color en el vertido tratado.

Se estableció que el tratamiento terciario, compuesto por la oxidación con ozono seguida de la filtración con carbón activado, permite una alta remoción de los parámetros de color, conductividad y DQO, mejorando significativamente la calidad del agua tratada. Los resultados de estas pruebas se pueden evidenciar en el Anexo 13. Informe pruebas de oxidación con ozono

## **11. Discusión**

Como objetivo del presente trabajo se consideró determinar y analizar los parámetros de calidad del vertimiento de la empresa Tintatex S.A. en comparación con el Artículo 13 de la Resolución 0631 de 2015 antes del inicio de la nueva planta de tratamiento con proceso biológico, en los resultados obtenidos se dio a conocer que el sistema no cumplía con cinco parámetros establecidos en la Resolución 0631 de 2015: hidrocarburos totales, sulfuros, cadmio, sólidos suspendidos totales y cloruros. Además, aunque el nivel de DBO estaba dentro del límite establecido por la normatividad, la DQO apenas cumplía por debajo del 1,25% de su rango permitido.

Estos resultados, coinciden con los resultados obtenidos en el trabajo de grado titulado “Propuesta de alternativas no convencionales para el postratamiento de aguas contaminadas con tintes provenientes de la empresa Textiles Guarne S.A.S. – Guarnetex” (55) en el cual se fijan dos objetivos específicos que se relacionan y complementan el presente trabajo, ya que no solo esperan cumplir la Resolución 0631/2015 sino que también pretenden indagar sobre métodos no tradicionales de purificación de las aguas residuales industriales que puedan ser aplicados a la empresa Textiles Guarne S.A.S. y así mismo comparar resultados y exponer sobre cuál sería la alternativa más apropiada para tratar el agua residual de la empresa Textiles Guarne S.A.S.

Es importante resaltar que ellos en la caracterización del año 2022, solo 2 de 9 parámetros alcanzaron a cumplir la norma, donde afirman que los métodos convencionales como la coagulación-floculación son insuficientes y se requiera buscar alternativas eficientes para el tratamiento de este tipo de aguas residuales, en donde hablan de una eficiencia para DBO entre el 25 y 50% y para la DQO no es suficiente, sobrepasando significativamente el nivel máximo permisible de la norma, así que proponen un procesos adicional para mejorar la

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

eficiencia de este, obteniendo como mejor resultado el proceso de coagulación+floculación+fenton, así la DQO se redujo en un 75%, mientras que la demanda bioquímica de oxígeno se redujo en un 25.5%, lo que implica que el proceso Fenton es eficiente para eliminar un alto contenido de materia orgánica.

Así mismo, en el presente trabajo se logró describir el proceso de implementación e inicio operacional de los sistemas de tratamiento de agua residual no doméstica adoptados por la empresa Tintatex S.A, donde coincide con los resultados del trabajo citado anteriormente, ya que se confirmó que si es necesario un proceso adicional para mejorar la remoción de las cargas contaminantes, logrando en los resultados tener eficiencia de hasta el 92% con el sistema de Oxidación total+coagulación+floculación.

Adicionalmente, en el proceso de verificación al cumplimiento de los parámetros del vertimiento frente al Artículo 13 de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente, después del inicio operacional de los sistemas de tratamiento, y garantizar su cumplimiento en el tiempo fue necesario iniciar el ciclo PHVA en varias ocasiones, se probó mejorar las eficiencias con diferentes coagulantes y floculantes de diversos proveedores, requiriendo dosis de 200 ppm con el Declor, y optimizando hasta una dosis de 150 ppm con el coagulante denominado Klarefloc 7001 y 5 ppm de floculante E06, aunque en el trabajo de grado titulado "Diagnóstico, estandarización y evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales (56) generadas en la industria maderera ubicada en el municipio de Barbosa- Antioquia" se alcanza a evidenciar que para su proceso de reducción de DQO necesitan valores muy altos de dosis de coagulante, por ejemplo, para alcanzar un porcentaje de remoción entre el 80 y 96% se requirieron dosis alrededor de 2500 y 3000 ppm de coagulante y 50 ppm de floculante, lo que son valores muy representativos respecto a los del presente trabajo, pues en este para alcanzar un porcentaje del 91% se requirieron unas dosis de 200 ppm de coagulante y 5 ppm de floculante, eficiencia obtenida luego de comparar los resultados de la caracterización oficial de la entrada y la salida del 30 y 31 de agosto del 2023.

A pesar del trabajo está enfocado en una industria diferente (maderera), se

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

desarrolla en una planta de tratamiento basada en lodos activados y dados los resultados es posible afirmar una vez más que el proceso biológico para el tratamiento de aguas residuales no domésticas acompañado de un proceso de coagulación-floculación con dosis óptimas permite el cumplimiento normativo, sin embargo, dadas las diferencias en dosis también es posible mencionar que la calidad de los productos utilizados puede influir en las cantidades utilizadas, y aunque no se especifican los utilizados se podría concluir por los resultados de este trabajo que los químicos biodegradables catiónicos, de alto peso molecular y con alta densidad de carga para procesos biológicos favorecen las bacterias y realmente contribuyen a la degradación de la materia orgánica de una manera eficiente.

(57), en el artículo titulado “Procesos de estabilización de residuos generados en la industria textil en Colombia mediante lodos activados”. Su objetivo es dar una visión del proceso de la industria textil en Colombia, destacando la generación significativa de aguas residuales con contaminantes en las etapas de fabricación. Se enfoca en los contaminantes clave, como colorantes, materia orgánica, temperatura y pH, los cuales provienen de impurezas naturales y productos químicos utilizados en la fabricación textil.

Además, aborda la técnica de tratamiento de un proceso biológico aerobio denominado lodos activados. Se enfatizan los roles de las bacterias en la descomposición de la materia orgánica y se establecen los objetivos del tratamiento biológico, y la posible remoción de compuestos orgánicos específicos del agua residual.

El trabajo muestra como la cantidad de agua empleada en los procesos textiles varían, dependiendo del proceso específico, lo cual en el trabajo en Tintatex también se hizo este análisis concordando que las relaciones de baño pueden cambiar mucho según el proceso que se vaya a realizar.

Los valores que definen como típicos de DQO y DBO para la industria textil son de 1700 mg O<sub>2</sub>/L y 550 mg<sub>2</sub>/L, los cuales se asemejan a los resultados de laboratorio del trabajo de grado para Tintatex.

En este artículo consultado, citan un trabajo donde utilizaron ozono para

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

oxidar un efluente que contenía dos colorantes, la remoción de color alcanzó el 93 % después de 120 minutos de tratamiento, mientras que la disminución de la carga orgánica no superó el 22 %. En Tintatex aún no se ha implementado este tratamiento terciario, sin embargo, este se va a implementar en la última parte del tratamiento, por lo que se va a asegurar inicialmente la remoción de la carga orgánica, para luego pasar por el tratamiento con el ozono y poder remover gran cantidad de color.

El autor realizó un seguimiento de que factores pueden afectar el proceso de lodos activados los cuales son acordes con los resultados del presente trabajo, tales como:

- **Concentración del agua residual:** La materia orgánica que contiene el agua residual, actúa como fuente de alimento para los microorganismos, en un sistema de lodos activados; por lo tanto, un cambio significativo en las características del agua, afecta el crecimiento de los microorganismos en el sistema de tratamiento.
- **pH:** Debe mantenerse un rango apropiado de pH en el tanque de aeración, para que el sistema funcione adecuadamente.
- **Sólidos en el sistema de tratamiento:** Para una óptima operación es necesario que los microorganismos tengan la cantidad adecuada de alimento, poco o demasiado alimento causa problemas de sedimentación en el clarificador.

## **12. Conclusiones**

- Mediante el análisis de la información del tratamiento que se realizaba con Plantas la Cimarronas fue posible obtener una visión clara de la desviación que presentaban los parámetros del vertimiento de Tintatex S.A. frente a los requisitos establecidos en el Artículo 13 de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente. Con lo cual, se estableció una línea base sobre las necesidad que presentaba la empresa antes del inicio operacional de la nueva planta de tratamiento.
- La metodología PHVA fue una elección acertada para desarrollar y documentar el inicio operacional de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de lodos activados. Durante el proceso de implementación, se aplicó de manera constante, adaptándose a cambios en productos químicos por razones económicas o de eficiencia, así como a decisiones de procesos motivadas por aspectos financieros. Los resultados positivos obtenidos tras realizar ajustes confirman la efectividad de esta metodología en el manejo operacional de la PTAR, aportando a la capacidad de mantener la conformidad con los estándares establecidos, optimizar el rendimiento del sistema y mejorar la toma de medidas correctivas y la evaluación continua de los resultados.
- Se ha debatido sobre la efectividad de los sistemas biológicos para tratar aguas residuales no domésticas, especialmente las provenientes de la industria textil. Frecuentemente se afirma que estos sistemas solo son eficientes para tratar aguas residuales domésticas (58)(59). Sin embargo, los resultados de este trabajo de grado indican que un sistema biológico que incorpore un proceso de oxidación total, complementado con la adición

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

de un coagulante-floculante orgánico después de los reactores biológicos, es una solución viable para el tratamiento de este tipo de aguas residuales industriales.

- En el presente trabajo, el sistema de nano-ultrafiltración, destinado a la eliminación de cloruros, y la oxidación con ozono no pudieron ser evaluados debido a sus elevados costos operativos. A pesar de ello, se logró mantener la conformidad normativa de los parámetros exigidos. Asimismo, se destacan los esfuerzos realizados por la empresa en la fase industrial previa a la contaminación del agua, mediante la adopción de decolorantes que minimizan el impacto ambiental, además, la transición hacia el uso de químicos orgánicos o aquellos que requieren una menor cantidad de sal para su proceso constituye un avance significativo. Esto no solo contribuyó a mejorar la eficiencia en la remoción de cloruros, sino que también promovió un consumo más responsable de este insumo, lo que beneficia tanto al medio ambiente como a la sostenibilidad del proceso industrial.
- La colaboración de la Corporación Autónoma Regional Cornare y el respaldo de la Corporación Empresarial del Oriente fueron fundamentales para el cumplimiento normativo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Su apoyo integral en todas las etapas, desde la planificación hasta el cierre de la Mesa de Vertimientos, resultó indispensable. Sin estas alianzas estratégicas, la empresa habría enfrentado mayores dificultades para alcanzar sus objetivos. Estas sinergias demuestran que la colaboración entre entidades públicas y privadas es esencial para la realización exitosa de proyectos de esta naturaleza.
- La decisión de Tintatex de hacerse cargo del tratamiento de sus aguas residuales no domésticas ha sido un desafío que han enfrentado con éxito. Esta acción confirma que fue una decisión acertada, que los sigue sensibilizando sobre la importancia del cuidado del medio ambiente. Les ha permitido asumir sus responsabilidades de manera proactiva y seguir

## **Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

desarrollando estrategias para minimizar los impactos ambientales y promover la conservación de este recurso vital.

### **13. Recomendaciones**

- Deberá analizarse el aumento de purgas de lodos en el sedimentador y la ampliación del uso del tornillo prensa durante un mayor periodo tiempo, con el fin de identificar si presenta efectos en el contenido de sólidos en el agua, especialmente, de sólidos suspendidos totales. Se recomienda que este proceso se realice con enfoque en el ciclo PHVA para tener trazabilidad de las acciones ejecutadas e identificar las posibles oportunidades de mejora.
- Se recomienda considerar la viabilidad de automatizar el proceso del tornillo prensa debido al alto tiempo de operatividad que demanda. Esta automatización podría permitir que el tornillo opere de forma automatizada o tele operativa, reduciendo la necesidad de contar constantemente con personal operativo asignado a una misma función.
- Dado que el sistema ya cumplió su etapa de inicio operacional, es fundamental documentar las condiciones operativas diarias, las diferentes novedades que se presenten en el tiempo y las acciones que se desarrollen para abordarlas, las cuales deben reposar en una base de información de la planta de tratamiento, que sirva como fuente consulta para posteriores eventualidades.
- Considerando la importancia de la toma de decisiones fundamentadas en datos precisos y actualizados en el contexto de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, se sugiere la adopción de una herramienta de gestión de información que permita agilizar la captura, almacenamiento y análisis del gran número de datos de operación que se generarán en el funcionamiento de la PTAR, tal como el Power BI de Microsoft, Tableau o herramientas similares.

Durante la fase inicial de este proyecto, se ha desarrollado una primera versión de un tablero de Power BI, el cual integra información detallada sobre los registros operacionales, los resultados de las caracterizaciones de agua residual y la relación de químicos que contribuyen a la Demanda Química de Oxígeno. Este tablero ofrece la capacidad de visualizar el comportamiento de la planta a lo largo del tiempo mediante gráficos interactivos.

La implementación de una de estas herramientas proporcionaría a la empresa textil

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

un recurso útil para monitorear de forma continua el rendimiento de la PTAR, identificar tendencias, anomalías o áreas de mejora en los procesos operativos y tomar decisiones de manera oportuna. Además, facilitaría la comunicación efectiva de los resultados entre los diferentes equipos de trabajo, promoviendo así una mayor colaboración y eficiencia en la gestión del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por lo tanto, se recomienda que la empresa textil continúe desarrollando y mejorando el tablero técnico entregado o lo tome como base en otro aplicativo, así como capacitar al personal clave en su uso y análisis de datos, con el fin de maximizar el valor agregado que estas herramientas pueden aportar al proceso operacional de la PTAR y al logro de los objetivos de sostenibilidad y eficiencia ambiental de la empresa.

Figura 11. Dashboard técnico Tintatex



### Referencias Bibliográficas

1. Agua en el planeta [Internet]. Agua.org.mx. 2017 [citado el 28 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>
2. Ambiental J. Panorama de agua en Colombia, fábricas de agua y demanda del recurso [Internet]. Justicia Ambiental. 2014 [citado el 28 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://justiciaambientalcolombia.org/panorama-del-agua-en-colombia/>
3. Banco Mundial [Internet] Grupo Banco Mundial; 2020 [Citado 28 de marzo de 2023] Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2020/09/02/colombia-water-security>
4. Mundo BBC, editor. ¿Sabes cuál es la industria más contaminante después de la del petróleo? [Internet]. 2017. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-39194215>
5. García Frutos A. Evaluación ambiental de los productos textiles durante todo su ciclo de vida e introducción de estrategias de economía circular [Internet]. [Madrid, España]: Universidad Politécnica de Madrid; 2021. Disponible en: <https://oa.upm.es/68410/>
6. Giraldo y Gustavo Antonio Peñuela Mesa LFG, editor. Tratamiento de las aguas residuales de una industria textil utilizando colector solar [Internet]. Vol. 4. Revista Lasallista de Investigación; 2007. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-44492007000200004](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492007000200004)
7. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare Cornare e Instituto de Estudios Ambientales (idea – un) Universidad Nacional de Colombia. Plan de ordenación y manejo de la cuenca la Cimarrona, municipio de El Carmen de Viboral [Internet]. 2006. Disponible en: <https://www.cornare.gov.co/POMCAS/Documentos/Cimarrona.pdf>
8. Senado. Constitución Política de la República de Colombia [Internet]. Avance Jurídico Casa Editorial Ltda; 1991. Disponible en: [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion\\_politica\\_1991.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion_politica_1991.html)
9. Water innovation: Technological solutions for ensuring Europe's present and future water security. [Internet] [Citado el 8 de mayo de 2023] Disponible en: <https://cordis.europa.eu/article/id/401167-water-innovation->

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

- technological-solutions- ensuring-europes-present-and-future-water-security
10. Designing a full recycling solution for the textile industry's waste water. [Internet] [Citado el 8 de mayo de 2023] Disponible en: <https://cordis.europa.eu/article/id/241015-designing-a-full-recycling-solution-for-the-textile-industrys-waste-water>.
  11. Westreicher y José Francisco López G. Industria textil [Internet]. Economipedia; 2020. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/industria-textil>.
  12. ¿Qué es el agua? Tipos, composición y funciones [Internet]. Fundación Aquae. 2020 [citado el 11 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://fundacionaquae.org/wiki/que-es-el-agua/>
  13. Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 1076 de 2015 por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario para el Sector Ambiente. Bogotá; 2015. [Internet]. Gov.co. [Citado el 11 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>
  14. Márquez A. ¿Qué es un afluente? - definición, nombres y más [Internet]. Ecologiaverde.com; 2021 [Citado el 12 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-un-afluente-3264.html>
  15. iAgua. ¿Qué es un caudal? [Internet]. iAgua; 2020 [Citado el 15 de mayo de 2023]. Available from: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal>
  16. Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 0631 DE 2015 Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. El ministerio, 2015.
  17. Aconsa E. Parámetros de calidad del agua de consumo humano: ¿Cuáles son y cómo se miden? [Internet]. Aconsa. 2021 [Citado el 17 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://aconsa-lab.com/parametros-calidad-agua-consumo-humano/>
  18. Calidad de Agua [Internet]. Gov.ar. DRH; 2017 [Citado el 17 de mayo de 2023]. Disponible en: <http://www.rekursoshidricos.gov.ar/web/index.php/nuestra-funcion/2017-03-23-14-12-06/calidad-de-agua>
  19. Induanalisis, Laboratorio, monitoreo, Bucaramanga-Col C y. E. DBO y DQO [Internet]. Induanalisis, Laboratorio, monitoreo, consultoría y equipo. Bucaramanga - Col. [citado el 17 de mayo de 2023]. Disponible en:

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

[https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/dbo\\_y\\_dgo\\_31](https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/dbo_y_dgo_31)

20. Color del agua, parámetro indicador de calidad [Internet]. Higieneambiental.com. [citado el 17 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/color-del-agua-parametro-indicador-de-calidad>
21. DANE. FICHA TECNICA Sistema de Información del Medio Ambiente [Internet]. 2005. Disponible en: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/solidos\\_suspension.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/solidos_suspension.pdf).
22. IDEAM. Grasas y aceites. Gov.co. [citado el 17 de mayo de 2023 May]. Disponible en: <https://bit.ly/3SDV315>
23. Teqma. La importancia de la separación de aceites y grasas en el tratamiento del agua residual urbana [Internet]. iAgua. 2018 [citado el 17 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/teqma/importancia-separacion-aceites-y-grasas-tratamiento-agua-residual-urban>
24. Análisis de Aguas continentales [Internet]. Intertek.es. [citado el 17 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.intertek.es/medioambiente/hidrocarburos/analisis-contaminacion-agua/>
25. Determinación de cloruro [Internet]. Ambientum Portal Lider Medioambiente. AMBIENTUM; 2022 [citado el 17 de mayo de 2023]. Disponible en: [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/determinacion\\_de\\_cloruro.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/determinacion_de_cloruro.asp)
26. Universidad Nacional de Colombia. [Internet]. [citado el 18 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://ogabogota.unal.edu.co/wp-content/uploads/2020/10/Aguas-Residuales-y-Vertimientos.pdf>
27. Organización Panamericana de la Salud OPS. Saneamiento básico agua segura, disposición de excretas y manejo de la basura [Internet]. 2022. Disponible en: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/56014/OPSARG220001\\_spa.pdf?sequen%20ce=5&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/56014/OPSARG220001_spa.pdf?sequen%20ce=5&isAllowed=y)
28. Tratamiento de Aguas Residuales - Concepto, plantas y etapas [Internet]. Concepto. [citado el 20 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://concepto.de/tratamiento-de-aguas-residuales/>
29. Telwesa. Nanofiltración: ¿Qué es y cómo funciona? [Internet]. 2021 [citado

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

- el 20 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3AqUUKx>
30. Homogeneización [Internet]. Sulzer.com. [citado el 20 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.sulzer.com/es-es/spain/shared/applications/equalization>
  31. Cirelli AF. El agua: un recurso esencial. química Viva [Internet]. el 11 de diciembre de 2012;11(3):147–70. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
  32. Bruni, M. Sedimentación [Internet]. [citado el 20 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3yB5agj>
  33. Decoloración con ozono [Internet]. Idrosistem.com. [citado el 20 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.idrosistem.com/sp/page/tecnologias/decoloraci%C3%93n-con-ozono-33>
  34. Montoya Sanchez M. Caracterización de las condiciones en la prestación del servicio de agua potable, saneamiento básico y el cumplimiento del objetivo de desarrollo sostenible número 6 durante los años 2017 a 2019: caso municipios de Amagá, Salgar, San Roque y Santo Domingo [Administrador en Salud con Énfasis en Gestión Sanitaria y Ambiental] Medellín: Universidad de Antioquia; 2022.
  35. Subregión Oriente – [Internet]. CTP Antioquia. [citado el 20 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://ctpantioquia.co/subregion-oriente/>
  36. Información sobre el Oriente [Internet]. Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño; 2021 [citado el 15 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://ccoa.org.co/sobreelorientel/>
  37. Región Oriente [Internet]. Com.co. [citado el 16 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.comfenalcoantioquia.com.co/personas/regiones/oriente>
  38. Cañas, E. El nuevo Guardián del Páramo de Sonsón [Internet] [Consultado 2023 May 15] Disponible en: <https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/generales/interna>
  39. Correa VAA, editor. Oriente antioqueño tendrá una provincia en honor al agua [Internet]. El Colombiano; 30 de mayo de 2018. Disponible en: <https://www.elcolombiano.com/antioquia/provincia-del-agua-y-turismo-en-oriente-de-antioquia-AJ8784057>
  40. WWF-Colombia. El agua: un lazo vital en el Oriente antioqueño. Rev. WWF [Internet]. 2017; [citado el 10 de mayo de 2023] Disponible en:

<https://www.wwf.org.co/?318211/Oriente%2Dantioqueno#>

41. Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2021. Decreto 1594 de 1984 Vertimientos y Reúso de Aguas Residuales [Internet]. 2021 [Citado el 20 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/vertimientos-y-reuso-de-aguas-residuales/>
42. Nueva York. Asamblea General de las Naciones Unidas. Resolución 64/292 El derecho humano al agua y al saneamiento [Internet]. 2010. Disponible en: [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml)
43. Colombia. Ministerio de Medio Ambiente. Normatividad ambiental [Internet]. Gov.co. [citado el 26 de mayo de 2023]. Disponible en: [http://www.upme.gov.co/guia\\_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm](http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm)
44. Colombia. Bogotá D.C. Conpes Consejo Nacional de Política Económica y Social. Conpes 3177 de 2002: Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación; 2002.
45. Colombia. Bogotá D.D. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [Internet]. Resolución 0330 de 2017. Gov.co. [citado el 21 de mayo de 2023]. Disponible en: [https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion\\_minviviendact\\_0330\\_2017.htm](https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minviviendact_0330_2017.htm)
46. Colombia. Congreso de la República. Ley 1333 de 2009, Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No.52.379 - 28 de abril de 2023.
47. Guía: Investigación cuantitativa y cualitativa - Fistera [Internet]. Fistera.com. [citado el de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.fistera.com/formacion/metodologia-investigacion/investigacion-cuantitativa-cualitativa/>
48. Ortega C. Diferencia entre el método cuantitativo y cualitativo [Internet]. QuestionPro. 2018[citado el 08 de junio de 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3M1Vj6l>
49. ISO 9001 y el ciclo PHVA [Internet]. ISO 9001:2015. 2022 [citado el 09 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.nueva-iso-9001-2015.com/2022/07/ciclo-phva-en-iso-9001/>

## Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.

---

50. Martin VS. Ciclo PDCA o PHVA [Internet]. Excel Para Todos. 2022 [citado el 09 de junio de 2023]. Disponible en: <https://excelparatodos.com/ciclo-pdca-phva/>
51. Hilia Yisel Ávila Mariño, Ginna Marcela García Amaya y Yesid Joaquín Niño Chivata. Diseño documental del ciclo PHVA para la empresa Aqua Ingenieros sas, que le permita planificar, ejecutar, evaluar y mejorar el cumplimiento del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [Internet]. [citado el 09 de junio de 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/46E1erw>
52. Laura Guzmán. Las Fuentes Secundarias [Internet]. [citado el 09 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.ts.ucr.ac.cr/binarios/docente/pd-000169.pdf>
53. Viabilidad [Internet]. Concepto. [citado el 1 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://concepto.de/viabilidad/>
54. Martins J. Cómo aplicar un estudio de viabilidad en la gestión de proyectos [Internet]. Asanas. 2023 [citado el 1 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://asana.com/es/resources/factibility-study>
55. Montoya JM. Propuesta de alternativas no convencionales para el postratamiento de aguas contaminadas con tintes provenientes de la empresa Textiles Guarne S.A.S. – GUARNETEX [Internet]. [Medellín]: Universidad de Antioquia; 2023. Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>
56. Arbeláez MAT. Diagnóstico, estandarización y evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales generadas en la industria maderera ubicada en el municipio de Barbosa- Antioquia [Internet]. [Medellín]: Universidad de Antioquia; 2021. Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>
57. Hernández EMP. PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN DE RESIDUOS GENERADOS EN LA INDUSTRIA TEXTIL EN COLOMBIA MEDIANTE LODOS ACTIVADOS [Internet]. [Bogotá]: Universidad Militar Nueva Granada; 2014. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/10862>
58. Montoya JM. Propuesta de alternativas no convencionales para el postratamiento de aguas contaminadas con tintes provenientes de la empresa Textiles Guarne S.A.S. – GUARNETEX [Internet]. [Medellín]: Universidad de Antioquia; 2023. Disponible en:

**Evaluación del inicio operacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la industria textil TINTATEX S.A.**

---

<http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

59. Hernández EMP. Procesos de estabilización de residuos generados en la industria textil en Colombia mediante lodos activados [Internet]. [Bogotá]: Universidad Militar Nueva Granada; 2014. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/10862>

## **Anexos**

**Anexo 1.** Consentimiento informado

**Anexo 2.** Cronograma

**Anexo 3.** Presupuesto

**Anexo 4.** Flujograma de procesos

**Anexo 5.** Resultados caracterización Plantas Cimarronas

**Anexo 6.** Esquema del sistema

**Anexo 7.** Datos de funcionamiento may2023 a feb2024

**Anexo 8.** Lista de chequeo caracterizaciones

**Anexo 9.** Equipos y materiales para monitoreos

**Anexo 10.** Toma de muestras y parámetros en campo

**Anexo 10.1** Toma de muestra y parámetros en campo 02-agosto – 2023

**Anexo 10.2** Toma de muestra y parámetros en campo 30-agosto – 2023

**Anexo 10.3** Toma de muestra y parámetros en campo 25-octubre – 2023

**Anexo 10.4** Toma de muestra y parámetros en campo 15-diciembre – 2023

**Anexo 10.5** Toma de muestra y parámetros en campo 13-febrero-2024

**Anexo 10.6** Toma de muestra y parámetros en campo 05-abril - 2024

**Anexo 11.** Resultados de laboratorio externo

**Anexo 11.1** Resultados de laboratorio externo 02-agosto-2023

**Anexo 11.2** Resultados de laboratorio externo 30y31 - agosto – 2023

**Anexo 11.3** Resultados de laboratorio externo 25 - octubre – 2023

**Anexo 11.4** Resultados de laboratorio externo 15 - diciembre – 2023

**Anexo 11.5** Resultados de laboratorio externo 13 - febrero - 2024

**Anexo 11.6** Resultados de laboratorio externo 05 - abril – 2024

**Anexo 12.** Resoluciones acreditaciones laboratorios

**Anexo 13.** Informe pruebas de oxidación con ozono